No.

Naam:

Woonplaats:

GEO-HYDROLOGISCHE GESTELDHEID VAN HET ZUIDELIJK RANDGEBIED DER IJSSELMEERKOM.

door

IR. A. VOLKER.

NOVEMBER 1943

Van ..... 19.....

tot ..... 19.....

Van ..... 19.....

tot ..... 19.....

Nadere Uitwerking

Kanaal

Blok

Vlakte

Ganzen

Wegvak

Wegvak

Haven

November 1943.

GEO-HYDROLOGISCHE GESTELDHEID VAN HET ZUIDELIJK RANDGEBIED DER IJSSELMEERPOLDERS

door

IR. A. VOLKER.

GEO-HYDROLOGISCHE GESTELDHEID VAN HET ZUIDELIJK HAMMERGEBIED DER IJSSELMEERKOM.

Inhoud.
Literatuurlijst.
Lijst aanhangsels, bijlagen, figuren en tabellen.

Hoofdstuk.		Blz.
I	INLEIDING.	
	I 1 Doel	1
	I 2 Opzet en inhoud.	2
II	TOPOGRAFIE.	
	II 1 Veluwe.	3
	II 2 Geldersche vallei.	4
	II 3 Gooi.	4
	II 4 Landschapstypen.	5
III	WATERSTAATKUNDIGE TOESTAND.	
	III 1 Veluwe.	6
	III 2 Geldersche vallei.	7
	III 3 Gooi.	9
	III 4 Poldergebied ten Westen van het Gooi.	9
IV	OPMERKINGEN BETREFFENDE DE GEOLOGISCHE GESTELDHEID.	
	IV 1. Algemeen	11
	IV 2 Pliestoceen, ouder dan de Hemlagen vnl. uit geo-technisch oogpunt.	14
	IV 3 Hem-stelsel.	18
	IV 4 Holocene deklagen in de IJsselmeerkom.	22
	IV 5 Geo-technische conclusies van belang voor de hydrologische gesteldheid.	23
V	WATERHUISHOUDING.	
	V 1 Algemeen.	25
	V 2 Nuttige neerslag.	25
	V 3 Het bekenstelsel van Veluwe en Geldersche vallei.	28
	V 4 Waterbalans.	30
	V 5 Beekafvoeren.	32
	V 6 De waarde van de afvoermetingen voor de bepaling van de kwel.	37

Hoofdstuk Blz.

VI STIJGHOOGTEN EN BEWEGING VAN HET GRONDWATER.

VI 1 Algemeen. 39
VI 2 Gooi en Gelderscche vallei. 40
VI 3 Veluwe. 41
VI 4 Stijghoogten in het kustgebied van de Veluwe (H_1, H_2, H_3, H_1, H_2 en H_1). 44
VI 5 Ontwerp van een algemeen beeld der grondwaterstroming. 48

VII KWELVERSCHIJNSELEN IN HET IJSSELMEER.

VII 1 Algemeen 50
VII 2 Bepaling der optredende kwelsnelheden. 52
VII 3 Grondwaterbeweging onder het IJsselmeer. 55

VIII QUANTITATIEVE VASTLEGGING VAN DEN HYDROLOGISCHEN TOESTAND.

VIII 1 Algemeen 57
VIII 2 Veluwe. 61
VIII 3 Gelderscche vallei. 78
VIII 4 Gooi. 84a
VIII 5 Samenvatting en [redacted] der verkregen uitkomsten. 91a
VIII 6 Zoutgehalte van het diepere grondwater. 92
VIII 7 Slotwoord. 94

IX NADER TE ONDERZOEKEN PUNTEN IN VERBAND MET DE BESLOTTELLING.

IX 1 Boringen en stijghoogtenbepalingen. 96
IX 2 Bepaling beekafvoeren. 97
IX 3 Diversen. 99

AANHANGSEL.

BIJLAGEN.

VOORBERICHT.

Als derde aflevering van een reeks verhandelingen, betreffende de geologische en hydrologische gesteldheid van het IJsselmeergebied, verschijnt hiermede een rapport betreffende het Zuidelijk randgebied der IJsselmeerkom.

Daarmede is voortgebouwd op de resultaten in beide vorige publicaties: "Het chloorgehalte van de Zuiderzee vóór de afsluiting" en "Voorloopige resultaten en conclusies van een onderzoek naar den invloed van grondwaterstromen op de chloorgehalten van het grondwater". Deze droegen een meer algemeen en mathematisch karakter.

De hier voorgelegde studie is te beschouwen als de eerste practische toepassing dezer theoretische resultaten. Daarbij is - in verbinding met gegevens van anderen aard - getracht eenig inzicht te krijgen in den huidigen geo-hydrologischen toestand, hetgeen noodzakelijk is bij de voorbereiding van civiel-technische werken.

In dezelfde reeks verhandelingen zullen nog verschijnen: een rapport aangaande de hydrologie van het eiland Marken en het aangrenzende deel van Noord-Holland, een studie betreffende het ontstaan en verbreiden van het zoute grondwater op grootere diepten onder het IJsselmeer en een beschouwing, waarin wordt nagegaan in hoeverre de nieuwe gezichtspunten bij deze studies meer voren gekomen, van belang zijn voor de Wieringermeer en Noordoostpolder, terreinen die reeds vroeger uitvoerig zijn bestudeerd. De plannen voor den Zuidwestelijken Polder maken het t.a.v. Marken en omgeving urgent, tevens te bestudeeren, welken invloed deze polder op den hydrologischen toestand zal uitoefenen. Dit blijkt een eenvoudig vraagstuk te zijn, indien de toestand vóór de peilsverlaging behoorlijk bekend is.

Als publicatie van meer theoretischen aard zal nog verschijnen een studie betreffende de grootte der z.g. diffusieconstanten.

Op één gebied na is dan de geo-hydrologische gesteldheid van den ondergrond der voormalige Zuiderzee en aangrenzende landschappen in studie genomen. Dit gebied betreft het IJsselmeer ten Noorden van Enkhuizen - Lemmer.

Dezerzijds wordt overwogen door een speciale meetcampagne ook van dit terrein de noodige gegevens te verzamelen.

Den Haag, 30 November 1943.

A. Volker.

LITERATUURLIJST.

I. Algemeen.

1. Dr. ir. F.J. Faber. Geologie van Nederland, 2e druk 1933.

2. Dr. ir. F.J. Faber. Nederlandsche landschappen, 1942.

3. Prof. P. Harting. Le système Semien. Arch. N. des Sc. exact et nat. Tome X, 1875.

4. Dr. J.F. Steenhuis. De kustlijn der Zeeuwse op Nederlandsch gebied.
Hand. v.h. 24ste Ned. Natuur- en Geneesk. Congres 18, 19 en 20 April 1933 te Wageningen en De Ingenieur 1933 no. 22, A 194 - 195.

5. Dr. J.F. Steenhuis. Geologie van de Zuiderzee. Overdruk uit "Flora en Fauna der Zuiderzee, monografie van een brakwatergebied", 1922.

6. Dr. J.F. Steenhuis. Het glaciale niveau in het dal van den Gelderschen IJssel. Verslag over 1940 van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening; Bijlage I, 1941.

7. Ir. C. Biemond. Rapport 1940. De watervoorziening van Amsterdam.

8. Centrale Commissie voor Drinkwatervoorziening. Rapport van de Commissie "Drinkwatervoorziening Westen des Lands".

9. Verslag der staatscommissie tot het instellen van een onderzoek omtrent bevloeiingen. 1896.

10. Ir. V.J.F. de Blocq van Kuffeler. Verslag van het bureau voor de indijking en droogmaking van de Wieringermeer. 1914.

11. Geo-hydrologische gesteldheid van de Wieringermeer. Rapporten en mededeelingen betreffende de Zuiderzeewerken no. 5. 1936.

12. Maandbericht betreffende de Zuiderzeewerken, October 1929.

13. Dr. T. Vink. De Lekstreek. Een aardrijkskundige verkenning van een bewoond deltagebied. Dissertatie 1926.

14. A.W. Vlam. Historisch-morphologisch onderzoek van eenige Zeeuwsche eilanden. Overdruk uit het Tijdschrift Kon. Aardrijkuk. gen. Deel LX, 1 - 1943.

15. H.J. Woerman. De geschiedenis van de Zuiderzee. Maandsch Maandblad. September 1925.

II. Veluwe.

16. Commissie van Dissel c.s. Waterinttrekking van de Veluwe. 1933. ("Veluwerapport van Dissel c.s.").

17. Amsterdam - Gemeentewaterleidingen. Rapport omtrent de uitkomsten van een in het jaar 1927 verricht geo-hydrologisch onderzoek van de Veluwe, uitgebracht door den chef van de technische afdeeling ir. G.J. Hoogenteger. ("Veluwerapport Gemeentewaterleidingen Amsterdam").

18. J. van Baren. De seculaire daling van den grondwaterspiegel op de Veluwe. Tijdschrift Kon. Aardr. Gen., 2e serie, deel XXVII, 1906.

19. J.D. Moerman. Veluwsche beken en daling van het grondwaterpeil. Tijdschrift Kon. Aardr. Gen. 2e serie, deel II, 1934.

20. J.D. Moerman. Beken, sprengen en watermolens op de Veluwe. Tijdschrift Kon. Aardr. Gen. 2e serie, deel II, 1934.

21. Mr. L.A.J.W. baron Sloet. Bijdragen tot de kennis van Gelderland 1855.

22. Jhr. ir. H.J. Becker. Rapport over den waterstaatstoestand van het polderdistrict Veluwe en ontwerp eener verbeterde afwatering van het district.

23. Ir. J.C. Rummer. Wateronttrekking aan de Veluwe. Haagsch Maandblad, April 1927.

24. Prof. Ir. J.Th. Thijsse. De beteekenis van het Hemmeer voor de drinkwatervoorziening. Voordracht 30 October 1942 voor Ver. Waterl. bedrijven Ned. "Water". 14 Mei 1943.

III. Geldersche vallei en Gooi.

25. H.H. de Bruyn, J. Schotel en dr. H.P. Kapteyn. Rapport inzake de watervoorziening van Amsterdam 1905.

26. P. Kleynhens, dr. J. Lorié en Mr. dr. ir. W.A.J.M. van Waterschoot van der Gracht. Rapport omtrent de plannen Kuipers inzake de watervoorziening van Amsterdam. 1915.

27. Dr. J.J. Pannekoek van Rheden. Eene bijdrage tot onze kennis omtrent de geologische geschiedenis der Geldersche vallei. Verh. Geologische Serie, Geol. - en Mijnbk. Gen., deel XII. 1939.

28. Ir. W.S. van Goor, Nota betreffende de afwatering der Geldersche vallei in verband met kanaalaanleg 1917.

29. Rapport inzake de afwatering van de Geldersche Vallei. 1933. (Rapport van de commissie voor de Geldersche Vallei, ingesteld door den minister van Binnenlandsche Zaken, April 1931).

30. Ir. W.H. Brinkhorst. Nota betreffende de kwel enz. Bijlage G van het "Verslag der Staatscommissie inzake droogmaking van de plassen beoosten de Vecht". 1920.

IV. Diverse nota's en studies (niet gepubliceerd).

31. Ir. H.D.E. Burck. Rapport betreffende de geologische gesteldheid van de Zuidelijke kom van het IJsselmeer. 1943.

32. Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening.
    a. Verslag betreffende de resultaten van boring H 1, verricht in den kop van den Westelijken havendam te Hilburg.
    b. Verslag betreffende de resultaten van een diepe boring in het IJsselmeer, verricht in Juli-Augustus 1938.
    c. Verslag boringen H 1, H 2 en H 3.
       " " H 1 en H 2.

33. Ir. H.P. van Leening. Eenige oriënteerende berekeningen omtrent den hydrologischen toestand in het Gooi. 1941.

34. Ir. A. Volker. Voorlopige resultaten en conclusies van een onderzoek naar den invloed van grondwaterstromen op de chloorgehalten van het grondwater in de IJsselmeerkom. 1942.

35. Idem. Geo-hydrologische gesteldheid van Marken en omgeving. Invloed droogmaking van den Zuidwestelijken polder. 1944.

36. Idem. De hydrologie van het diepere grondwater onder het IJsselmeergebied. Mededeeling aan de 8e werkvergadering van het Hydrologisch Colloquium 1944.

V. Kaarten.

37. Geologische kaart 1 : 50.000.

21. Zwolle	Kwartblad	III
25. Amsterdam	"	IV
26. Harderwijk	"	II, III, IV
27. Hattum	"	I
32. Amersfoort	"	I, II.

38. Waterstaatskaart 1 :: 50.000.

Amsterdam	4
Harderwijk	1 en 2
Amersfoort	2
Hattem	1
Zwolle	west.

39. Chromo-topografische kaart 1 : 25.000.

368. Naarden.
369. Huizen.
388. Hemmen.
389. Bunschoten.
390. Putten.
371. Horst.
372. Ermelo.
352. Harderwijk.
353. Nierden.
335. de Wetering.
336. Elburg.
318. Oosterwolde.

LIJST AANHANGSELS, BIJLAGEN, FIGUREN EN TABELLEN.

AANHANGSELS.

A. Beknopte omschrijving der geologische resultaten van de boringen H_1, H_2, H_3, E_1, E_2 en E_1.

B. De Hierdensche beek

C. Meteorologische gegevens droge perioden.

D. Enkele opmerkingen betreffende stationnaire grondwaterstroming met vrij oppervlak.

E. Wateronttrekking voor drinkwatervoorziening en industrieële bedrijven in het Noordelijk deel van de Veluwe.

BIJLAGEN.

I. Hoogtelijnen van IJsselmeer, Veluwe, Gooi en Geldersche vallei (1 : 200.000)
II. Terreinshellingen van Veluwe, Gooi en Geldersche vallei (1 : 200.000)
III. Kuststrook Kampen-Nijkerk (1 : 50.000)
IV. Kuststrook Nijkerk-Zeeap (1 : 50.000)
V. Geologische gegevens A Situatie (1 : 100.000)
VI. Geologische gegevens B Profielen.
VII. Hydrologische gegevens kuststrook Spakenburg-Putten (1 : 50000
VIII. Relatieve weerstandscijfers der afdekkende bovenlagen in de kom van het IJsselmeer (1 : 200.000)
IX. Oppervlak Laagterras in de kom van het IJsselmeer. (1 :200000)
X. Afvoermetingen Hierdensche beek commissie- van Dissel c.s.
XI. Facsimile van bijlage D uit het "Rapportplannen-Kuipers" van 1915.
XII. Facsimile van blad no. 22 uit het Veluwe-rapport van ir. Hoogesteger van 1927.
XIII. Facsimile van bijlage H uit het Veluwe-rapport der commissie-van Dissel c.s. van 1933.
XIV. Stijghoogten van het grondwater in de boring H_1.
XV. Stijghoogten van het grondwater in de boringen H_1, H_2, H_3, E_1 en E_2.
XVI. Hydrologische toestand (1 : 100.000).

FIGUREN.

1. Geologische profiel IJsselmeer-Oldebroek
2. Globale ligging basis Pliistoceen in Nederland.
3. De kustlijn der Zeezee op Nederlandsch gebied.
4. Gegevens betreffende de geologie van het Huldergzand.
5. Verdeeling van den totalen neerslag op de Veluwe.
6. Waterbalans infiltratie- en kwelgebied.
7. Schommelingen van stijghoogten in peilbuizen en putten. Noorterrein gemeente Amsterdam.
8. Idem Uddel.
9. Idem Nijkerk en Hulde.
10. Idem Elspeet.
11. Idem Gortel en Vierhouten.

12. Kwelterras in de strandreep.
13. Zuivere diffusie.
14. Diffusie met kwel.
15. Criteria kwelsnelheid.
16. Berekende en gemeten kwelsnelheden.
17. Ondergrondsche afstroming uit de kustlijn naar het IJsselmeer. kH-- 5000 $\frac{m^2}{dt}$
18. Idem. kH = 7500 $\frac{m^2}{dt}$
19. Hydrologisch profiel kuststrook tusschen Harderwijk en Elburg.
20. Hydrologische toestand kuststrook tusschen Harderwijk en Hulde.
21. Chloorgehalten van het grondwater in de kom van het IJsselmeer.

AANHANGSEL B.

1. Stroomloop Hierdensche beek.

AANHANGSEL D.

1. Grondwaterstroming met vrij oppervlak.
2. Topografie en waterscheiding.
3. Cirkelvormig infiltratiegebied.
4. Topografie en grondwater.
5. Bovengrondsche en ondergrondsche afvoer.
6. Grondwaterstroming bij verschillend peil.
7. Grondwaterstroming bij varieerende kH-waarde.
8. Grondwaterstroming bij varieerende kH-waarde en verschillend peil.
9. Grondwaterstroming bij verschillend peil en verschillenden nuttigen neerslag.

TABELLEN.

1. Landschapstypen.
2. Afwatering naar het IJsselmeer.
3. Idem.
4. Relatieve weerstandscijfers.
5. Nuttige neerslag op de Veluwe of in het Gooi, aangenomen door verschillende onderzoekers.
6. Afvoer baken noordrand Veluwe, Geldersche vallei en Gooi.
7. Afvoermetingen door de commissie-van Dissel c.s.
8. Afvoermetingen door de Staatscommissie Bevloeiingen.
9. Waterbalans Wieringermeer.
10. Stijghoogten grondwater te Elspeet.
11. Waarnemingsputten in het kustgebied van de Veluwe.
12. Stijghoogten in het kustgebied van de Veluwe.
13. Laagste stroken noordelijke Veluwe-rand.
14. Verdamping.
15. Kwelsnelheden in het IJsselmeer.
16. Waargenomen en berekende kwelsnelheden.
17. Waarden van afstroming en weerstand.
18. Beekafvoeren stroomgebied III.
19. Kwel in stroomgebied III.
20. Waarden van afstroming en weerstand.
21. Beekafvoeren en kwel in stroomgebied II.
22. Peilingen, boerderij "Harskamp" te Harskamp.
23. Geboorde brandputten kom van Barneveld.
24. Oppervlakten en lengten van stroomgebieden.
25. Ondergrondsche en bovengrondsche afvoeren van stroomgebieden.
26. weerstanden en overdrukken in het kustgebied.

AANHANGSEL A.

1. Stratigrafie.
2. Boring E_1. Geologische gegevens.

Aanhangsel B.

1. Afvoermetingen Hierdensche Beek.

AANHANGSEL C.

1. Regenval.

AANHANGSEL D.

1. Waarden van v. in form. (4).

AANHANGSEL E.

1. Wateronttrekking in het noordelijk deel van de Veluwe.

HOOFDSTUK I.

INLEIDING.

I[1] DOEL.

In deze verhandeling, zal de geo-hydrologische gesteldheid beschouwd worden van een gebied, dat de overgang vormt tusschen twee Nederlandsche landschappen met een geheel verschillend aspect. Ten Noorden van dit grensgebied strekt zich het IJsselmeer uit, waarvan de laaggelegen vlakke bodem in vele opzichten gerekend kan worden tot het Hollandsche holocene polderland; ten Zuiden van dit gebied verheffen zich de plistocene zandheuvels van Veluwe en Gooi.

Een nader inzicht in de geo-hydrologie van deze streek was om drie redenen noodzakelijk.

In de eerste plaats dient men bij de voorgenomen droogleggingvan den Zuidoostelijken polder te beschikken over een juist inzicht in de te verwachten kwelverschijnselen en in den invloed, welke van de peilaverinaging over een zoo groot oppervlak op de omgeving kan uitgaan.

Van hoeveel belang dit is, blijkt wel uit de opgedane ervaring bij de Horstermeer en de Bethune, polders, die welhaast klassieke voorbeelden zijn geworden van de moeilijkheden, welke het kwelverschijnsel kan veroorzaken. In vele opzichten nu komt de toekomstige Zuidoostpolder in soortgelijke omstandigheden te verkeeren als Horstermeer en Bethune: ligging op de overgang van holocoen en plistocoen, dat gevormd wordt door een gebied met hoogen waterstand, uitwiggen van de afsluitende holocene lagen tegen het aangrenzende heuvelterrein ter plaatse van de poldergrens enz. Zelfs is de Zuiderzeepolderoppervlakkig gezien, hierbij nog in het nadeel, daar deze over een groot deel van zijn lengte zal grenzen aan de Veluwe, welk terrein, zooals gebleken is, een veel belangrijker ondergrondsche afvloeiling naar zijn randgebieden heeft, dan het Gooi. Zou men derhalve een voorspelling van het kwelbezwaar in den Zuidoostpolder baseeren op een vergelijking met de Horstermeer en de Bethune - even als destijds de prognose van de Wieringermeerkwel berustte op den naburigen Noord-Nieuwlandpolder, prototype (lit. 10)[1]- dan zou de eindconclusie ongetwijfeld pessimistisch luiden. Het lijkt zeker gewenscht na te gaan in hoeverre dit gerechtvaardigd is en daarvoor is een diepgaand onderzoek een vereischte.

Daarnaast is een goede kennis der geo-hydrologische gesteldheid noodzakelijk bij de voorbereiding van plannen tot waterontrekking voor drinkwatervoorziening. In den laatsten tijd is n.l. de aandacht gevestigd op het aan de randen van de Veluwe afvloeiende grondwater, dat uitermate geschikt schijnt te zijn voor drinkwater. (lit. 24).

Tenslotte wordt met deze studie ook een wetenschappelijk doel gediend: vooral de hydrologeen van Veluwe en Gooi is door verschillende onderzoekers bestudeerd, doch de invloed hiervan op het aangrenzende IJsselmeergebied was voor hun doel van minder belang, zoodat hiernaar geen onderzoekingen zijn ingesteld. Door waarnemingen van uiteenloopenden aard is deze leemte eenigszins aangevuld, zoodat van het randgebied meerdere gegevens ter beschikking zijn gekomen. Vanzelfsprekend is ernaar gezocht deze te koppelen aan de resultaten van vroegere onderzoekingen op Veluwe en Gooi zelf, zoodat een sluitend beeld kon worden verkregen van de hydrologie in de verschillende aan elkaar grenzende gebieden.

Daarbij waren echter de beide eerste doeleinden bepalend voor den opzet dezer verhandeling: er is maar gestreefd vooral die gegevens ter beschikking te krijgen, welke daarvoor van kardinaal belang zijn.

1) Deze cijfers verwijzen naar de literatuuropgave.

I^2 OPZET EN INHOUD.

Het te bestudeeren gebied strekt zich uit over bijna de helve breedte van Nederland en, wat meer zegt, omvat uiteenlopende landschapstypen. Deze omstandigheid en het feit, dat het waarnemingsmateriaal geenszins volledig is brengen mee, dat een volledige beschrijving der geo-hydrologische gesteldheid in deze verhandeling niet kan worden gegeven : dit ware trouwens het werk van meerdere deskundigen elk op verschillend gebied. Zulks is dan ook geenszins het doel dezer studie: veeleer moet men deze zien, eenerzijds als een samenvatting van alle beschikbare gegevens, zowel oude als nieuwe, anderzijds als een poging deze tot een geheel te verwerken. De verschillende vraagpunten, welke daarbij nog blijven bestaan en waarnaar een verder onderzoek gewenscht is, komen daarbij vanzelf aan de orde.

In overeenstemming hiermede zullen in de volgende hoofdstukken eerst deze gegevens besproken worden. Deels vullen deze elkaar aan, deels hebben zij betrekking op eenzelfde grootheid, zoodat controle mogelijk is. Het vormen van een sluitend beeld zou dan ook eenvoudig zijn, ware het niet, dat in elk dezer gegevens een belangrijke onzekerheid blijft schuilen. In hoofdstuk VIII zullen door berekening de meest waarschijnlijke waarden worden afgeleid.

HOOFDSTUK II.

TOPOGRAFIE.

In het pliistocene gebied ten Westen van den IJssel kunnen morfologisch vier deelen worden onderscheiden, zooals uit bijlage I blijkt. 1) In het Oosten ligt het dal van den IJssel. Ten Westen daarvan komt de breede rug van de Veluwe voor. Daarna volgen in Westelijke richting de zich naar het Noorden verbreedende Nemvallei of Gelderscche Vallei en de Gelderscche en Utrechtsche heuvels met de voortzetting daarvan in die van het Gooi en Huiderberg.

II[1] VELUWE.

De hoogste toppen van de Veluwe (110 m + N.A.P.) komen in het Zuiden voor, maar meer Noordwaarts bij Hoog-Soeren (ten Westen van Apeldoorn) worden opnieuw toppen van ruim 100 m gevormd; deze toppen maken deel uit van den grooten, nagenoeg Zuid-Noord loopenden Veluwe rug welke, na tusschen Elspeet en Vaassen te zijn doorgegaan, zich met een zwakke kromming naar het Noordoosten ombuigt. Daar gaat deze in den Woldberg over, die, geleidelijk lager wordend, nabij Hattum tegen het IJsseldal eindigt. (bijlage I).

Verder Westwaarts, ongeveer in de lijn Wageningen-Harderwijk, treft men een tweeden rug aan; deze is lager dan de Oostelijke hoofd rug (toppen iets boven 40 m + N.A.P.) en is in het midden, ongeveer tusschen Lunteren en Garderen, onderbroken. Door de aldus gevormde inzinking stroomen de beekjes, waaruit de Barneveldsche- en de Lunter sche Beek ontstaan.

Naar het Noorden en Noordwesten helt het Veluwe-terrein af in de richting van het IJsselmeer. De lijn van 2½ + N.A.P. blijkt het dichtst de kust te naderen in de nabijheid van Harderwijk: hier eindigt de bovengenoemde Westelijke heuvelrug en komen de hoogte toppen het dichtst bij de kust voor. Volgens van Waterschoot van der Gracht moet de diepte van de Knar als de voortzetting hiervan in het IJsselmeer worden beschouwd. (lit. 26). Hierop wordt later teruggekomen.

In bijlage II zijn de terreinhellingen van de Veluwe en omringende gebieden aangegeven. Hieruit blijkt, dat in de kuststrook de steilste hellingen eveneens in de omgeving van Harderwijk voorkomen.

Van Harderwijk naar het Noorden wijken de hoogtelijnen steeds verder van de kust; ook de terreinhellingen worden steeds flauwer. Nabij Elburg verandert de kuststrook van karakter: het zacht hellende heuvelland maakt hier plaats voor vlakke polders.

Daarentegen loopen de hoogtelijnen van den Veluwe-rand tusschen Harderwijk en de Hulde (gemeente Putten) weer evenwijdig aan de kust.

Een opvallend verschijnsel langs de Veluwe-rand tusschen Elburg en de Hulde vormt een onmiddellijk langs de kust loopende lage verheffing, welke verder met den naam "strandrand" zal worden aangeduid.

1) De hierop voorkomende hoogtelijnen zijn ontleend aan de hoogtekaart van de Veluwe, voorkomende in het Verslag der Staatscommissie tot het instellen van een onderzoek omtrent Bevloeiingen 1896. (lit. 9.).

Van zee uit helt het terrein eerst sterk opwaarts om op sommige punten hoogten van 4 à 5 m + N.A.P. te bereiken; daarna volgt over een groote breedte een geleidelijke daling tot hoogten van 1 à 2 m + N.A.P. (op een enkel punt zelfs 0,8 m + N.A.P.); tenslotte gaat het terrein dan gelijkmatig stijgend in het eigenlijke Veluwsche heuvelgebied over.

Deze strandreep is niet overal op gelijke wijze tot ontwikkeling gekomen. Hoewel reeds in de polders benoorden Elburg in het terrein reliëf merkbaar, is de strandreep tot op eenige kilometers ten Zuiden van deze plaats weinig opvallend. Eerst ter hoogte van Doornspijk vormt hij een, zij het lage, zelfstandige heuvelrij. De grootste hoogten komen voor bij de Bijsselsche Beek (4,4 m + N.A.P. volgens de chromotopografische kaart 1 : 25.000), bij de Kollert of Marijnahoeve (4,2 m + N.A.P.) en bij den mond van de Hierdensche Beek (3,9 m + N.A.P.). Tusschen de Bijsselsche Beek en de Marinahoeve doet de strandreep sterk aan den duinenrij denken.

Langs de kust van Hierden tot Harderwijk ontbreekt de strandreep nagenoeg geheel.

Over het laatste traject Veluwekust van Harderwijk tot de Hulde is de strandreep op sommige plaatsen duidelijk ontwikkeld; op andere plaatsen daarentegen, waar de hoogtelijnen van de Veluwe de kust naderen, is hij niet als zoodanig herkenbaar.

De kuststrook van de Veluwe toont daarmede topografisch een merkwaardig aspect. Daar dit niet zonder belang is voor den hydrologischen toestand lijkt het gewenscht over volledige hoogtekaarten te beschikken. Deze ontbreken echter; wat van de hoogten bekend is bepaalt zich tot losse cijfers welke op verschillende punten in topografische en waterstaatkundige kaarten zijn bijgeschreven. Het geheel overziende komt men tot het volgende beeld:

Tusschen den strandreep en de Veluwsche heuvels strekt zich een "depressie" uit. Deze heeft de grootste breedte bij Elburg, waar noordwaarts de overgang in polderland plaats vindt, en wordt in zuidwestelijke richting steeds smaller en bij Harderwijk geheel te eindigen. Van Harderwijk naar het Zuiden kan men weer een dergelijke inzinking opmerken; deze is belangrijk smaller dan over het algemeen tusschen Elburg en Harderwijk, doch ligt op een hooger niveau dan aldaar.

II² GELDERSCHE VALLEI.

Een geheel ander aspect biedt de kuststrook der Geldersche Vallei. Ongeveer in de lijn de Hulde-Wijkerk gaat het Veluwe landschap vrij plotseling in polderland over. Topografisch biedt dit tusschen de Veluwe en het Gooi weinig afwisseling. Aan de randen enkele decimeters boven N.A.P. gelegen daalt het onmerkbaar tot 0,3 à 0,4 m - N.A.P. nabij de Remmending.

In 't algemeen wordt de Geldersche Vallei naar het Zuiden toe steeds smaller en vertoont het terrein een zeer geleidelijke stijging; de 4 km breede poort tusschen Rhenen en Wageningen ligt op ca 7½ m + N.A.P.

II³ GOOI.

In het Westen vormt het Gooi met de Utrechtsch-Geldersche heuvels een saneengesloten rug, die de laatste pliocaene verheffing is vóór het Hollandsch-Utrechtsche polderlandschap. Daar deze verhandeling vooral de studie van het randgebied der IJsselmeerkom beoogt, zullen de beschouwingen tot het Gooi beperkt blijven.

Zowel in uitgestrektheid als in hoogte vormt het Gooi een terrein van kleinere afmetingen dan de Veluwe. De hoogste toppen, welke 1 à 1½ km bewesten Laren voorkomen, bereiken een hoogte van iets meer dan 30 m + N.A.P.

Zooals zal blijken, vertoonen Veluwe en Gooi, zoowel geologisch als hydrologisch belangrijke punten van overeenkomst; in het Gooi zijn vele verschijnselen echter van bescheidener afmetingen dan op de Veluwe.

In de kuststrook vallen enkele topografische verschillen op, welke voor den hydrologischen toestand van belang zijn.

Tusschen Huizen en Naarden naderen de hoogtelijnen van 2½, 5 en 7½ m + N.A.P. veel dichter de kust dan doorgaans op de Veluwe; hierin èn in de (relatief) steile hellingen valt een groote overeenkomst op met de streek bezuiden Harderwijk.

Ten Oosten van Huizen wijken de IJsselmeerkust en de Gooische heuvels uiteen: hier ligt de Meent, een vrij vlak, van ca. 1,0 m + N.A.P. tot 0,2 m + N.A.P. langzaam naar het IJsselmeer dalend terrein.

Van een strandreep, die op de Veluwe op vele plaatsen een zoo opvallende overgang naar zee vormt, is hier niets te bespeuren.

Het ten Westen van het Gooi gelegen polderlandschap zal, voor zoover van belang, onder III[4] in het kort worden besproken.

II[4] LANDSCHAPSTYPEN.

Zooals in de inleiding is opgemerkt, worden in het duidelijk rondgebied der IJsselmeerkom terreinen aangetroffen van verschillende gesteldheid. Bij de behandeling der topografische gesteldheid zijn in dat opzicht reeds verschillende typen genoemd.

In de volgende hoofdstukken zal dit gebied nog nader uit waterstaatkundig, geologisch en hydrologisch oogpunt worden beschouwd. Het zal hierbij blijken, dat er een nauwe samenhang bestaat tusschen de topografische gesteldheid, den aard van den dieperen ondergrond en den toestand der meer oppervlakkige aardlagen eenerzijds en den waterstaatkundigen toestand en afvoer van oppervlakte- en grondwater anderzijds. Het zijn ook deze factoren, die het gebruik van den bodem en daarmede het aanzien van het landschap bepalen. Een zuivere geografische studie van het terrein kan derhalve zeer verhelderend werken op het geo-hydrologisch inzicht. In het verleden is deze methode reeds meerdere malen met succes beproefd, o.a. door Vinken, Vlam (lit. 13 en 14), en zulks in streken met belangrijk minder uitgesproken verschillen dan in het onderhavige studiegebied.

Daarbij is echter wel gebleken, dat een zeer grondige kennis van het terrein een eerste vereischte is, wil een dergelijke op uiterlijke kenteekenen afgaande diagnose eenige zekerheid bieden.

Ten behoeve der studies in deze verhandeling is het terrein slechts vluchtig verkend en van een systematisch inwinnen van inlichtingen bij de gebruikers der terreinen, wien veelal zelfs geringe verschillen tijdens jarenlang gebruik bekend zijn geworden, is geen sprake geweest. In zooverre is van de o.a. door Vink en Vlam toegepaste werkmethode hier slechts een bescheiden gebruik gemaakt teneinde in het oog loopende verschillen in landschapstype des te duidelijker te doen uitkomen.

Daarnaast is uiteraard de gewone methode van geo-hydrologisch onderzoek aangewend (boringen, stijghoogte bepalingen en vaststelling kwelhoeveelheden), terwijl een bijzondere methode werd ontwikkeld voor de opsporing van kwelverschijnselen in de IJsselmeerkom.

Als resultaat van bovengenoemd onderzoek konden zes landschapstypen worden onderscheiden. Hierop vooruit loopende en ter wille van de overzichtelijkheid worden deze reeds nu vermeld in tabel 1.

Landschapstypen. Tabel 1.

A.	Van IJsselmeend	tot	ca. 2 km. bezuiden Elburg
B.	ca. 2 km. bezuiden Elb.	"	ca. 2 km benoorden Harderw.
C.	ca. 2 km. benoorden Harderwijk	"	Hulde
D.	Hulde	"	Gooyer Gracht
E.	Gooyer Gracht	"	Huiderberg
F.	Huiderberg	"	Amsterdam.

HOOFDSTUK III.

WATERSTAATKUNDIGE TOESTAND.

III[1] VELUWE.

Met de topografische gesteldheid van het beschreven gebied hangt de waterstaatkundige inrichting uiteraard nauw~~keurig~~ samen.

In het Noorden, van de IJsselmonding af, ligt het terrein zoo laag, dat het door een dijk tegenoverstroming beschermd wordt. Deze loopt door tot ca. 2 km. bezuiden Elburg, waar hij naar het hooge terrein afbuigt. De daarachter gelegen polders kunnen natuurlijk op het IJsselmeer loozen (b.v. het Goor bezuiden Elburg); andere beschikken naast deze loozingsmogelijkheid over bemaling (waterschappen Oosterwolde en Bronten).

Van Elburg tot de Hulde toe komen geen dijken meer voor: het land langs de kust, dat in karakter verschilt van het polderlandschap benoorden Elburg, ligt hier overal voldoende hoog en watert natuurlijk naar het IJsselmeer af. Deze afwatering geschiedt door een wijd verspreid en onregelmatig vertakt stelsel greppels en watergangen, die zich vereenigen tot enkele beekjes, welke tenslotte op het IJsselmeer afstroomen.

Een goed inzicht in dezen waterstaatkundigen toestand leveren de bladen Hattem[1] en Harderwijk 2 van de Waterstaatskaart. Hierop is in het Zuiden het groote gebied der "onzichtbare afwatering" ongekleurd gelaten; in het gebied waar bovengenoemde greppels en watergangen entspringen zijn deze door een speciale kleur gemarkeerd.

Er bestaat een nauw verband tusschen dit stelsel waterloopen en de onder a beschreven topografische gesteldheid: waar de bovengenoemde "depressie" het duidelijkst aanwezig is, is ook het stelsel watergangen over een groot oppervlak ontwikkeld. Nabij Elburg komt de grootste breedte voor; deze neemt af in de richting Harderwijk. Tusschen deze plaatsen de Hulde treft men eveneens op vele plaatsen greppels en beekjes aan; uit de Waterstaatskaart wordt den indruk verkregen, dat deze minder verspreid en vertakt zijn dan ten Noordoosten van Harderwijk en dus voor de zichtbare afwatering wellicht van minder belang zijn.

Het geheele stelsel watergangen is sterk anastomiseerend (vormingen van met in elkaar in verbindingen staande splitsingen, die zich stroomafwaarts weer vereenigen), zoodat veelvuldig bifurcatie kan optreden (stroming van water uit de eene tak naar de andere <u>en</u> omgekeerd).

Bovenbeschreven waterloopen verbeenigen zich in de richting van de kust tot enkele grootere, op het IJsselmeer uitkomende, beken. Deze hebben zich daarbij op vele plaatsen diep in de strandreep ingesneden en vormen, afgezien van enkele minder belangrijke greppels bij Harderwijk en Hulde, de eenige zichtbare afstroming op het IJsselmeer.

In tabel 2 is een overzicht gegeven van al deze beken tusschen Elburg en de Hulde; de plaats is tevens aangegeven op bijlage III, waarbij de nummering dezelfde is als in tabel 2, alsmede in de later te bespreken tabel 6.

<u>Afwatering op het IJsselmeer.</u> <u>Tabel 2.</u>
<u>Landschapstype A.</u>
(zie tabel 1).

1. Sluizen der polders bewesten Kampen.
2. Geldersche Gracht.
3. Bolsmerk- en Lummerserkaluis.
4. Nijk-Setering.

5. Puttenerbeek.
6. Goorbeek.

Landschapstype B.

7. Papenbeek.
8. Klarenbeek.
9. Gipelbeek.
10. Andhuizer/Horsterbeek
11. Pongelerebeek.
12. Getering I.
13. Getering II.
14. Bijaselsche beek.
15. Hod.beek.
16. Varefsche beek.
17. Kille beek.
18. Tochtsloot.
19. Hierdensche beek.

Landschapstype C.

20. Gijpel beek (haven van Harderwijk).
21. Heibeek.
22. Beekje I.
23. Beekje II.
24. Schaapedijkbeek.
25. Horstsche of Veldwijksche beek.
26. De Kronkel of Venenburgsche beek.
27. Beekje III.
28. Schuiten beek.

Ten Noorden van Elburg komen evenzeens dergelijke stelsels op het IJsselmeer afwaterende beekjes voor. Het belangrijkste gebied vormt daarbij de polder Oldebroek, waarvan de greppels en sloten zich tot de Gelderschee Gracht verenigen, die nabij Kampernieuwstad op het IJsselmeer uitkomt. Het benoorden Oldebroek gelegen terrein komt in karakter meer met "normaal" vlak polderland overeen.

Van de in tabel 1 genoemde beken vertoont de Hierdensche beek in zooverre een van alle andere afwijkend karakter, dat deze begint in de omgeving van het Uddelermeer, dus ver buiten de eigenlijke kuststrook. Echter geschiedt de voeding niet uit dit meer, maar wat den bovenloop betreft, uit talrijke kleine veterlingetjes tusschen het Uddelermeer en Leuvenum. Deze beek vormt daarmede de natuurlijke loozing van een vrij groot gebied (lit. 20). Tusschen Leuvenum en Hierden neemt de Hierdensche beek geen waterloopen op, doch in het benedenste deel van zijn loop dient hij evenals de andere in tabel 1 genoemde beken als verzamelaar van vele in het "depressiegebied" gelegen sloten en greppels. In hoofdstuk IV zal hierop nader worden teruggekomen.

De als laatste genoemde Schuitenbeek, die nog tot de Veluwe kuststrook wordt gerekend, ontvangt zijn afvoer van terreinen tusschen Nijkerk en Putten, deze grenzen in het Zuiden aan het stroomgebied van de Barneveldsche beek.

III[2] GELDERSCHE VALLEI.

De waterstaatkundige toestand der Gelderschee vallei is in het verleden reeds meerdere malen een punt van studie geweest.

De overlast aan water, welke vooral vroeger werd ondervonden, deed naar middelen uitzien om de afwatering te verbeteren, waarbij de aandacht zich vooral richtte op den afvoer van het oppervlaktewater (lit. 28 en 29).

Daarnaast waren de bijzondere hydrologische toestanden aanleiding de mogelijkheid van wateronttrekking ten behoeve van drinkwatervoorziening te overwegen; hierbij werd voornamelijk de ondergrondsche afvoer beschouwd (lit 25 en 26).

Beide onderwerpen zullen eerst in het laatste hoofdstuk met el-

maar in verband worden gebracht; hier moge allereerst een overzicht worden gegeven van den waterstaatkundigen toestand, zooals deze uit genoemde publicaties kan worden afgeleid.

De afwatering van de omstreeks 900 km² groote Gelderschc vallei heeft hoofdzakelijk plaats door de rivier de Eem en de bij Amersfoort daarin vloeiende hoofdbeken: de Barneveldsche en Lunterensche beek. In de Barneveldsche beek loopen eenige zijbeken uit, waarvan de voornaamste zijn de Savelderbeek, de Modderbeek met de Moorsrbeek en voorts de Hoevelakensche beek. In de Lunterscho beek wordt water aangebracht door verschillende toevoerkanalen, waaronder de Woudenbergsche Grift en de Broekersloot, welke laatste leiding het water aanvoert van de in het Zuidelijk gedeelte van de vallei gelegen landen onder Ede, Wageningen en Veenendaal. Deze landen zijn van het overig deel der vallei gescheiden door den "Slaperdijk" en zijn bekend als de "Exonereerende Landen".

Tot recht begrip van den waterafvoer in de Gelderscho vallei kan men deze naar de afwatering op de verschillende waterlossingen verdeelen in vier gebieden:

1. Het gebied, omvattende de landen, die rechtstreeks op de Eem of op het IJsselmeer afwateren.
2. Het stroomgebied van de Barneveldsche beek.
3. Het stroomgebied van de Lunterscho beek.
4. Het deel van de vallei, gelegen tusschen den Slaperdijk en den Rijn: de Exonereerende Landen.

Het zou ongetwijfeld ver buiten het bestek dezer verhandeling voeren hierop en op de vele daaraan verbonden complicaties nader in te gaan. Voor ons deel zijn voornamelijk van belang de onder 2 en 3 genoemde stroomgebieden. In tegenstelling tot andere onderdeelen staan hierover geen eigen onderzoekingen ter beschikking, doch uit de literatuur blijkt, dat juist de westelijke helling van de Veluwe het grondigst bestudeerd is, zoodat bij de resultaten van desbetreffend onderzoek zal worden aangesloten.

In bijlage 13 van het Veluwerapport van Dissel c.s. (lit.16) is een beschrijving gegeven van beide stroomgebieden, waarnaar verwezen moge worden. Van belang is daarbij het volgende, dat, hoewel feitelijk niet tot de waterstaatkundige toestand behoorende, wegens het groote belang hiervoor in deze paragraaf moge worden vermeld.

De beide voornaamste takken, n.l. de Groote Barneveldsche en de Savelderbeek vinden hun weg door de in II[1] genoemde onderbreking van den rug Wageningen-Harderwijk. In verband met een onderzoek voor de Amsterdamsche Waterleiding zijn in dit gebied de meeste waarnemingen/gedaan. In het algemeen werd een vrij regelmatig verhang in de stijghoogte van het grondwater geconstateerd maar hé Westen, en verder, op plaatsen waar dit meer in details was na te gaan, ook in de richting van de beken, zoodat men hier zeer waarschijnlijk te doen heeft met het ongestoord geleidelijk aan den dag treden van het grondwater; het geheel karakter der streek tusschen Voorthuizen en Otterlo maakt dan ook den indruk van een normaal stroomgebied, dat door een net van beektakken gedraineerd wordt en slechts een insnijding vormt in het overigens vrij regelmatig begrensde gebied der Hooge Veluwe. Ook het afnemen der stijghoogte van het op gelijke diepte gepeilde grondwater in de richting naar een beek (n.l. de Kleine Valkschebeek, een uitloeper van de Barneveldsche beek), alsmede het veranderen der stijghoogte in eenzelfde vertikaal in de richting van beneden naar boven zijn met die drainerende werking der beken in overeenstemming.

Ten aanzien van de Lunterensche beek wordt opgemerkt, dat deze door verschillende omstandigheden (laagland-karakter van een belangrijk deel van het oorsprongsgebied, voorkomen van meerdere etagen afsluitende lagen in den bodem) minder geschikt is voor het trekken van conclusies omtrent de afvloeiing uit de Hooge Veluwe aan de Barneveldsche beek.

Beschouwt men tenslotte, evenals voor de Noordelijke Veluwerand, alle punten waar in het oostgedeelte van de Gelderscho vallei op het IJsselmeer geloosd kan worden, dan heeft men de volgende opsomming (tabel 3.).

/betreffende het diepe grondwater

De nummering is dezelfde als in bijlage IV en tabel 6.

Afwatering op het IJsselmeer. Tabel 3.

29. Putter stoomgemaal met uitwateringssluis (Polder Arnemheen)
30. Nijkerker schutsluis aan de haven van Nijkerk (vnl. hooge gronden; stroomgebied Brede beek.)
31. Stoomgemaal met uitwateringssluis aan de Wiel (Nijkerker Polder)
32. Uitwateringssluis aan de Rossenbeek (Nijkerker Polder).
33. Uitwateringssluis aan de Laak (Harderwijker- en Nijkerker veen)
34. Motorgemaal ten Oosten van Spakenburg (oester Waterschap).
35. Schutsluis aan de haven van Spakenburg.
36. De Eem (De Barneveldsche en de Lunterensche beek, welke hierop afstroomen zijn reeds genoemd; gewezen moet nog worden op de talrijke uitwateringssluizen en gemalen, welke beneden Amersfoort op de Eem uitkomen).

Het langst liggen de polders nabij de Eemmonding; zoo vermeldt de Waterstaatskaart voor den Noordpolder te Veen (tegen het Gooi aan) een zomerpeil van 0,70 m - N.A.P., daarentegen heeft de polder Arnemheen een zomerpeil van 0,10 m - N.A.P.

III[3] GOOI.

Evenals bij de Veluwe behooren ook van het Gooi groote deelen tot het gebied der z.g. onzichtbare afwatering, d.w.z. dat er geen watergangen zijn aan te wijzen, welke voor afvloeiing van oppervlakte water dienst doen. Het Gooi onderscheidt zich daarbij door het algeheel ontbreken van beken, zooals deze op de Veluwe niet alleen aan de randen, maar ook in hoogere terreinen zoo menigvuldig voorkomen. De watergangen aan de randen van het Gooi hebben een geheel ander karakter.

Men treft op de Oostelijke hellingen heele korte greppels aan, welke van de hellingen afstroomend, water opvangen en naar de Gooyer Gracht leiden (bijlage IV). Evenzoo komen in het noordelijk deel der Westelijke hellingen watergangen voor, die op de boezem van de Naarder Trekvaart c.s. uitkomen.

Afzonderlijk staan de Meentgronden tusschen Huizen, het IJsselmeer en de Oostelijke omhulging van de Gooyer Gracht. Dit vrij vlakke, hoofdzakelijk als weide gebruikt land, watert door een aantal duikersluisjes op het IJsselmeer af. Het vertoont, geografisch en waterstaatkundig bezien, gelijkenis met de Veluwe-kuststrook langs het IJsselmeer.

III[4] POLDERGEBIED TEN WESTEN VAN HET GOOI.

Wanneer, als slot van de waterstaatkundige bespreking der kustgebieden, aandacht wordt gevraagd voor het poldergebied in het Westen, waartoe in dit verband ook de polders in het Zuidoostelijk deel van Noord-Holland worden gerekend, dan is dit niet voor een bespreking der talrijke polders en waterschappen en hun loozingen op het IJsselmeer, maar om te wijzen op een opvallend verschil tusschen de kustlanden ten Oosten en ten Westen van Naarden; een verschil dat ook bij de bespreking der geologische en hydrologische gesteldheid zal opvallen.

Waterstaatkundig ligt dit hierin, dat ten Oosten van Naarden, tot Kampen toe, zoowel omlandelijk langs de kust als Zuidwaarts, terreinen worden aangetroffen, welke hetzij belangrijk hooger liggen dan, hetzij zij nagenoeg overeenkomen met het gemiddelde peil van IJsselmeer (en ruwweg met dat van de vroegere Zuiderzee); daarentegen is het geheele poldergebied ten Westen Naarden daar belangrijk beneden gelegen. Zooals de heuveltoppen van Veluwe en Gooi de topografie in het Oosten accentueeren, zoo vormen de droogmakerijen in het Westen de diepste depressies in het polderland: het is, alsof het reliëf zich omkeert. Dat daarmede ook de hydrologische omstandighe-

den totaal veranderen, zal zonder meer duidelijk zijn.

Op twee in de onmiddellijke nabijheid van het Gooi gelegen diepe droogmakerijen moge tenslotte nog de aandacht gevestigd worden: de Horstermeer (z.p.3,40 m - N.A.P.) en de polder Bethune (z.p. 3,65 m - N.A.P.). Zij zijn omgeven door polders met een peil van 1,00 à 1,50 m - N.A.P. en vormen daarmede van alle randgebieden van Gooi of Veluwe de scherpste overgang van hoog heuvelterrein naar diepe polders. (zie ook I[1]).

.-.-.-.-.-.-.-.

HOOFDSTUK IV.

OPMERKINGEN BETREFFENDE DE GEOLOGISCHE GESTELDHEID.

IV[1] ALGEMEEN.

In geologisch opzicht biedt het zuidelijk randgebied der IJsselmeerkom een rijke afwisseling. Landschappen van verschillenden geologischen ouderdom grenzen op vaak gecompliceerde wijze aan elkaar en toonen een gevariëerden geo-technischen bouw. Daarbij kent sinds historische tijden het optreden van den mensch als geologische factor. De hydrologische gesteldheid welke door de geologische gesteldheid èn door de topografie wordt bepaald, kenmerkt zich daarmede evenzeer door groote verschillen in het te onderzoeken gebied. De in tabel 1 gegeven indeeling in zes landschapstypen zal daarbij weer karakteristiek blijken.

De meest markante terreinen vormen de pleistocene gebieden van Veluwe en Gooi. Door hun glaciale verschijnselen hebben zij reeds spoedig de aandacht der geologen getrokken en in vele publicaties is het resultaat van hun onderzoekingen neergelegd. Het mag daarom overbodig heeten, zelfs bij wijze van overzicht, daar nagenoeg op in te gaan.

De onder IV[2] te geven beschrijving van het pleistocene gebied van Veluwe en Gooi zal beperkt blijven tot enkele geo-technische opmerkingen, welke voor de hydrologie van belang zijn.

Karakteristiek voor de geologie van de te beschrijven kuststrook is het uitwiggen van de jongere formaties in het IJsselmeer, tegen de praeglaciale gronden van Veluwe en Gooi. In de profielen der kaartbladen van de Geologische Kaart is dit nader toegelicht; fig. 1 is aan kaartblad I Hattem 27 ontleend en geeft een doorsnede van Lagerplaats Oldebroek in Noordwestelijke richting tot de IJsselmeerkust.

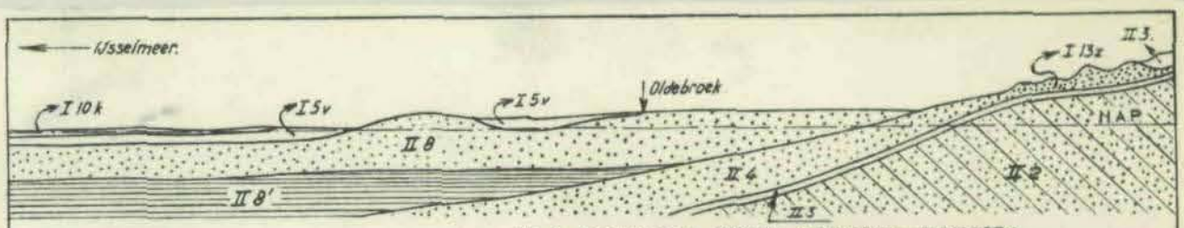


FIG. 1. GEOLOGISCH PROFIEL IJSSELMEER – OLDEBROEK.

De beteekenis der symbolen wordt als volgt toegelicht:

I5v	Laagveen.
I 10k	Jonge zeeklei.
II 8	Postglaciale dalopvulling of laagterras. Horizontale gelaagde, grintvrije fijne zanden.
II 8[1]	Zogenaamde "Hemvorming". Grove tot middelkorrelige zanden met Noordelijk en Zuidelijk grint en iets grootere keien, fijne zanden en bovenaan kleilagen, marijne schelpenfauna, vooral in de grovere zandlagen.
II 4	Flevioglaciale mantel. Fijne tot middelkorrelige zanden, meer of minder rijk aan fijn grint.
II 3	Grondmoreene. Verweerde keileem, meer of minder rijk aan Noordelijke erratica.
II 2	Gestuwd praeglaciaal. Middelkorrelige tot grove zanden.

De gegevens, waarop de kennis der geologische gesteldheid berust, kunnen in de volgende vijf categoriën worden onderscheiden:

I. De gegevens voorkomende op de in de literatuurlijst genoemde bladen der geologische kaart. Naast de aan de oppervlakte voorkomende grondsoorten is in profielen, zooals fig. 1 , de aard der diepere ondergrond toegelicht.

II. Een zestal boringen uitgevoerd in samenwerking met het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening in de Veluwe-kust, speciaal ten behoeve van het onderhavige onderzoek. Zij betreffen de volgende punten: (voor de plaats zie bijlage III)

H_1, H_2 en H_3 (Harderwijk)
H_1 en H_2 (Hunsepeet)
H_1 (Kop havendam Elburg).

In alle boringen zijn potentiaal bepalingen van het diepe grondwater gericht; hierop wordt later teruggekomen.

H_1 ligt ca. 1000 m landinwaarts van de gemiddelde kustlijn; H_2 ligt in deze lijn en H_3, op de kop van de Westelijke havendam, in ca. 3/425 m zeewaarts gelegen.

De boringen H_1 en H_2 liggen beide op het land; H_1 ca. 1050 en H_2 ca. 100 m van de kust verwijderd.

Ten slotte is H_1 uitgevoerd op de kop van de zeer lange Westelijke havendam van Elburg, met de bedoeling gegevens te hebben van een punt zoo ver mogelijk zeewaarts gelegen: de afstand tot de gemiddelde kustlijn is ca. 1300 m.

Terwijl de overige vijf boringen ondiep zijn (20 à 25 m - N.A.P. is bij H_1 een diepte bereikt van ca. 130 m - N.A.P.

III. In de kom van het IJsselmeer in den zomer van 1938 285 boringen verricht volgens een vierkanten net met zijden van 2½ km. In elk dezer punten is in het algemeen geboord tot in het plistoceen: in het westelijk deel zijn diepten bereikt van ruim 18 m - N.A.P.; in het oostelijk deel, waar het plistoceen hooger ligt, reiken de boringen soms niet dieper dan 3 à 4 m - N.A.P.

De plaatsen der boringen zijn aangegeven in bijlage V.

De monsters dezer boringen zijn onderzocht op het Bodemkundig Laboratorium der Wieringermeerdirectie, onder leiding van dr. ir. A.J. Zuur; van elk monster is het chloorgehalte bepaald, zoodat het verloop hiervan met de diepte over de boorlengte bekend is. Bovendien is in 1942 door ir. H.D.H. Burck nagegaan welke geologische conclusies uit deze boorgegevens mogen worden getrokken.; hierop zal later worden teruggekomen.

IV. In het Zuidelijk deel van de kom zijn tal van ondiepe boringen verricht ter voorbereiding van civiel-technische werken door den DIENST DER ZUIDERZEEWERKEN en daarnaar voorafgegaan commissies en studievereenigingen. Slechts enkele reiken tot 20 à 25 m - N.A.P. Bij een klein deel der boringen zijn de monsters geologisch onderzocht.

Tot deze categorie behoort een reeks boringen, uitgevoerd in volgens een tracé bestaande uit een serie rechte stukken, evenwijdig aan de kust van Veluwe, Gelderscho Vallei en Gooi, op een afstand daarvan varieerende van 1 - 3 km. Deze boringen liggen 1000 m uit elkaar. De bereikte diepte is gemiddeld slechts 7 m, doch om de 5 boringen is er 1 voortgezet tot beneden 30 m - N.A.P. De daarbij verkregen gegevens zijn alleen van geo-technischen aard.

Evenzoo zijn door den Dienst der Zuiderzeewerken tal van boringen verricht op het Zuiderzand, waardoor,ditmaal in samenwerking met den toenmaligen Rijks Geologischen Dienst te Haarlem,veel bekend is geworden omtrent de geologische gesteldheid van dit gebied.

V. Terloops worde hier nog een vijfde categorie genoemd, n.l. een drietal diepe boringen uitgevoerd:

1. op het eiland Marken (99 m - N.A.P.)
2. in de kom van het IJsselmeer, 22 km beoosten Edam (232 m - NAP)
3. op het eiland Urk (153 m - N.A.P.)

De monsters dezer boringen zijn door bemiddeling van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening geologisch onderzocht; daarmede is ook het verloop van het chloorgehalte met de diepte vastgesteld. Voor het onderhavige onderzoek zijn de resultaten slechts zijdelings van belang.

In de bijlagen V en VI (geologische gegevens) zijn de diverse bovengenoemde gegevens verzameld.

Bijlage V geeft in het algemeen de situatie der verschillende boringen alsmede - overgenomen uit de Geologische kaart - de verschillende aan de oppervlakte komende formaties in het kustland tusschen Kampen en Amsterdam. Terwille van de overzichtelijkheid zijn verscheidene vereenvoudigingen aangebracht; zoo zijn de symbolen I 10k (zeeklei, dikker dan 8 dm.), I 10k/I 5v (jonge zeeklei liggend op

I 5v, hetzij dik 4 à 8, hetzij dik 1 à 4 dm) en I 10k/II 8 (jonge zeeklei dunner dan 8 dm op laagterras) alle eenvoudigheidshalve als I 10k aangegeven. Voorts zijn enkele voor dit doel minder belangrijke details, zoals oeer en andere smeltwaterruggen, weggelaten alsmede enkele kleinere plekken van grondmoreene of praeglaciale leem.

Voorts zijn op genoemde bijlage aangegeven de plaatsen van de diverse bovengenoemde boringen (vierkantennet, raai evenwijdig aan de kust, Kulderzand, boringen K_1, K_2, K_3, E_1, E_2, en E_1, diepe boringen Marken, kom IJsselmeer en Urk). Ook zijn opgenomen de plaatsen der randprofielen van de Geologische Kaart.

Boringen en profielen zijn geteekend in bijlage VI (Geologische gegevens, 8 profielen). Hierbij is gestreefd naar een weergave zonder meer: in de zuiver geotechnische gegevens van de boringen evenwijdig aan de kust is niet getracht stratigrafische grenzen aan te geven, deze moeten worden gevonden door vergelijking met dié profielen en boringen waarin de stratigrafische grens door bevoegde geologen is vastgesteld. Hiertoe zijn ook enkele profielen opgenomen uit het reeds genoemde rapport van Burck: de nummering is hierbij dezelfde als in de situatieteekening.

Van het zestal boringen behoorende tot groep II zijn afzonderlijke beknopte beschrijvingen gegeven in aanhangsel A, deze zijn ontleend aan de desbetreffende verslagen van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening.

In de volgende paragrafen van dit hoofdstuk zal een bespreking worden gegeven van de holoceene en plistoceene lagen. Dat deze bespreking vooral zal betreffen de uit hydrologisch oogpunt belangrijke formaties, is duidelijk. Zij draagt dan ook geen zuiver geologisch karakter, maar sluit hier wel nauw bij aan.

Ter wille van de overzichtelijkheid en in aansluiting op de reeds eerder naar voren gebrachte mogelijkheid het studiegebied, hoe ook beschouwd, in een aantal landschapstypen te verdeelen, moge hier allereerst een overzicht worden gegeven van de geologische gesteldheid der jongere lagen op het land.

Hierbij raadpleeg men bijlage V.

In de kuststrook van de IJsselmond tot de streek om Alburg (landschapstype A) blijken boven de zanden van het laagterras eenige meters dikke afdekkende klei- en veenlagen aanwezig te zijn, welke vooral in het noorden over groote oppervlakten aaneengesloten voorkomen.

Het landschapstype B, dat zich tot nabij Harderwijk uitstrekt, vertoont evenzeer holoceene deklagen boven de plistoceene zanden, doch veel dunner dan bij A; nabij de kust komt vooral jonge zeeklei (I 10k) voor, meer landwaarts zijn het onregelmatig verspreide strooken moerasveen. (I 6v). Bij een vergelijking met topografische gegevens valt op, dat juist de lagere strooken met meer ondoorlatend materiaal zijn bedekt, terwijl hoogere plekken - zoals die waar het dorp Doornspijk op is gebouwd - hier boven uitsteken.

Waar de heuvels van de Veluwe dicht aan de kust komen, zoals in de strook C tot de Hulde, is een bedekking der laagterraszanden met jonge zeeklei evenzeer achterwege gebleven en is ook het A 6v van weinig beteekenis: ook hier blijkt een duidelijk verband met de topografische gesteldheid.

De praeglaciale Veluwe-zanden duiken weg onder de Geldersche Vallei om in het Gooi weer aan de oppervlakte te treden; de aldus gevormde inzinking is opgevuld met machtige lagen Eem- en laagterrasvormingen, terwijl vooral nabij de kust het jong-holoceen in vele meters klei- en vooral veenlagen ontwikkeld is. (Landschapstype D).

Het Gooi (N) kenmerkt zich, evenals de Veluwe, door gestuwde praeglaciale zanden aan de oppervlakte; hier is zelfs een strook waar deze onmiddellijk aan de kust grenzen. De lager gelegen Veentgronden, welke geografisch evenzeer tot het Gooi behoren, toonen aan de oppervlakte een vrij dikke bedekking met jonge zeeklei (I 10k); ook daarin toonen zij overeenkomst met de kuststrook van

de Veluwe. Tot dit landschapstype kan ook de praeglaciale opduiking Huiderberg gerekend worden.

Tenslotte werde nog gewezen op de laagveen- en rivierkleiafzettingen in het polderland in het westen (8). Voorzoover het deze jongere lagen betreft is er geologisch overeenkomst met landschapstype A.

IV² PLISTOCEEN ONDER DAN DE HEUVELEN VOORNAMELIJK UIT GEOLOGISCH OGPUNT.

Het is van algemeene bekendheid, dat bij de studie van hydrologische problemen in den ondergrond van westelijk Nederland kennis noodzakelijk is van de in het algemeen goed doorlatende plistocene lagen. Van belang hierbij is de gemiddelde doorlatendheid en de dikte welke aan dit pakket practisch kan worden toegekend. Het is n.l. niet mogelijkeen scherpe grens aan te geven waar beneden geen stroming meer optreedt, doch omdat de dieppgelegen fijne marine lagen (Iesnien en vooral Tertiair) een groote weerstand vormen, kan met een pakket van een beperkte nader te bepalen dikte en doorlatendheid worden gerekend.

Het was o.a. deze overweging die den opzet geleid heeft van het door de commissie Van Diesel en haar voorgangers verrichte Veluwe-onderzoek (lit 16 en 17). Daarbij is komen vast te staan, dat het plistoceen onder Veluwe, dooi en omgeving hydrologisch beschouwd kan worden als één enkel pakket zonder scheidende tusschen lagen. Wel komen op vele plaatsen klei- en leemlagen voor, doch deze hebben slechts een plaatselijke beteekenis.

Ten aanzien van de vraag welk doorlaatvermogen deze plistocene lagen als geheel genomen bezitten, staan echter maar weinig aanknoopingspunten ~~beschikbaar~~. Zijn:

k_1, k_2, k_3, ---- k_n de doorlaatfactoren van de verschillende grondlagen in een bepaalde doorsnede (in meters per etmaal)

H_1, H_2, H_3, ------ H_n de dikte dezer lagen (in meters)

dan is het totale doorlaatvermogen:

$$\sum_1^n k_n H_n \text{ (in } \frac{m^2}{etm}\text{)}.$$

Ter bepaling van deze grootheid nu is de commissie Van Diesel in feite volgens twee wegen te werk gegaan.

Enerzijds heeft zij getracht te vinden de totale dikte van het watervoerende pakket en de gemiddelde doorlatendheid hiervan. De eerste grootheid is geschat op grond van geologische aanduidingen op 200 m. Hierbij dient aangeteekend te worden, dat geen enkele voldoend diepe boring ter beschikking stond waaruit de practische ondergrens van het doorlatende pakket kon worden afgeleid. De diepteboring reikt tot 176 m + NAP. Het mariene Tertiair werd hierin niet bereikt; het laatste pakket van 173 - 176 m -- NAP is marien Plistoceen (Ilo). Het mariene Tertiair is wel bereikt in boringen in de omgeving van het Veluwe-terrein. Deze maken genoemde waarde van 200 m aannemelijk. (vergelijk fig. 2). Voor de gemiddelde doorlatendheid is een aanknoopingspunt gevonden in de resultaten van pompproeven uitgevoerd door het Rijksbureau voor Drinkwatervoorziening voor de winplaatsen van de Apeldoornsche, Edesche en Arnhemsche Waterleiding. Gevonden werd respectievelijk 25, 30 à 35 en 20 $\frac{m}{etm}$; gemiddeld en 25 à 30 $\frac{m}{etm}$. Dulks leidt tot:

$$\sum_1^n k_n H_n = 5000 \text{ à } 6000 \frac{m^2}{etm}.$$

Anderzijds heeft de commissie overwogen dat deze grootheid ook gevonden kan worden wanneer bekend is de sterkte van den grondwaterstroom, op zeker punt (uit den nuttigen neerslag p op het stroomgebied en de afstand ℓ van het punt tot de waterscheiding) en het verhang i. Er geldt n.l.:

$$\sum_1^n k_n H_n i = p\ell .$$

Toepassing van deze formule op de situatie aan de westelijke

helling van de Veluwe (ter plaatse van het z.g. boorterrein der gemeente Amsterdam; zie lit. 16 blz) leidden voor:

$$\left.\begin{array}{l} p = 200 \text{ mm/jaar} \quad \sum_1^n k_n H_n = 4800 \frac{m^2}{etm} \\ p = 250 \text{ mm/jaar} \quad \sum_1^n k_n H_n = 6000 \frac{m^2}{etm} \end{array}\right\} \left(\begin{array}{l} j = \frac{1}{1100} \\ l = 8000 \text{ m} \end{array}\right)$$

hetgeen practisch overeenkomt met bovenafgeleide waarden. Voorts deelt het rapport der commissie mede, dat soortgelijke berekeningen, uitgevoerd aan de hand van gegevens inzake de algemeene afstroming, voor andere punten van de Hooge Veluwe globaal hetzelfde resultaat geven, met dit verschil, dat in het Noorden de waarde van $\sum k_n H_n$ iets hooger, in het Oosten iets lager is.

Het zal blijken, dat deze gegevens wijzigingen moeten ondergaan. In de eerste plaats is de waarschijnlijke waarde van p: 300 à 350 $\frac{mm}{jaar}$; de commissie Van Dissel heeft hier opzettelijk een lage schatting voor genomen. Voorts blijken l en i niet geheel juist. In bijlage XVI - waar nagenoeg hetzelfde "balansgebied" (rst) is aangegeven als door de commissie is gebruikt - is gemiddeld:

$$l = 9000 \text{ m} \quad \text{en} \quad i = \frac{1}{750} ,$$

zoodat:

$$\sum_1^n k_n H_n = \frac{\frac{300 \text{ à } 350}{365} \times 9000}{\frac{1}{750}} = 5500 \text{ à } 6500 \frac{m^2}{etm} ,$$

hetgeen wat meer is dan boven gevonden.

Een voordeel van de methode is dat dezeop vrij groot gebied betrekking heeft en dus een goed gemiddelde van kH levert. Daarentegen is het bepalen van het juiste verhang vrij bezwarlijk door het ontbreken van voldoende stijghoogte-bepalingen op de grens van het beschouwde infiltratiegebied.

Het is zeer te betreuren, dat de voorgenomen diepe boring (tot 400 m - NAP) te Harderwijk niet tot uitvoering is gekomen, waardoor dit probleem - en andere problemen - (zie IX_1) meer zekerheid was ontstaan. Bij gebrek aan nadere gegevens lijkt $6000 \frac{m^2}{etm}$ voor $\sum_1^n k_n H_n$ onder de midden-Veluwe een aannemelijke waarde en deze is voor het volgende aangehouden. Meer naar het noorden lijkt een hoogere waarde waarschijnlijker: de basis van het plistoceen vertoont in Nederland een algemeene helling in die richting (zie fig 2, ontleend aan "Nederlandsche Landschappen" van dr. ir. J. Faber lit. 2, aangevende de globale ligging van de basis), terwijl van een verandering in fijnheid van het materiaal niets bekend is.

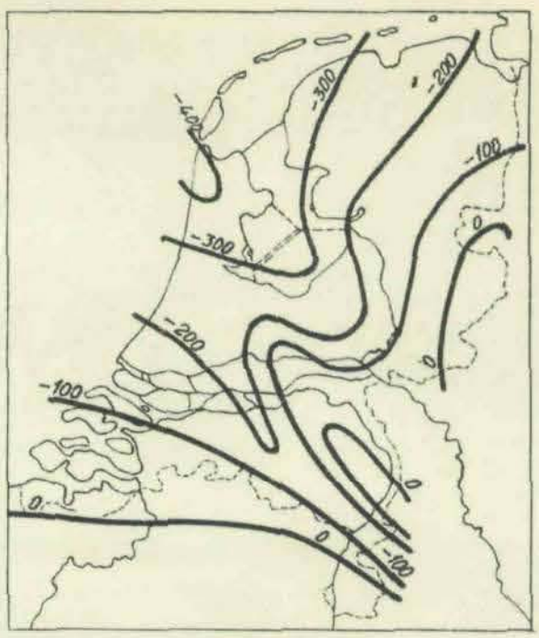


FIG 2.
GLOBALE LIGGING BASIS PLISTOCEEN
IN NEDERLAND.

Voor het randgebied van Veluwe en IJsselmeer moet derhalve ca 7500 $\frac{m^2}{etm}$ mogelijk worden geacht; deze waarde sluit goed aan bij de bijna 7000 $\frac{m^2}{etm}$ gevonden voor den polder de Koekoek (N.O van Kampen) door een vrij gedetailleerd hydrologisch onderzoek.

Toch kan aan bovenstaande redeneering niet te veel waarde worden gehecht. Voor de Sleringerweer, waar men immers een nog hoogere kH-waarde zou verwachten bleek evenwel 5000 $\frac{m^2}{etm}$ een getal te zijn, waarmede waargenomen kwel en stijghoogten bevredigend konden worden verklaard. Het is dus zeker mogelijk dat voor de noordelijke Veluwe rand de kH-waarde lager is dan boven vermeld. Een lagere waarde dan 5000 $\frac{m^2}{etm}$ lijkt uitgesloten. [1]. Voor berekeningen is derhalve naast een waarde van 7500 $\frac{m^2}{etm}$ nagegaan welke wijzigingen de conclusies dienen te ondergaan wanneer met 5000 wordt gerekend.

Ook de kH-waarde in andere deelen van het studiegebied, zoals de Geldersche vallei en het Gooi, is moeilijk nauwkeurig te bepalen. Op grond van fig 2 zou men in het algemeen wat lagere waarden verwachtendan in het randgebied van de IJsselmeerkom langs de Veluwe. Bij de studie van de waterbalans van bepaalde deelen van het Gooi (lit. 7 en 33) is gebleken dat het totale doorlaatvermogen ongetwijfeld belangrijk lager is dan 7500 $\frac{m^2}{etm}$; een zeer lage schatting is 3000 $\frac{m^2}{etm}$. (zie in dit verband VIII_4).

Op grond van bovenstaande moet 4000 à 6000 $\frac{m^2}{etm}$ een zoo goed mogelijke schatting worden geacht van de kH-waarde onder Gooi en Geldersche vallei en deze grenzen zijn dan ook in het volgende aangehouden. Voorzoover aanleiding bestaat hier plaatselijk van af te wijken, zal dit afzonderlijk worden gemotiveerd.

In het algemeen vormt bij geohydrologische studies van den bodem in westelijk Nederland het Plistoceen een goed doorlatend watervoerend pakket. Klei- en veenlagen hierin hebben door hun lensvormige bouw meestal slechts een plaatselijke beteekenis. Het geo-hydrologisch onderzoek van het zuidelijk randgebied der IJsselmeerkom brengt wat dit betreft een nieuw gezichtspunt, daar de aanwezigheid blijkt van

---

1) Wanneer in sommige rapporten hiervoor een nog lagere waarde is aangenomen, geschiedde dit om overeenstemming te verkrijgen met de lage schatting van den nuttigen neerslag.

sterk afsluitende pleistocene lagen over een wijd gebied. Deze bestaan uit Eemlagen en glaciale formaties. Alvorens de hydrologische consequenties te bespreken, lijkt het gewenscht eerst eenige geologische aspecten naar voren te brengen.

Een der belangrijkste uitkomsten van de bestudeering door Dr. J.F.Steenhuis van het Veluwe-onderzoek-1927 der gemeente Amsterdam 1) was het vrij volledige inzicht dat verkregen werd omtrent de erosie van het praeglaciale landschap vóór de aanwezigheid van het Scandinavische landijs. Op vele plaatsen van het Veluwe-terrein zijn over een afstand van eenige honderden meters verscheidene tientallen meters niveauverschil aanwezig geweest.

Terwijl voor de Hooge Veluwe dit verschijnsel voor de hydrologische gesteldheid hoogstwaarschijnlijk van weinig belang is, blijkt dit voor het gebied van Nijkerk de oorzaak te zijn van vele merkwaardige afwijkingen in de grondwaterbeweging t.o.v. de andere randgebieden. (zie VIII$_2$). Het is n.l. gebleken, dat hier de praeglaciale erosie veel dieper gereikt heeft dan op andere plaatsen, zoodat de steunlagen der glaciale en fluvio-glaciale formaties hier op een niveau van ca 90 m - NAP voorkomen, terwijl deze in de onmiddellijke omgeving (Kraelo, Garderen) belangrijk hooger worden aangetroffen. (ca 40 m - NAP). Wat nu voor de hydrologie van bizonder belang is, is dat hierboven tientallen meters dikke klei- en leemlagen zijn afgezet van fluvio-glaciale herkomst. (II$_3$1) Dit valt op, omdat in den regel en vooral de jongere zones dezer lagen uit grofzandig materiaal bestaan. Voor de ontstaanswijze der ondoorlatende pakketten is, volgens Steenhuis, o.a. aan slijkstroomen te denken, welke met afsmeltend landijs in verbinding stonden en daardoor werden gevoed.

Boven de fluvio-glaciale afzettingen worden in het gebied om Nijkerk Eem-formaties aangetroffen waarop nog nader zal worden ingegaan. (IV$_3$) Deze bestaan eveneens - althans voor het belangrijkste deel - uit kleilagen.

Het praeglaciaal in dit gebied is van practische beteekenis daar het op groote schaal gebruikt wordt voor individueele drinkwatervoorziening door norton-putten. De overdruk in het praeglaciaal is soms zoo groot, dat het water tot een paar meter boven het maaiveld stijgt. Hierdoor en door de goede hoedanigheid is het tot een uitgebreide toepassing gekomen niet alleen op de erven, maar ook op het land voor veedrenking. In het laatste geval zijn de buizen veelal niet van afsluiters voorzien en vloeren dus onnoderbroken af.

De filters dezer putten liggen het diepst in een lijn van Nijkerk naar het Putter stoomgemaal, hier komen diepten van ca 100 m - NAP voor. Ten oosten en westen hiervan behoeft men zoo diep niet te gaan: de filters komen hier voor op diepten van 30 - 40 m - NAP. Enkele gegevens daarover - ontleend aan het Veluwe-rapport der commissie Van Dissel - komen voor op bijlage VII.

Uit enkele verkregen <u>voorloopige</u> inlichtingen van bewoners en boorondernemers zou men tot het volgende besluiten:

<u>1</u> De grens van het gebied waar dergelijke norton-putten geslagen kunnen worden loopt in het westen tusschen Spakenburg en Nijkerk, dan ca 2 km bezuiden deze plaats en vervolgens naar het station Putten. De noordelijkste put ligt nabij de boerderij Valkelo (x = + 11750, y = + 13750, bijlage VII).

<u>2</u> Boven het niveau waarin de filters zich bevinden worden uitsluitend kleilagen aangetroffen, behalve de bovenste 10 à 20 m die uit zandlagen bestaan. Hierin wordt evenwel geen overdruk waargenomen. Bezuiden Nijkerk zijn de diepere kleilagen door een zandlaag in tweeën verdeeld; ook in deze laag heerscht een overdruk, maar minder dan onder de onderste kleilaag.

<u>3</u> De aanleg der eerste putten dateert van het midden der varig eeuw te Nijkerk, doch eerst in de laatste 30 à 40 jaar is het tot een ruime toepassing gekomen en tot op den huidigen dag komen er nog nieuwe bij.

<u>4</u> Volgens een bejaard zegsman zou van een vermindering van druk

---

1) Opgenomen als bijlage I in het rapport der commissie Van Dissel-

dientengevolge in den loop der jaren niets te bemerken zijn. Daarentegen zou de invloed van de afsluiting der Zuiderzee niet onbemerkt zijn gebleven. In het bijzonder zouden bij N.W. wind niet meer die overdrukken voorkomen, die vroeger geconstateerd werden.

Zoo blijkt dus voor Nijkerk het voorkomen van een zeer belangrijk complex afsluitende lagen in den bodem. De groote dikte doet hen een soort barrière vormen tegen den van het Oosten komende grondwaterstroom. Deels bestaan ze uit II_0l, deels uit II_4 en II_3. Hun hydrologische beteekenis over een wijd gebied zal uit het volgende genoegzaam blijken.

IV. KEM-STELSEL.

Tot de geologische formaties welke voor de hydrologie van het te bestudeeren gebied van bijzonder belang zijn, behooren de z.g. Kemlagen (II_0l).

Door de afsmelting van het landijs had in het Riss-Würm interglaciaal een rijzing van den zeespiegel plaats, waardoor de zee transgredeerde over groote oppervlakten van noordwestelijk Europa en belangrijke zand- en kleilagen werden afgezet. De uitbreiding van de Kemzee op Nederlandsch gebied is in fig 3 aangegeven. (ontleend aan lit. 4).

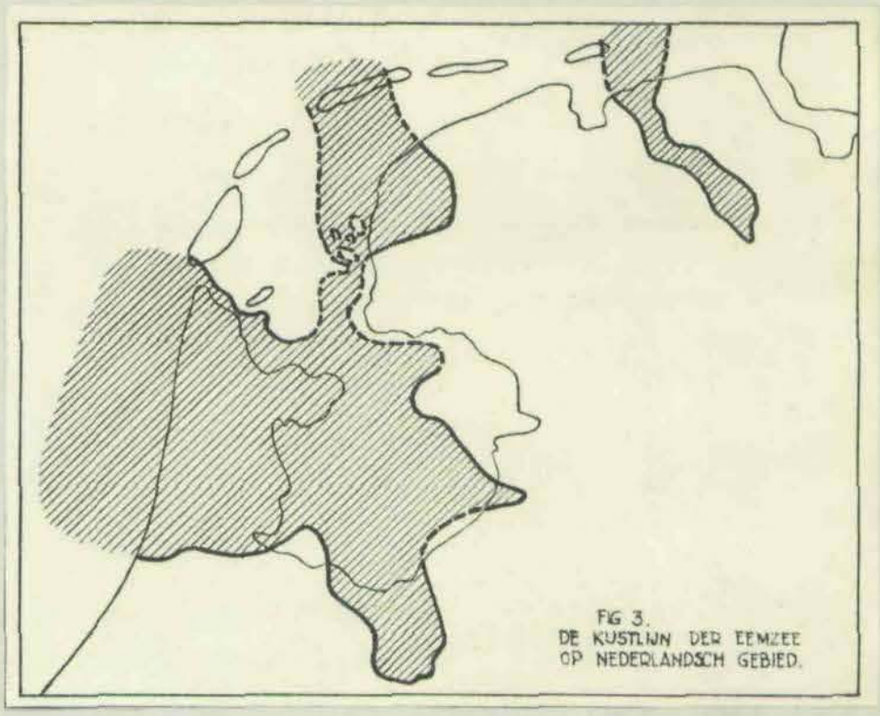


FIG 3.
DE KUSTLIJN DER EEMZEE
OP NEDERLANDSCH GEBIED.

Hieruit blijkt dat in het te beschouwen gebied op twee plaatsen Kem-afzettingen voorkomen: in het noorden een klein gebied nabij Elburg en in het zuiden over een belangrijke oppervlakte onder de Gelderscho vallei. Naar het voorkomen in dit gebied werden deze afzettingen in 1874 door Harting met de naam Kemstelsel aangeduid. (lit. 3).

De Kem-lagen komen in Nederland nergens aan de oppervlakte voor. Zij zijn vrij gemakkelijk herkenbaar aan karakteristieke gidsfossielen (lit. 1), zoodat hun begrenzing, voor zoover voldoende boringen voorhanden waren, nauwkeurig kon worden vastgesteld. Aldus o.a. in de Wieringermeer, op het Zuiderzand en in den Noordoostelijken polder, waar voor civiel-technische en landbouwkundige doeleinden een dicht net van boringen was geschapen. In andere gebieden b.v. de Veluwe-kust en de hoeht bij Elburg is de begrenzing minder scherp vast te stellen.

De basis van het Eemstelsel ligt in de Geldersche vallei van 10 tot 25 m - N.A.P. diep; de dikte is gemiddeld 2 tot 4 m. Bij de Zuiderzee is de basis-diepte tot bijna 50 m toegenomen en de dikte tot meer dan 15 m. Over het algemeen hellen zoowel boven- als ondervlak van de randen der Geldersche vallei naar het midden; evenzoo in de richting zuid-noord. Ook de dikte neemt in genoemde richtingen geleidelijk toe. 1)

Zooals reeds bij fig 1 is aangeteekend, hebben de Eem-lagen een wisselende samenstelling. In het bijzonder moge de aandacht gevestigd worden op de kleilagen, welke bovenaan de afzetting als een samenhangend geheel voorkomen. Op hun voorkomen, dat voor de hydrologie van de Geldersche vallei van zoo'n groot belang is, is bij vroegere onderzoekingen herhaaldelijk de aandacht gevestigd (lit. 25 en 26). Hierbij is gebleken, dat deze laag, die een grooten weerstand biedt tegen het doorkwellen van water, zich uitstrekt over nagenoeg het geheele in fig 2 gemarkeerde deel der Geldersche vallei.

Veel minder bekend is omtrent de vraag, of deze afsluitende laag zich ook verder noordwaarts - dus onder het IJsselmeer - uitstrekt en zoo ja, tot hoever. Het aantal boringen, dat daartoe ter beschikking staat, is weliswaar vrij groot, doch de meeste zijn in het Laagterras of in de Eemlagen blijven steken. Nog sterker weegt het feit, dat een geologische determinatie der boormonsters over het algemeen achterwege is gebleven. Nu is het uit hydrologisch oogpunt een belangrijker vraag of er op een bepaalde hoogte een afsluitende laag voorkomt dan de vraag welke ouderdom deze laag bezit. De interessen van den hydrologe naar de ouderdom hangt echter samen met het volgende:

Bij boringen in het Nederlandsche Quartair worden vele klei- en veenlagen aangetroffen, welke veelal niet meer dan lenzen zijn en door hun plaatselijk voorkomen meestal iedere hydrologische beteekenis missen. De zaak verandert, wanneer blijkt, dat een of andere kleilaag tot een bepaalde geologische periode behoort waarvan bekend is, dat daarin over grootere oppervlakten ononderbroken afsluitende lagen werden afgezet. Een zoodanige periode is de jongste phase van den Eemtijd. In de Geldersche vallei werden toen kleilagen afgezet, welke voor latere erosie gespaard bleven (lit 20) en welke afsluitende werking hydrologisch is vastgesteld.

Worden nu in een naburig terrein kleilagen aangeboord evenveens van Eem-tijd ouderdom, dan is de mogelijkheid groot, dat ook deze lagen hydrologisch van belang zijn.

Ten aanzien van het voorkomen van Eem-lagen, meer in het bijzonder van Eem-kleilagen onder het IJsselmeer, kan nu het volgende worden opgemerkt:

1. Bij de onder IV_1 genoemde diepe boring uitgevoerd in de kom van het IJsselmeer ongeveer 22 km beoosten Edam werden, naar gegevens van Steenhuis, van 19.55 - 34.00 m - N.A.P. Eemlagen aangeboord. (bodemdiepte 4.40 m - N.A.P.). Deze bestonden overwegend uit grof- en middelkorrelig slibarm zand. Alleen op 29.00 m - N.A.P. werd een slechts 20 cm dik laagje aangetroffen van fijn gelaagde, zandige, brokkelige, donkergrijze klei. In een destijds op het eiland Marken verrichte diepe boring, waarbij de monsters evenveens geologisch werden gedetermineerd, bleken Eemafzettingen aanwezig van 21 - 43 m - N.A.P., deze bestonden geheel uit grove en middelkorrellige zanden.

Uit deze gegevens wordt de voorloopige indruk verkregen, dat onder het centrale deel van de IJsselmeerkom geen afsluitende lagen van beteekenis in het Eem-stelsel voorkomen. De overige in dit gebied ter beschikking staande boringen zijn op een te hoog niveau blijven steken om conclusies mogelijk te maken.

2. In het deel van het IJsselmeer bezuiden de lijn Harderwijk-Huizen staan enkele dieperreikende boringen ter beschikking; helaas is geen stratigrafische onderscheiding aanwezig. Daardoor kan ook niet met zekerheid worden uitgemaakt of de kleilaag, welke

1) In de Geldersche vallei komen norton-putten voor, zooals beschreven voor het gebied om Nijkerk. De filters liggen onder de Eemlagen op diepten van 20 à 40 m. (zie lit 16. blz. 73 en 74)

voorkomt op een diepte ongeveer overeenkomende met de bovenkant der Eemlagen volgens de dwarsprofielen der Geologische kaart, inderdaad tot het Eemstelsel moet worden gerekend. In dat geval is de waarschijnlijkheid groot, dat hetgeen in alle boringen voorkomende, toevallige kleilenzen betreft, maar een lang van groote uitgestrektheid. In het land, dus in de kuststrook van de Gelderscho vallei onmiddellijk langs het IJsselmeer, staan een tiental voldoend diep reikende boringen ter beschikking, welke ten deele geologisch onderzocht zijn. Hieruit bleek de aanwezigheid van een in de bovenste lagen van het Eemstelsel voorkomende kleilaag welke den indruk maakt over groote oppervlakten voor te komen.

3. Uit 1 en 2 kon worden geconcludeerd, dat ten aanzien van de vraag, of de in de Gelderscho vallei voorkomende afsluitende laag ook nog onder het IJsselmeer doorloopt, onvoldoende gegevens ter beschikking staan. Wat ervan bekend is, maakt zulks wel waarschijnlijk, althans voor het zuidelijk randgebied der IJsselmeerkom.

Er is trouwens geen enkele reden, waarom de onder de Gelderscho vallei voorkomende Eemkleilaag zich niet noordelijker zou uitstrekken dóór de tegenwoordige zeedijk. Men kon zich deze formatie ontstaan denken doordat in de reeds door sedimentatie gedeeltelijk opgevulde zeearmen het slib in rustig water gelegenheid kreeg te bezinken. Zooals uit fig. 2 kon worden opgemaakt bevond zich een zoodanige zeearm ter plaatse der Gelderscho vallei. Deze nu strekte zich verder noordelijk uit door de tegenwoordige kustlijn: ook dáár konden dus fijnere lagen worden afgezet. Nog verder, dus in het centrale deel van de kom, is bij gelijke omstandigheden als elders, slechts zand te verwachten.

4. Geologisch is het met het voorgaande aannemelijk te maken, dat in het zuidelijk deel der IJsselmeerkom tegenover de Gelderscho vallei Eem-kleilagen voorkomen. Over welk gebied zij zich uitstrekken en of zij door onderbroken voorkomen hydrologisch van belang zijn, kan op grond van de beorgegevens niet worden uitgemaakt.

In het volgende (hoofdstukken VI en VII) zullen een tweetal onafhankelijke argumenten worden besproken, welke tot het inzicht leiden dat over een vrij groot gebied ten Noorden van den tegenwoordigen zeedijk langs de Gelderscho vallei afsluitende lagen in den bodem voorkomen. Het reeds op geologische gronden uitgesproken vermoeden zal daarmede worden bevestigd.

Wat het overige deel van de kuststrook betreft, is reeds opgemerkt, dat de begrenzing van de zandige grond tusschen Huizen en Amsterdam vrij nauwkeurig kon worden bepaald; het tegenwoordige Muiderzand valt er bijna geheel buiten (fig. 4 ontleend aan lit. 12). Er zijn geen aanwijzingen dat in dit gebied in de Eem-formatie afsluitende lagen voorkomen: het betreffende terrein ligt trouwens langs de eigenlijke Eemzee en niet - zooals de Gelderscho vallei - in een afzonderlijke zeearm.

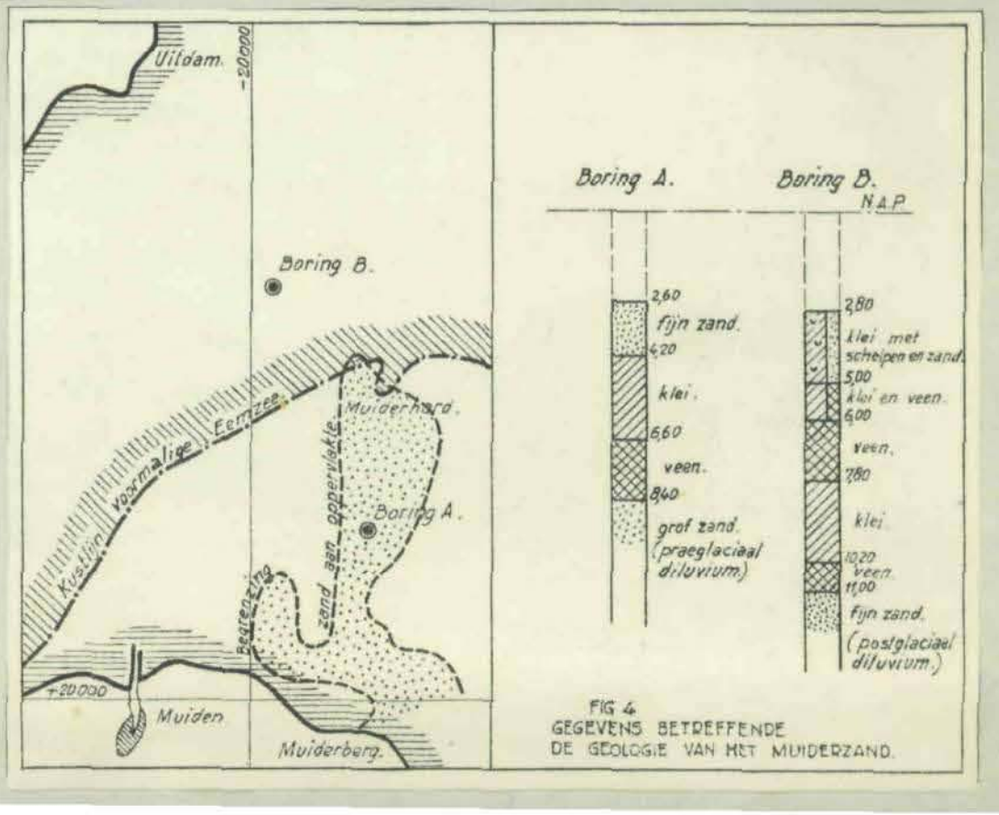


FIG 4
GEGEVENS BETREFFENDE
DE GEOLOGIE VAN HET MUIDERZAND.

In fig. 3 is de grens van de Eemzee van Harderwijk tot Elburg door een stippellijn weergegeven: het is wel zeker dat Eem-afzettingen bezuiden de tegenwoordige Veluwe-kust ontbreken doch waar deze grens ten Noorden hiervan ligt, is niet precies bekend.

Bij het onderhavige onderzoek hebben zich dienaangaande geen nieuwe gezichtspunten voorgedaan. In overeenstemming met de voorstelling in fig. 3 ontbreken Eem-formaties in de van geologische zijde onderzochte boringen N_1, N_2, N_3, N_1en N_2 (bijlage).

Eerst in een klein gebied nabij Elburg (fig. 3) zijn weer Eem-formaties geconstateerd. Daar dit - evenals de Gelderschе vallei - een zeearm betreft, kunnen ook hier weer afsluitende kleilagen verwacht worden.

In een zijner jongste publicaties (Het glaciale niveau in het dal van den Gelderschе IJssel; lit. 6) heeft dr. J.F. Steenhuis de aandacht gevestigd op dit geologisch zeer merkwaardige gebied. Hieraan is het volgende ontleend:

> Het is bewezen, dat na de afzetting van het Hoogterras van den Rijn en de Maas (Riss I) een krachtige uitschuring van den bodem door rivierwater is opgetreden. Daarop volgde de afzetting van het Riss-interstadiaal, dat bovenaan als preaurenaal Fluvioglaciaal III3 ontwikkeld is. Alvorens de grondmoreene van het voormalige Skandinavische landijs (Riss II) tot afzetting kwam, werd het interstadiale lagenpakket op zijn beurt door fluviatiel e.q. fluvioglaciaal water aangetast en uitgeschuurd; wel bleven de dalen ten deele bestaan [1].
>
> Van den ondergrond van Nederland zijn in hoofdzaak drie belangrijke geulen uit dezen tijd bekend, n.l. in den ondergrond der Gelderschе vallei met voortzetting door het IJsselmeer naar het vastaland van Noord-Holland, in den ondergrond van het huidige Hunzedal en in het dal van den Gelderschen IJssel. In het laatstgenoemde gebied is deze geul te volgen vanaf OOY (gemeente Zevenaar) in het Zuiden tot Oene (gemeente Epe) in het Noorden. Hoe deze geul verder verloopt is niet zeker.
>
> In twee der genoemde gebieden n.l. Gelderschе vallei en Hunze loopt het optreden der Eemlagen parallel met de aanwezigheid der geulen of m.a.w. zijn de geulen in hun benedenloop door deze Eemlagen opgehoogd, terwijl de steunlagen hiervan verder stroomopwaarts te vervolgen zijn.
>
> Het is nu te verwachten - en dit is voor het onderhavige van groot belang - dat voor de geul in den ondergrond van den Gelderschen IJssel hetzelfde het geval zal zijn. De landwaartsche ombuiging van de kustlijn der voormalige Eemzee, waarbinnen de huidige plaatsen Doornspijk, de Oldhorst en Elburg zijn gelegen, zal derhalve waarschijnlijk in verband hebben gestaan met het hier besproken dal. Wij kunnen dit verband nog niet aangeven, het staan bewijzen. Wij weten slechts, dat Hattem, Zwolle en Kampen er buiten gelegen waren en dat derhalve tusschen deze plaatsen en den stuwwal der Hoege-Veluwe de gezochte verbinding te vinden zal zijn. Toekomstige onderzoekingen zullen ongetwijfeld uitsluitsel in dezen geven.

Wat tenslotte het voorkomen van afsluitende kleilagen in dit gebied betreft, welke voor de hydrologische gesteldheid van groot belang zouden kunnen zijn, moet opgemerkt worden, dat de geo-technische gegevens (grondboringen) in dezen geen uitsluitsel geven.

Bij de boring te Elburg in den kop van den westelijken havendam (bijlage V) bestaan de van 15.05 tot 19.50 m - N.A.P. aangetroffen Eemlagen uit grof en middelgrof zand. Daarentegen is bij de nabijgelegen boring in het IJsselmeer (N_o 10 in bijlage VI) op ongeveer dezelfde niveau's klei aangetroffen, terwijl ook kleilagen werden aangeboord in enkele naburige boringen op het land, doch in andere punten ontbreken deze daar weer.

Geologisch kunnen afsluitende lagen in dit gebied op dezelfde gronden verwacht worden als bij de voortzetting der Gelderschе vallei onder het IJsselmeer: ook hier heeft men een afzonderlijke zeearm gehad, waarin fijner materiaal kon bezinken.

1) Hierop is reeds gewezen bij de bespreking van het Pliistoceen ou/ dan de Eemlagen (IV 2).

IV[4] HOLOCENE BEDLAGEN IN DE IJSSELMEERKOM.

De plistocene zanden onder de IJsselmeerkom zijn afgedekt door holocene klei- veen- en zandlagen. Deze zijn reeds door Harting bestudeerd en hebben sindsdien steeds meer de aandacht getrokken naar mate ten behoeve van inpolderingsprojecten meer boringen door den Dienst der Zuiderzeewerken zijn uitgevoerd. Een samenvatting van den stand der kennis in 1922 is gegeven door dr J.F. Steenhuis (lit. 5).

Sindsdien is het aantal verrichte boringen nog belangrijk toegenomen. Bij de meeste hiervan is geen geologische determinatie beschikbaar, zoodat de onderscheiding der zandlagen zuiver geo-technisch is. Bij het in 1938 uitgevoerde net van boringen in de IJsselmeerkom (zie IV 1) zijn de monsters op het bodemkundig laboratorium van Zuur onderzocht, zoodat dus meerdere zekerheid aanwezig is.

Deze laatste gegevens hebben Burck gediend bij de opstelling van zijn in April 1943 verschenen rapport betreffende de geologische gesteldheid van de zuidelijke kom van het IJsselmeer (lit. 31). Deze publicatie is niet alleen de meest recente, doch geeft tevens de meest gedetailleerde indeeling van het IJsselmeer - holoceen. De nu volgende beschouwingen, welke voornamelijk betrekking hebben op het zuidelijk deel der kom zijn grootendeels aan deze publicatie ontleend.

In het holocene gebied van de IJsselmeerkom kunnen - in aansluiting met de aangrenzende oeverlanden - twee deelen worden onderscheiden:

1e. een zuidelijk en een oostelijk deel waar het OUd-Holoceen (I o) en de oude zeeklei (I 3k) niet tot afzetting zijn gekomen;

2e. een westelijk deel waar - evenals in het naburige Noord-Holland - tusschen Laagterras en jong veen (I 5v) zich inschakelen het veen-op-grootere-diepte (I iv), het Oud-Holoceen en de oude zeeklei.

De begrenzing dezer gebieden is aangegeven in bijlage V. Indat deel van het oostelijk en zuidelijk randgebied der IJsselmeerkom dat voor ons van belang zal blijken, behoort het oostelijke stuk tot de onder 1e onderscheiden stratigrafie; het zuidelijke stuk ligt op de overgang tusschen 1e en 2e.

Een verdere bespreking van het IJsselmeer-Holoceen moge geschieden aan de hand van de door Burck opgestelde in bijlage VI vermelde profielen I en II, die - in tegenstelling met andere publicaties - een positieve stellingname inhouden ten aanzien van de stratigrafische grenzen. Zij lichten duidelijk toe de onder 1e en 2e onderscheiden geologische gebieden.

Daar op de historische geologie nog nader wordt teruggekomen, volgen hier slechts enkele toelichtingen.

In het I 1Gk, dat bij de Veluwe-kust practisch het geheele Holoceen vormt, zijn twee niveau's onderscheiden. In het bovenste is het humus-gehalte nul of gering (1, 2 en 3); het onderste is sf zwak humeus (3 - 10 %,7) of humeus (10 - 20%,8).

Hiermede vergeleken is het jongere veen (I 4-6v) onbetekenend; het is slechts plaatselijk aanwezig in geringe dikte. Alleen in het zuidelijkste profiel maakt het den indruk aaneengesloten voor te komen.

Waar het Oud-Holoceen en de oude zeeklei gezamenlijk voorkomen, dus in het Westen, is de stratigrafische grens in het midden gelaten. In tegenstelling tot de onmiddellijke omgeving van Harken is het Oud-Holoceen in de geteekende profielen niet min of meer zanderig, maar bestaat evenals de oude zeeklei (I 3k), voornamelijk uit klei. Onder dit pakket treft men het veen-op-grootere-diepte aan, dat bij een dezerzijds uitgevoerd hydrologisch onderzoek van Harken en omgeving (lit. 35), uitvoering beschreven is.

De aandacht dient nog gevestigd te worden op een tweetal plekken in het zuidelijk deel der IJsselmeerkom die oogenschijnlijk afwijken van den bovenbeschreven geologischen bouw. Het betreft de ondiepten van het Muiderzand en de Knar ten noordwesten van Harderwijk waar - evenals vlak bij de kust - de zeebodem voornamelijk uit zand bestaat. Een nader onderzoek heeft aangetoond dat dit alleen een oppervlakkige laag betreft en dat daaronder klei- en veenlagen voorkomen die geologisch aansluiten bij het alluvium in de omgeving. 1) Het oppervlakte zand is dan ook geen Laagterras maar

1) Iets soortgelijks treft men aan op het Enkhuizerzand.

eenmoort jong zeezand, dat vermoedelijk een afbraakproduct is van naburige plistocene hoogere gronden (terrigene zeeafzetting).

Voor het Zuiderzand is dit komen vast te staan bij een desbetreffend, door Steenhuis uitgevoerd onderzoek (Maandbericht betreffende de Zuiderzeewerken, November 1920, lit. 12.).

IV 5 GEO-TECHNISCHE CONSTANTES, VOORNAMELIJK BETREKKELIJK MET HOLOCEEN VAN BELANG VOOR DE HYDROLOGISCHE GESTELDHEID.

Het op de plistocene heuvelterreinen van Veluwe en Gooi vallende water stroomt voor een deel ondergronds, zoals zal blijken naar de randen af. Welken invloed dit heeft op de aangrenzende landstreken en tot hoever deze invloed zich uitstrekt, dus de hydrologische gesteldheid, wordt bepaald door den geo-technischen bouw van den door te stromen ondergrond.

Hierbij dient weer onderscheid gemaakt te worden tusschen het oud geo-technisch zeer verschillend plistoceen en holoceen.

Het eerste treedt in het algemeen op als watervoerend pakket; het tweede vormt de moeilijk doorlatende, welke het bewegende water als hu ware opsluiten. Het infiltratiegebied, zoowel Veluwe als Gooi, bestaat ook aan de oppervlakte uit plistocene zanden.

De weerstand, welke de afsluitende holocene lagen vermogen te bieden tegen doorkwelling is van groot technisch belang. Deze weerstanden punt voor punt te vinden is een van de belangrijkste doeleinden van dit onderzoek. Een betrouwbare voorspelling hiervan op grond van boorgegevens moet uitgesloten worden geacht. Aan het slot dezer paragraaf wordt hierop nog nader teruggekomen.

In gebieden met een overeenkomstige geologische geschiedenis kan men wel eenig inzicht krijgen in de onderlinge grootte-verhoudingen dezer weerstanden. Daartoe kan men de dikte van elke minder doorlatende laag (in meters) vermenigvuldigen met een gewichtsfactor, welke zoo goed mogelijk wordt aangenomen omgekeerd evenredig met de relatieve doorlatendheid. Zand krijgt b.v. een gewichtsfactor nul. De aldus voor elk boorprofiel bepaalde som, mits dit voldoende diep reikt, wordt "relatief weerstandscijfer" genoemd.

Voor de kom van het IJsselmeer zijn deze cijfers bepaald uit de in paragraaf IV 1 onder III beschreven boringen volgens een vierkantenet met zijden van 2½ km. Voor den aard der grondlagen is gebruikt de indeeling van het Bodemkundig Instituut te Groningen, welke onderscheiding in onderstaande tabel met de aangenomen gewichten is vermeld.

Relatieve weerstandscijfers. Tabel 4.

I	zware klei	80
II	zware zavel	40
III	middel zware zavel	20
IV	lichte zavel	10
V	zand	0
VI	veen	40

De aldus gevonden relatieve weerstandscijfers zijn weergegeven in bijlage VIII. Met een kruisteeken zie die punten gemerkeerd waar wegens het niet bereiken van het laagterras, de weerstand mogelijk nog hooger is. Het blijkt dat deze zich laten ordenen tot regelmatig verloopende lijnen, die duidelijk verbandhouden met de hoogteligging van het Laagterras (bijlage IX).

Deze lijnen geven een goed en voor zichzelf sprekend beeld van de relatieven weerstand in het groote gebied van den IJsselmeerkom. Daar waar de afsluitende lagen vrij plotseling uitwiggen tegen het land, zoals tusschen Hilburg en Hulde en tegen het Gooi, is het aantal punten te gering en zijn de verschillen van het eene punt tot het andere te groot om uit te kunnen maken, hoe deze lijnen op korten afstand van de kust verlopen. Juist is dit laatste voor technische toepassingen echter van het grootste belang.

Om hier nog iets meer van te weten te komen zijn in een kaart op grooteren schaal (1 : 50.000)[1] alle boringen opgeteekend, welke van 1866 af langs de kust van Hulde tot Kampernieuwstad zijn verricht. Van elke boring is naar de maatstaven van tabel 4 het relatieve weerstands cijfer berekend. Hieruit valt het volgende te concludeeren:

Over het algemeen komen meer lage waarden voor (mat. 20), in een strook evenwijdig aan de kust, breed 1500 à 2500 m. Er is zelfs een drietal gebieden waar de relatieve weerstand nul is n.l. om Harderwijk en op een paar km. benoorden en bezuiden Elburg. In het laatste gebied is de toestand zeer onregelmatig: Elburg zelf ligt te midden van hooge cijfers, terwijl van Kampernieuwstad naar het noorden de weerstandscijfers 60 à 100, zooals deze eenige kilometers uit de kust zijn, zich voortzetten tot in de holocene lagen van het land toe. Over het algemeen lijkt de meer doorlatende strook bij Elburg wat smaller dan meer zuidwaarts: de breedte is hier 1500 à 2000 m. Buiten deze strook ontbreken de zeer lage waarden en komen cijfers voor van 40 tot 70. Op ca. 6 km. van de kust loopt de 100-lijn overeenkomstig het algemeene verloop in de kom van bijlage VIII.

De gegevens, welke werden verkregen betreffende de holocene lagen onder den IJsselmeerbodem, laten niet toe zich een denkbeeld te vormen van hun weerstand, absoluut genomen, tegen doorkwelling. Het is van algemeene bekendheid, dat zelfs een dicht net boringen hiervoor niet toereikend is. Alleen een vergelijking dezer gegevens met die van een streek waar de weerstand wel bekend is, gecombineerd met enkele gegevens uit de geologische geschiedenis kan der betrokken aardlagen, kan het inzicht verhelderen.

Wat dit laatste betreft, zijn voor de kom van het IJsselmeer factoren aanwezig, welke gunstig zijn voor het optreden van groote weerstanden.

Zooals betoogd, bestaan de afsluitende holocene lagen langs de zuidelijke en oostelijke kust - vooral langs de Veluwe - overwegend uit jongere afzettingen te weten I 4-6v en I 10k. De eerste hebben slechts een geringe dikte en zijn sterk verbrokkeld. Het I 10k moet waarschijnlijk beschouwd worden als een combinatie van limnische en mariene afzettingen vóór, tijdens en na de verwijding der toegangen naar zee van het meer Flevo. Van belang is nu, dat juist dergelijke afzettingen veelal in sterke mate afsluiten, zooals bij geo-hydrologische onderzoekingen in Nederland herhaaldelijk gebleken is.

Een indruk van den weerstand dezer jonge holocene afsluitende lage in een naburig gebied werd verkregen bij het geo-hydrologisch onderzoek van het eiland Marken en omgeving. Naast een zeer grooten weerstand van een oud-holocene formatie (n.l. het I 8v met ca. 9000 Am.) werd de weerstand van het Jong-Holocceen berekend op minstens 2000 Am. Direct vergelijkbaar met de afsluitende lagen in het zuidelijk deel der kom is dit echter niet; naast een dunne laag I 3k komt in de omgeving van Marken vrijveel I 5v voor. Daartegenover staat de grootere dikte der jongere mariene afzettingen, zoodat genoemde waarde in ieder geval een voorloopige aanwijzing van den te verwachten weerstand levert.

Vanzelfsprekend geldt dit niet, voor de smalle onmiddellijk langs de kust van Veluwe en Gooi gelegen strook, waar de holocene deklagen een geringe dikte hebben. Juist in zulke gebieden levert een bepaling van den weerstand uit boorgegevens de meeste moeilijkheden.

HOOFDSTUK V.

WATERHUISHOUDING.

V. ALGEMEEN.

Van den neerslag, welke op de heuvelterreinen van de Veluwe valt, wordt slechts een deel verbruikt voor verdamping en voeding der vegetatie; het andere deel, de z.g. nuttige neerslag, zakt in den bodem weg en komt ten goede aan den grondwatervoorraad. Zooals uit talrijke peilingen is gebleken bestaat deze onder de Veluwe uit een gewelfde verheffing onder het terrein. De top hiervan ligt ongevoer ter plaatse waar ook de topografie de grootste hoogten aanwijst, terwijl echter bij laatstgenoemden cijfers tot 110 m + N.A.P. bereikt worden, reikt het phreatischvlak niet hooger dan ruim 40 m + N.A.P., zoodat het grondwater op de Hooge Veluwe dus aanzienlijk onder het maaiveld ligt.

Vanaf dit hoogste punt daalt het phreatisch vlak naar de randen van het heuvelterrein; tengevolge van dit verhang ontstaat een stroming, welke - over een voldoend langen tijd genomen - evenwicht maakt met den nuttigen neerslag.

Het verschil tusschen de styghoogte van het grondwater en het maaiveld, dat in het hooge centrum nog zeer groot is, neemt naar de randen toe geleidelijk af, om op sommige plaatsen in negatieve waarden over te gaan (artesisch water).

De commissie van Diesel c.s. heeft op grond hiervan de Veluwe in twee zones verdeeld:

a. een centrum van hooge gronden, hier nader aangeduid als de "Hooge Veluwe", waar de neerslag, voorzoover die niet verdampt, naar de diepere lagen zijgt ("infiltreert") en zich vervolgens ondergronds naar de randen beweegt, en
b. een lager randgebied, waar het grondwater neiging heeft aan den dag te treden en zich dan ook door een stralengewijs uitloopend net van kleinere en grootere beken op de zee of op de groote rivieren ontlast. De Commissie heeft dit aangeduid met de naam "drainerend gebied"; een kernachtiger en korter benaming is "kwegebied", welke voor het volgende dan ook zal worden gebruikt.

Betreffende de grens tusschen beide gebieden wordt opgemerkt, dat men althans bij benadering als grensstrook tusschen het infiltreerend en het kwelgebied zou aannemen de zone, waar de zichtbare afstroming begint, dus waar de beken ontspringen. Hoewel in beginsel juist, leidt deze regel in bepaalde gevallen (b.v. de Hierdensche beek) tot kennelijk onjuiste resultaten.

Het is gewenscht, alvorens hier nader op in te gaan, eenig inzicht te hebben in de karakteristieke eigenschappen en afvoeren der Veluwsche beken. (V3 en 4). Hieraan zal voorafgaan een bespreking van de grootte van den nuttigen neerslag waardoor de voeding van het grondwater bepaald wordt. (V2).

V2 NUTTIGE NEERSLAG.

Het behoeft geen betoog, dat een grootheid, zooals de nuttige neerslag, welke voor de waterhuishouding van zoo'n kardinaal belang is, steeds de volle aandacht heeft gehad van hen, die, hetzij voor waterstaats- hetzij voor drinkwaterleidingbelangen, te maken hadden met de voeding van het andergrondsche water.

Talrijk zijn dan ook de onderzoekingen, ingesteld in uiteenloopende terreinen volgens verschillende methoden, doch een voor practische doeleinden volledige kennis is nog niet verkregen.

De waarden, welke opgegeven worden voor den nuttigen neerslag in terreinen zooals Veluwe en Gooi variëeren dan ook sterk (tabel 5 ontleend aan lit. 7 en 17). Hierbij komt nog dat vele onderzoekers gezien de gestelde doeleinden, hun schatting aan den lagen kant hebben gehouden en dus met een grootere of kleinere veiligheid hebben gewerkt. Waar het in deze verhandeling echter gaat om de meest waarschijnlijke waarden van diverse grootheden - met afzonderlijke bespreking van mogelijke onzekerheden - lijkt het geraden de in tabel 5 genoemde resultaten critisch te vergelijken.

Fennink (no. 1 in tabel 5) vermeldt uitdrukkelijk, dat het lage percentage van 20 à 25 % is aangehouden " om goed werk te maken en de teleurstellingen te voorkomen" en teekent verder aan, dat hij niet over gegevens beschikt om tot de meest waarschijnlijke waarde te kunnen besluiten. De schatting van Fennink is dus wellicht bewust aan den lagen kant.

Dit geldt eveneens voor de resultaten vermeld onder no. 2 die gebaseerd zijn op de conclusies van Fennink.

Het hoogere bedrag van de Bruyn, Schotel en Kapteyn (no. 3) is een aanname, die overigens zonder eenige motiveering wordt vermeld.

De drie eerstgenoemde no's zullen dus verder buiten beschouwing blijven. Het onder no. 4 vermelde resultaat is ontleend aan het "Verslag der staatscommissie tot het instellen van een onderzoek omtrent bevloeiingen" (lit. 9 blz. 36), welke commissie deze cijfers berekend heeft uit de uitkomsten van verdampingsproeven van grond met verschillende soort begroeiing. Daar deze gegevens van zeer ouden datum zijn en door nieuwere onderzoekingen zijn achterhaald, hebben de resultaten slechts een betrekkelijke waarde.

Eveneens is zulks het geval met de gegevens 5 en 6: bij no. 5 is gebruik gemaakt van de uitkomsten van slechts enkele proefjaren met een lysimeter te Hulversum, terwijl bij no. 6 (percentage van 48 % afgeleid uit de verhouding van chloorgehalten van regen- en grondwater ondanks de zorgvuldige bepaling aan de methode zelf nog vele onzekerheden kleven.

Toch hebben de gegevens no's 4, 5 en 6 een zekere waarde, verg. met de no's 1, 2 en 3; zij zijn in tabel 5 dan ook met rood gemarkeerd.

Dat de resultaten van het Veluwe rapport - Gemeentewaterleidingen Amsterdam naar dezerzijdsche meening eveneens buiten beschouwing moeten blijven, vindt zijn oorzaak in de omstandigheid dat de - overigens zeer uitvoerige - gegevens met beschouwing van natte en droge perioden zijn afgeleid uit lysimeterwaarnemingen in duinterreinen. Op blz. 81 van het rapport (lit. 17) wordt vervolgens vermeld:

> Hiervoren is reeds uiteengezet, dat de nuttige neerslag op het Veluwegebied belangrijk minder zal bedragen dan in het duingebied en wel door de veel grootere bodemverdamping en door den maximalen neerslag in de zomerperiode.
>
> Veiligheidshlve wordt het percentage van den nuttigen neerslag in het Veluwegebied geschat op de helft van het percentage van den nuttigen neerslag in het duingebied.

Ook hier zijn dus de lage opgegeven waarden voor den nuttigen neerslag weer toe te schrijven aan den drang naar een soort veiligheidscoëfficient.

Toen de commissie Van Diesel, bij de bestudeering van de waterhuishouding van de Veluwe, voor de noodzakelijkheid stond de nuttige neerslag te taxeeren, heeft ook zij getracht door een critische vergelijking der resultaten van vroegere onderzoekers de meest plausibele waarde te vinden. Daarnaast is gepoogd deze waarde te controleeren door den grondwaterstroom te berekenen (verhang uit stijghoogtebepalingen en doorlaatvermogen uit boringen en doorlatendheidsproeven) welke dezen nuttigen neerslag afvoert.

Deze beschouwingen - op de laatstgenoemde methode wordt onder nader teruggekomen - leidden er toe alsnog een lage schatting voor den nuttigen neerslag aan te houden 200 à 250 mm terwijl bij verdere berekeningen is uitgegaan van 210 mm per jaar.

Als meest waarschijnlijke waarde beschouwt de commissie echter een hooger bedrag n.l. ca. 275 mm per jaar. Deze waarde voegt zich goed bij de no. 4, 5 en 6 (tabel 5).

1) Hieronder wordt verstaan de gemiddelde waarde van den nuttigen neerslag over een voldoend groot aantal jaren genomen. Het spreekt vanzelf, dat de nuttige neerslag per jaar varieert met den regenval; ook de onderlinge verhouding blijkt niet constant te zijn.

Tabel 5.

NUTTIGE NEERSLAG OF EN VERLIES OF IN HET GOOI, AANGEVULDEN DOOR VERSCHILLENDE ONDERZOEKERS.

Omschrijving	Neerslag per jaar m.m.	Nuttige neerslag per jaar m.m.	Bodemverdamping per jaar m.m.	Nuttige neerslag in % v.d. neerslag.
1. Rapport - Pennink d.d. 30 Jan. 1901, b.z. 34 en 63	---	---	---	20 à 25
2. Rapport - Van Hasselt, Lindley en Baltet, d.d. 17 Mei 1932, blz. 17 en 35	730	175	555	24
3. Rapport - De Bruyn, Schotel en Kapteyn, d.d. 28 April 1905, blz. 12	---	300	---	---
4. Rapport - Kleynhens, Lorie en Van Waterschoot van der Gracht, d.d. 13 Februari 1915, blz. 37 en 71	656	260	396	40
5. Hilversum - Bronwaterleiding	811	301	510	37
6. Dr. Heymann - Chemische methode	---	---	---	48
7. Veluwerapport-Gemeentewaterleidingen Amsterdam	gem. 727	207		28½)
natte periode		257		35½) van
droge periode		156		21½) 727
veiligheidshalve droge periode		146		20)
8. Veluwerapport - Van Dissel c.s. d.d. 17 October 1932	727	200-250 (210)		27-35
9. De Water- en zoutbalans van het IJsselmeer 1936		300		

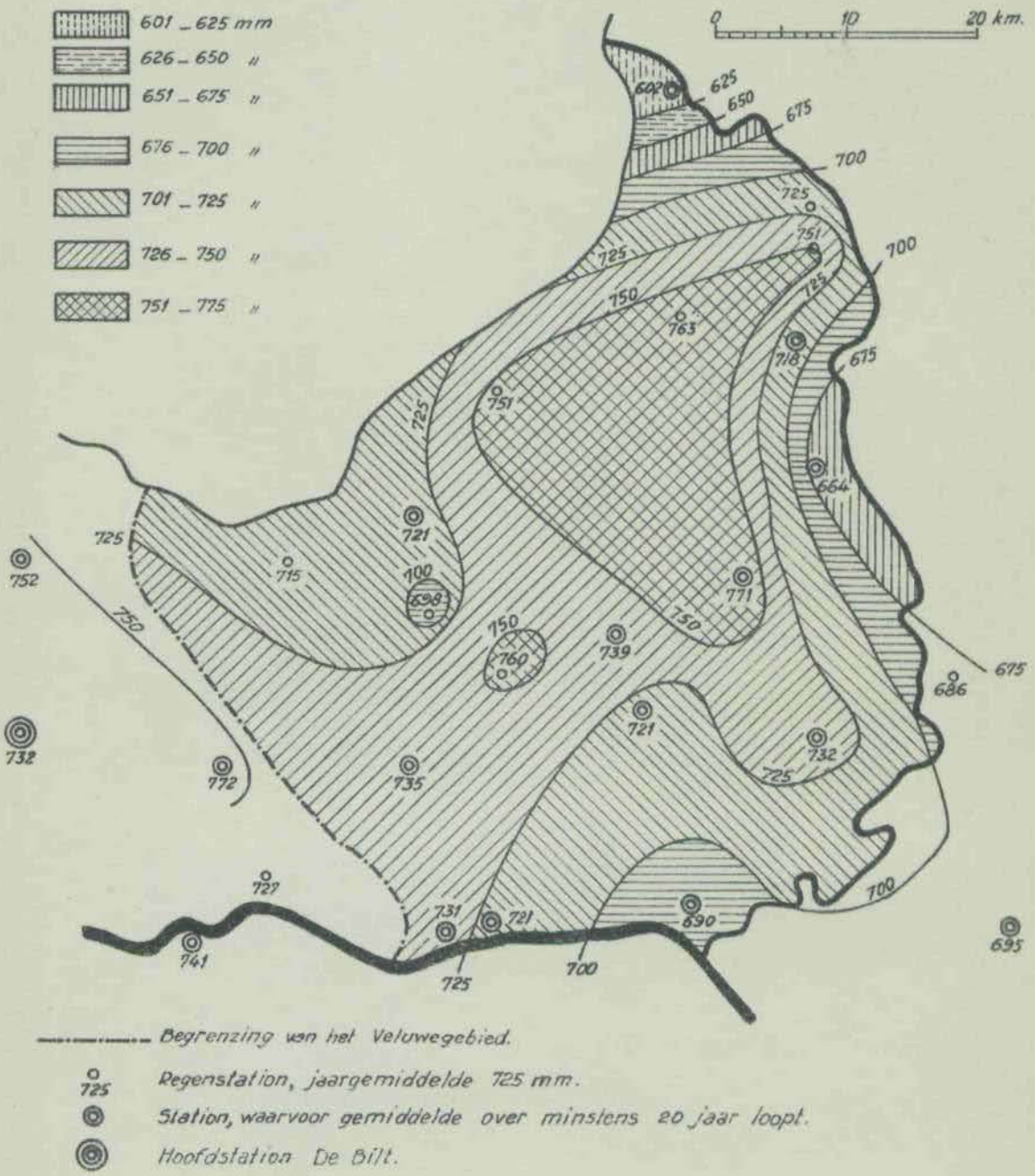


Fig. 5.
Verdeeling van den totalen neerslag op de Veluwe.
(Overgenomen uit Veluwe-rapport commissie van Dissel c.s. blz 131.)

Resumeerende, moet geconcludeerd worden, dat de kennis voor de werkelijke grootte van den nuttigen neerslag nog zeer onvolledig is. Talrijk zijn de in de literatuur voorkomende aanwijzingen meer of minder gemotiveerd, doch alle geleid door den wensch de schatting aan de lage kant te houden, teneinde een zekere veiligheidscoëfficient in te voeren. Ziet men hiervan af, dan is een waarde van ca. 300 m.m. nog de meest waarschijnlijke. Dit is ook het bedrag dat door dr. ir. J.P. Mazure bij de studie van de water- en zoutbalans van het IJsselmeer (lit. 8) is afgeleid uit afvoermetingen van de Vecht (no. 9 in tabel 5). Daarnaast moet het zeker mogelijk worden geacht dat de nuttige neerslag nog iets grooter is (no. 6 tabel 5). Een hoogere waarde dan 350 mm per jaar lijkt echter voorshands weinig aannemelijk.

In het volgende zal dan ook worden gerekend met een waarde voor de nuttigen neerslag van 300 à 350 mm per jaar. Deze waarden - die nog belangrijk lager zijn dan die, welke in duinterreinen zijn gevonden - zijn hooger dan tot nog toe veelal werd aangenomen. Op de vraag in hoeverre dit onderzoek een bevestiging van genoemde cijfers oplevert, wordt in VIIIg nader teruggekomen.

Opmerkingen.

Voor den totalen neerslag op het Veluwe-gebied is door de commissie Van Diesel aangenomen 127 mm per jaar [1]. Deze hoeveelheid is feitelijk niet gelijk voor alle deelen van het Veluwe-terrein. Fig. 5 geeft de merkwaardige verdeeling weer, waaruit blijkt, dat de regenval het grootst is op de praeglaciale noordelijk deel van de Veluwe. Afgezien van den invloed der terreinsgesteldheid zou hier voor den nuttigen neerslag dus ook een hooger bedrag moeten worden aangehouden dan elders. Dit is niet gedaan, omdat de onzekerheid, welke in deze waarde schuilt, grooter is dan de plaatselijke variatie van den totalen neerslag.

VS. HET BEKENSTELSEL VAN VELUWE EN GELDERSCHE VALLEI.

Zooals in par. V[1] naar voren is gebracht treedt een deel van den nuttigen neerslag, die van de Hooge Veluwe ondergrondsch naar de zanden afvloeit, op de grens van het infiltreerend en het drainneerend gebied in de vorm van grootere of kleinere beekjes aan de oppervlakte. Voor de kennis van ondergrondschen en bovengrondsche afvoer van den nuttigen neerslag is het dus noodzakelijk eenig inzicht te hebben in de afvoeren welke hierbij optreden.

De Veluwsche beken zijn reeds meermalen een voorwerp van min of meer diepgaande studie geweest. In het bijzonder hebben zij de aandacht getrokken van geologen en aardrijkskundigen; naar de afvoeren welke zij vertoonen is alleen door waterstaatkundigen een onderzoek ingesteld; het eerst door de "Staatscommissie tot het instellen van een onderzoek omtrent bevloeiingen van 1896" (lit. 9).

Het was echter de commissie van Diesel c.s., die in haar bekende Veluwe-rapport van 1933 (lit. 16) het eerst een verband legde tusschen de beekafvoeren en den ondergrondschen afvoer. Hoewel in hoofdtrekken juist, zal toch blijken, dat de conclusies dezer commissie in het bijzonder wat het noordelijk en westelijk deel van haar gebied aangaat, door het nieuwe ter beschikking gekomen waarnemingsmateriaal, eenige herziening behoeven.

Een uitvoerig overzicht van onzen huidigen aardrijkskundigen en historischen kennis der Veluwsche beken is gegeven door J.D. Moerman in het Tijdschrift van het Koninklijk Aardrijkskundig Genootschap (lit. 19 en 20); op eenige punten kan hij zich niet met de conclusies van het Veluwe-rapport van 1933 vereenigen.

In het volgende zal eerst een bespreking worden gegeven van het bekenstelsel van de Veluwe, in het bijzonder van de noordelijke en westelijke rand. De punten waaromtrent verschil van inzicht bestaat, komen dus bij vanzelf aan de orde. Vervolgens zullen de afvoeren der beken worden besproken, waarbij behalve op de resultaten van eigen metingen ook zal worden ingegaan op vroegere onderzoekingen.

1) De nuttige neerslag van 300 à 350 mm per jaar is hier dus 41 à 48 %

Wat het andere pleistocene infiltratiegebied -het Gooi- betreft, zal blijken dat hiervan een bekenstelsel, zooals in de Veluwe, niet kan worden gesproken; aan de omstandigheden waaraan zulks is toe te schrijven zal nog nadere aandacht worden geschonken.

Het door een beek afstroomende water kan naar de herkomst in twee componenten onderscheiden worden.

Het eerste bestanddeel (A) zou men kunnen noemen het recente water. Het is het door de regen op het terrein gebrachte water, dat bovengronds via een systeem van greppels en slootjes, de beek bereikt. Dit water legt ten hoogste een kleinen ondergrondschen weg af vóór het die greppels bereikt. De hoeveelheid, die tot afvloeiing komt, wordt in hooge mate beheerst door de op korten termijn variëerende meteorologische omstandigheden.

Het tweede bestanddeel (B) is het "fossiele" water. Dit water heeft, nadat het op aarde is gevallen, langen tijd (soms duizenden jaren) deel uitgemaakt van een ondergrondsche stroomsing. Tengevolge van het groote accumuleerend vermogen van de grondwatermassa zal het verhang van den grondwaterspiegel onder invloed van den wisselenden neerslag en verdamping slechts in geringe mate variëeren, zoodat de afgevoerde hoeveelheid van dit water ongeveeg constant is.

Het karakter van een bepaalde beek hangt er grootendeels van af, welke van beide bestanddelen in den afvoer overheerscht.

De waterleidingen van een polder zonder kwel voeren alleen water A af. Hiertoe kunnen gerekend worden de weteringen en tochten van het polderlandschap benoorden Kamper Nieuwstad. Ook de Hassenbeek, de Lank en de Gooyer Gracht (bijlage IV) voeren hoofdzakelijk water A af.

Het water B kan op een of enkele plaatsen (sprengen) aan den dag treden of verspreid over een groote oppervlakte (kwelgebied) waar het via een dergelijk (of hetzelfde) systeem greppels naar de beek wordt gebracht. Als voorbeelden van beken welke hoofdzakelijk water B afvoeren kunnen genoemd worden de Kortenburgsche beek en de Renkumsche Molenbeek, welke nabij Renkum (tusschen Wageningen en Arnhem) van de zuidelijke helling van de Veluwe afstroomen. Deze beken doorsnijden in hun stroomloop heuvelachtig terrein waarbij in regenrijke perioden slechts een betrekkelijk geringe zijdelingsche toestroming optreedt van op naburige terreinen gevallen neerslag, welke niet snel genoeg in den bodem kan dringen of verdampen.

Door hun tot o zekere hoogte constanten afvoer zijn zij bij uitstek geschikt als "molenbeken" d.w.z. voor het aandrijven van waterraderen. Roerman (lit. 20) wijst erop, dat vele van deze beken geen natuurlijke waterlopen zijn, maar hun ontstaan vinden door het graven van sprengen.

Daar deze beken nauw samenhangen met het grondwater, kan iedere verlaging hiervan een sterke vermindering of zelfs een geheel ophouden van den afvoer tengevolge hebben; in tegenstelling tot de conclusies van het Veluwe-rapport (lit. 16 b.z. 31 en 32) wijst Roerman er dan ook op, dat de ligging van het phreatisch vlak ten opzichte van het terrein en niet de capaciteit van den totalen grondwaterstroom bepalend voor hun afvoer is.

In het algemeen voeren de beken aan den noordelijken rand van de Veluwe beide soorten water af. In het reeds eerder genoemde kwelgebied wordt voortdurend fossiel water ondergronds water aangevoerd dat via vele greppels en slootjes de beek bereikt, daarnaast wordt in dit gebied door hetzelfde systeem waterpassen het verschil tusschen regen en verdamping van het stroomgebied op natuurlijke wijze bovengronds afgevoerd. Door het water B vertoonen deze beken ook in droge tijden steeds een zekere afvoer. Voorbeelden hiervan zijn de talrijke in bijlage III geteekende beken tusschen Nijkerk en Kamper Nieuwstad, zooals de Kronkel, de Warefsche beek, de Bijsselsche beek, de Puttener beek enz.

Ook het systeem der Barneveldsche en Lunterasche beken, welke zich bij Amersfoort tot de Eem vereenigen, kan tot deze groep worden gerekend. Uit de bespreking van den waterstaatkundigen toestand (IIIB) bleek reeds dat deze beken in de Gelderasche vallei behalve door enkele sprengen gevoed worden door geleidelijk aan den dag tredend grondwater. Zij vormen tevens de natuurlijke afwatering der gebieden langs hun stroomloop. In het laatste deel van hun loop (Eem beneden Amersfoort) verliezen ze geheel het beekkarakter en vormen een soort benedenrivier waarop aan weerszijden talrijke polders lozen.

Tot de beken, welke zoowel "water A" als "water B" afvoeren behoor evenmeens de Hierdensche beek. Hiervan is een speciale studie gemaakt, niet alleen omdat deze beek een van de belangrijkste is welke naar het IJsselmeer stroomen en omdat deze beek door zijn groote lengte en zijn oorsprong ver landinwaarts een uitzonderlijke plaats inneemt, maar wegens het feit, dat de Hierdensche beek voor de commissie van Dissel (in het bijzonder Ir. J.C. Pfeiffer die dit onderwerp in studie genomen heeft) gediend heeft als prototype om uit te maken, welk deel van den afvloeienden nuttigen neerslag bovengronds door de beken en welk deel ondergronds naar de (toenmalige) Zuiderzee wordt afgevoerd.

Daartoe zijn destijds afvoermetingen verricht even boven de stuw bij "den Zandmolen" meetplaats VII (zie fig 1 van aanhangsel B) waarop in de volgende paragraaf nog nader wordt ingegaan. Hieruit is afgeleid de reeds genoemde constante componente in den afvoer welke aan opkwelling is toe te schrijven en het bovengronds tot afvloeiing komende deel van den nuttigen neerslag aangeeft. Daar deze grootheid werd gevonden als een bepaalde afvoer per tijdseenheid is voor het stroomgebied van de beek (afgeleid uit de topografische hoofdlijnen) deze waarde omgerekend tot mm. per jaar (gevonden werd mm per jaar) waardoor een directe vergelijking met den nuttigen neerslag mogelijk is. Geconcludeerd werd tenslotte, dat hiermede dus was gevonden voor de afstroming van de Veluwe in noordwestelijke richting het ondergrondsche en bovengrondsche deel (dit laatste treedt volgens de commissie in genoemd stroomgebied en in de kuststrook aan de oppervlakte).

Dezerzijds is nagegaan welke beteekenis aan deze afvoermetingen mag worden toegekend men zie hiertoe het reeds genoemde aanhangsel. Het is daarbij wel gebleken, dat de commissie van Dissel niet heeft gevonden de werkelijke bovengrondsche afvloeiing naar het IJsselmeer. In het kort samengevat komen de bezwaren neer op het volgende:

1e. Het belangrijkste opkwellen van Veluwewater vindt plaats in een onmiddellijk langs de kust gelegen strook, zoodat een onderzoek naar de hiermede samenhangende constante componente in den afvoer op een zooveel mogelijk benedenstroomsgelegen plaats dient te geschieden;

2e. De afvoermetingen boven den stuw bij "den Zandmolen" kunnen alleen doen besluiten tot de opkwelling in het gebied tusschen Staverden en Leuvenum dat in geenerlei verband staat met de genoemde kuststrook, zoodat de Hierdensche beek bij genoemde meetplaats hier niet als prototype voor kan dienen;

3e. Zelfs voor een onderzoek naar de kwel in het genoemde op zich zelf staande gebied is de meetplaats van de commissie van Dissel minder geschikt wegens het inzijgen in den bodem, dat juist in de belangrijke droge zomerperioden in het opgestuwde beektraject van de Zwarte Beer tot "de Zandmolen" optreedt.

Een en ander overziende moet geconcludeerd worden, dat het uiteindelijke resultaat waartoe de commissie van Dissel is gekomen t.a.v. de afvloeiing in noordwestelijke richting van de Veluwe, n.l. dat deze practisch geheel ondergronds naar de Zuiderzee zou plaats vinden, niet kan worden aanvaard en een geheel nieuw onderzoek hiermaar noodzakelijk is.

V6. WATERBALANS.

Voor de kennis van den grondwaterstroom, welke uit het Veluwe-terrein in den bodem van het IJsselmeer opkwelt, is het noodzakelijk de waterbalans te kennen van het kwelgebied. Hier toch treedt een deel van den totalen door den nuttigen neerslag op de Hooge Veluwe gevoede grondwaterstroom aan de oppervlakte, om via tal van beekjes het IJsselmeer te bereiken.

In de vorige paragraaf is er reeds op gewezen, dat de minimale afvoer van een beek in dit kwelgebied samenhangt met het aan den dag treden van fossiel water, een feit waarvan ook door de commissie van Dissel reeds gebruik is gemaakt. Deze samenhang nader te onderzoeken is doel dezer paragraaf. Daarbij zal blijken, dat dit onderwerp in het verslag van genoemde commissie slechts een onvolledige behandeling tenoo/ is gevallen.

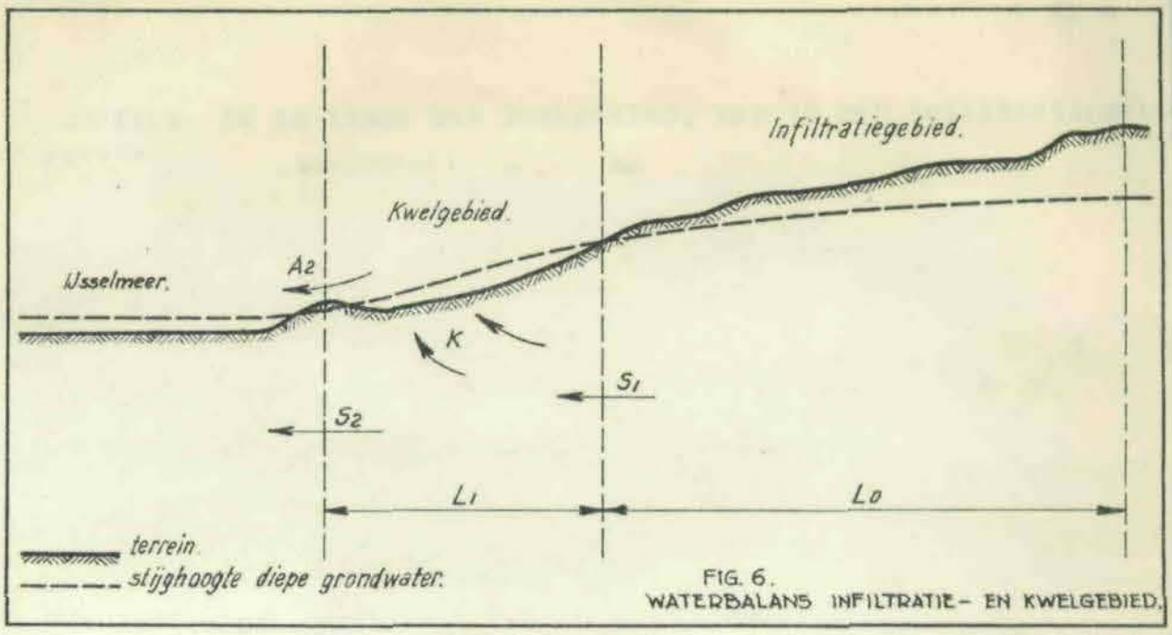


FIG. 6.
WATERBALANS INFILTRATIE- EN KWELGEBIED.

Zij:

S1 de grondwaterstroom per eenheid van breedte uit het infiltreerend gebied.

S2 de grondwaterstroom per eenheid van breedte welke in den ondergrond van het IJsselmeer treedt,

R de regenval,

V de verdamping,

K de kwel,

A de beekafvoer omgerekend per breedte eenheid van de kust, dan geldt dhar de nuttige neerslag op L_o ondergronds en op L_1 bovengronds wordt afgevoerd:

$S1 = (R_o - V_o)\ L$ .....(1)

$S1 = S2 + KL_1$ .....(2)

$L_1R_1 + KL_1 = L_1V_1 + A$ of:

$KL_1 = A - (R_1 - V_1)\ L_1$ .....(3)

Hierbij is gedacht aan lang jaarlijksche gemiddelden waarbij van berging in den bodem kon worden afgezien. Vergelijking (3) is daarbij analoog aan die voor normaal polderland; voor de beekafvoeren komen dan de door gemalen uitgeslagen hoeveelheden in de plaats.

Het is in dit geval niet mogelijk met (3) de grootheid K te bepalen, daar geen gegevens ter beschikking staan betreffende de jaarlijksche beekafvoeren. Bovendien zou het aldus gevonden Kcijfer behept zijn met de volle onzekerheid welke op het verdampingscijfer rust. Om dit te ontgaan, beschouwt men voor polderbalans berekeningen de vier wintermanden, waarin de verdamping zeer gering is. Doch ook deze methode is hier onbruikbaar evenmin wegens gebrek aan gegevens over de beekafvoeren aan de noordwestelijke rand!

Alleen voor de Mierdensche beek wordt beschikt over een serie waarnemingen van Mei 1928 tot en met Januari 1929 doch, zooals in de vorige paragraaf omstandig is uiteengezet, zijn deze afvoeren waardeloos voor de beoordeeling van de kwel in de noordwestelijke Veluwe-randgebieden. De commissie van Dinsel heeft voor deze en de Harnevaldsche en Luntersche beken, welke in het aan de westelijke rand gelegen drainagegebied gevoed worden, de gemiddelde jaarlijksche afvoer beschouwd als de maximumgrens voor het door de beeken afgevoerde deel van den nuttigen neerslag, hetgeen op zichzelf juist is, daar hierbij de voor het geheele jaar negatieve term $-(R_1 - V_1)\ L_1$ in (3) wordt verwaarloosd. Voor de vaststelling van de minimum-grens heeft zij nader beschouwd droge perioden wanneer geen in het kwelgebied gevallen neerslag wordt afgevoerd. Daarbij is niet de laagste in eenig tijdvak gemeten afvoer aangehouden, doch het karakteristieke minimum waarromheen de afvoeren zich in de zomermanden bewegen. Deze waarde wordt als minimumgrens beschouwd daar, volgens de commissie, de veronderstelling dat de seizoeninvloeden door de geringe snelheid van de ondergrondsche beweging worden genivelleerd, zoodat de gevonden zomerafvoeren voor het geheele jaar gelden, niet geheel juist is. Daardoor zal de door de voeding van het grondwater in regenrijke tijden ontstane drukverhooging, zij het met eenige vertraging, aanleiding geven tot een krachtiger afvloeiing.

De werkelijke waarde zal tusschen beide grenzen in liggen; door rekening te houden - zij het dan ook benaderend - met de term $-(R_1-V_1)L_1$ kan de onzekerheidsmarge sterk worden verkleind. (zie ook V 6) Bij de behandeling der ondergrondsche en bovengrondsche afvloeiing der Gelderschc vallei zal hierop worden teruggekomen.

Uit bovenstaande moge gebleken zijn dat het ter bepaling van de kwel in het drainneerend gebied gewenscht zou zijn te beschikken over afvoermetingen, hetzij van alle, hetzij van de voornaamste beken van het drainneerende gebied. Deze metingen, welke zich zouden moeten uitstrekken over een reeks jaren, zouden, vooral in de zomermanden, met slechts enkele dagen tusschenruimte moeten worden verricht, teneinde een zoo volledig mogelijk overzicht te krijgen van droge perioden.

Helaas staan dergelijke metingen niet ter beschikking en, om toch op snelle en eenvoudige wijze eenig inzicht te krijgen, moet een andere weg worden bewandeld.

Men kan zich beperken n.l. tot enkele afvoermetingen aan het einde van een langdurige droge periode, indien althans aangenomen kan worden dat dan geen rechtstreeksche afvloeiing van oppervlaktewater meer optreedt en ook de in den bodem geborgen waterhoeveelheid niet meer beteekenend verandert. Voorts moet de verdamping in die periode zoo klein zijn dat deze geen invloed van beteekenis heeft. Het optreden van beekafvoer aan het einde van een dergelijke periode is op zichzelf al een bewijs voor het optreden van kwel.

Wat de verdamping betreft zijn de wintermaanden het meest geschikt, doch droge perioden van een paar weken zijn daarin zeldzaam. Enkele afvoermetingen in een <u>natte</u> winterperiode - wanneer de verdamping practisch nul is - gecombineerd met regenwaarnemingen zijn onbruikbaar, daar, wegens de vertraging in de afvloeiing van oppervlaktewater, het aandeel van de kwel moeilijk is vast te stellen.

Uit de volgende paragrafen zal blijken welke afvoermetingen zijn verricht en hoe daaruit de kwel is afgeleid. Het is na bovenstaande nu reeds duidelijk dat deze een voorloopig karakter dragen en verdere metingen dus gewenscht zijn.

V5 BEEKAFVOEREN.

Betreffende de afvoermetingen kan worden opgemerkt, dat van de Barneveldsche en Lunterensche beken systematische waarnemingen beschikbaar zijn over een periode van eenige jaren; daarentegen zijn van de beken langs de Veluwekust tusschen Hulde en Kampernieuwstad en van de rechtstreeks op het IJsselmeer loozende watergangen in de Gelderschc vallei slechts enkele waarnemingen aan het einde van droge perioden beschikbaar.

De gegevens zijn voor de laatstgenoemde categorie ontleend aan eigen waarnemingen; voor de Barneveldsche en Lunterensche beken is geput uit de reeds genoemde rapporten van de commissie Van Diesel c.s. (1933 lit.16) en de "Staatscommissie bevloeiingen" (1896 lit.9).

De eigen waarnemingen, uitgevoerd midden Maart, einde Juli en einde October 1943, zijn vermeld in tabel 6. De metingen zijn verricht zooveel mogelijk nabij de monding. Uitgezocht werden twee raaien op 10 m in een traject dat zooveel mogelijk recht was en een zoo gelijkmatig mogelijk profiel toonde. Door middel van drijvertjes werd de snelheid aan de oppervlakte gemeten, voornamelijk in het midden. Elke meting werd 3 x herhaald, waarna het gemiddelde werd genomen. Evenzoo werd het gemiddelde profiel bepaald op een drietal plaatsen in het meettraject. Hierbij werd rekening gehouden met de ondiepe strook langs de kant, waar, door waterplanten en derg. practisch geen stroming heerscht.

Door den trogvorm, welke de meeste profielen vertoonen, is de snelheid langs de kanten en bij den bodem mindr dan in het midden. Ter bepaling van den afvoer is derhalve 80% aangenomen van het product van profiel en oppervlaktesnelheid. Dit percentage leek het meest aannemelijk, doch staat niet vast. Hierdoor en door de wijze

waarop de metingen zijn uitgevoerd, moet met een onzekerheid van 10%, in enkele ongunstige gevallen zelfs van 20% rekening worden gehouden.

Voor de beoordeeling van de hydrologische beteekenis der metingen zijn in aanhangsel B de regenwaarnemingen vermeld van naburige stations in den tijd vóór de metingen.

De waarnemingen op verschillende punten langs de Hierdensche beek zijn vermeld in het daarop betrekking hebbende aanhangsel. Daarin wordt ook gesproken over de metingen - op gelijke wijze ingericht als boven - die door de commissie Van Diesel tusschen Mei 1928 en Januari 1929 wekelijks zijn gedaan bij één bovenstroms gelegen punt, n.l. de stuw bij de "Zandmolen" (meetplaats in fig 1 van aanhangsel B). De afvoeren dezer metingen zijn grafisch uitgezet in bijlage X; een résumé der resultaten is gegeven in tabel 5. Hierin is "minimale afvoer" het karakteristieke minimum waarover in par. V4, Waterbalans wordt gesproken. Voor de Hierdensche beek is dit 0,05 $\frac{m^3}{sec}$. Uit tabel 1 van aanhangsel B blijkt dat de na de droge periode in Maart gemeten afvoer (0,18) daar belangrijk boven ligt, eind Juli was deze afvoer belangrijk kleiner (0,026).

De plaatsen, waar afvoermetingen uitgevoerd zijn voor de Barneveldsche en Lunterensche beken, zijn aangegeven op bijlage XVI (punten A - F). Hierin duidt het teeken β op afvoermetingen van de commissie Van Diesel, het teeken δ op metingen van de "Staatscommissie bevloeiingen", terwijl γ duidt op een enkele deszelfs uitgevoerde waarneming einde Juli 1943.

Een résumé van beide eerstgenoemde waarnemingsreeksen is gegeven in de tabellen 5 en 6. De beide eigen metingen leiden tot een bevestiging van hetgeen in aanhangsel C is uitgesproken omtrent het uitzonderlijk droge karakter van de periode eind Juli 1943. Op Juli 1943 was de afvoer van de Esvelder beek bij Terschuur (0 γ en γ in bijlage XVI) g.l. nul, terwijl de afvoer van de Barneveldsche beek bij D ca 0,1 $\frac{m^3}{sec}$ bedroeg. Ook dit is zeer laag, wanneer men in aanmerking neemt dat de minimale afvoer in tabel 6 bij B dus stroomopwaarts en nog boven de samenvloeiing met de Kleine Barneveldsche beek 0,12 $\frac{m^3}{sec}$ is.

Tenslotte dient vermeld te worden, dat in het reeds genoemde rapport van de Staatscommissie bevloeiingen nog eenige gegevens voorkomen betreffende de afvoer en op verschillende punten van enkele aan de noordelijke zijde van de Veluwe en aan den rand der Geldersche vallei op de Zuiderzee uitkomende beken en tochten. (Futtener beek, Hierdensche beek, Vanenburgsche beek, Schuitenbeek, Nijkerksche haven en Laak).

In bijlage XIX van eerstgenoemd rapport ("Stroomgebieden en afvoeren bij verschillende waterstanden van kleine rivieren en beken op verschillende punten") worden opgegeven o.a. voor genoemde beken en tochten: het stroomgebied, de afvoer bij den laagsten waterstand, bij den gemiddelden waterstand en bij den hoogsten waterstand.

Voor het doel onzer studie moeten deze gegevens echter terzijde worden gelegd.

Het blijkt n.l. uit het verslag der staatscommissie bevloeiingen dat zij niet berusten op waarnemingen - zooals de staatscommissie voor de beken aan den westelijken Veluwe-rand heeft doen uitvoeren - doch door speculatieve beschouwingen zijn afgeleid. Daarbij is in het algemeen uitgegaan van de opgaven van K. Michaëlis, waarin - op grond van afvoermetingen in het Westphaalsche bekken (Duitschland) - voor stroomgebieden van verschillende grootten, de afvoeren bij diverse waterstanden (laag, middelbaar zomer, middelbaar winter en hoog) worden vermeld. Bij een vergelijking van hetgeen op grond hiervan voor de beken aan de westelijke Veluwe-rand kan worden verwacht met de werkelijk gemeten afvoeren, bleek de Staatscommissie dat een zeer belangrijke correctie moest worden aangebracht om tot overeenstemming te komen, hetgeen werd toegeschreven aan het groote deel van den regen dat door den bodem en niet door de beken wordt afgevoerd. Deze correctie nu is ook gebruikt voor de berekeningen der beekafvoeren in bijlage XIX; hoe wordt niet precies medegedeeld.

Het is wel duidelijk dat aan bovenbesproken opgaven weinig waarde kan worden gehecht; zij zijn hier alleen besproken om bij een ev. raadplegen van het verslag der staatscommissie bevloeiingen misverstand te voorkomen.

AFVOER BEKEN NOORDRAND VELUWE, GELDERSCHE VALLEI EN GOOI.
(gemeten bij de monding).

No in bijlagen III en IV	Naam	Afvoer in $\frac{m3}{sec}$. midden Maart 1943	datum	einde Juli 1943	datum	einde October 1943	datum
Landschapstype A (zie tabel 1)							
1	Sluizen der polders bew.Kampen	-	-	-	-	-	-
2	Geldersche Gracht	-	-	0	30	-	-
3	Bolsmerk- en Lunsmerkeluis	-	-	0	-	0	28
4	Vijk Vetering	0,080	17	0	"	0,034	"
5	Puttenerbeek	0,20	"	0	"	0,15	26
6	Goorbeek	0,042	9	0	"	0,029	"
Landschapstype B							
7	Papenbeek	0,046	9	0	29	0,044	26
8	Klarenbeek	0,053	"	0,010	"	0,078	"
9	Sipelbeek	0,040	"	0	"	0,017	"
10	Amdhuizer/Horsterbeek	0,24	"	0,080	"	0,22	"
11	Pangelersbeek	0,072	10	0,079	30	0,068	"
12	Vetering I	0,024	"	-	-	-	-
13	Vetering II	0,017	"	-	-	-	-
14	Bijsselschebeek	0,18	"	0,10	29	0,27	"
15	Hodbeek	0,058	"	0,040	"	-	-
16	Varefsche beek	0,14	"	0,057	"	0,11	26
17	Killebeek	0,14	"	0,076	"	0,11	"
18	Tochtslaet	-	"	0,013	"	0,017	"
19	Hierdensche beek	0,34	15	0,10	27	0,18	"
Landschapstype C							
20	Sypelbeek	0	11	0	30	-	-
21	Veibeek	0,008	"	0	"	-	-
22	Beekje I	0,008	"	-	-	-	-
23	Beekje II	0,008	"	-	-	-	-
24	Schaapadijkbeek	0	"	0	"	-	-
25	Horstsche-Veldwijksche beek	0,036	"	0	"	0	29
26	de Kronkel-Vanenburgsche beek	0,069	"	0	"	0,032	"
27	Beekje III	0,020	"	0	"	-	-
28	Schuitenbeek	0,13	16	0	27	0,059	"
Landschapstype D							
29	Puttersluis	0	19	-	-	-	-
30	Haven van Nijkerk	0	"	-	-	-	-
31	de Niel	0	"	-	-	-	-
32	Rossenbeek	0	"	-	-	-	-
33	de Laak	0,063	"	-	-	-	-
34	Motorgemaal Spakenburg	0	"	-	-	-	-
35	Haven van Spakenburg	0	"	-	-	-	-
36	de Eem	-	-	-	-	-	-
Landschapstype E							
37	Gooyer Gracht	0,010[1]	19	-	-	-	-
38	Duikers Meentgronden	0	"	-	-	-	-
Landschapstype F							
	Geen gegevens.						

1) Huishoudelijk afvalwater.

AFVOERWAARNEMINGEN op punten waar langdurig waarnemingen zijn verricht.
(vervolg) Tabel 6.

	Naam	Afvoer in $\frac{m3}{sec}$.						
		midden Maart 1943	datum	einde Juli 1943	datum	einde October 1943	datum	Karakteristiek minimum
	Hierdensche beek stuw Zandsolen	0,14	16	0,021	28	0,075	28	0,05
B [1]	Barneveldsche beek bij Overwoud	-	-	-	-	0,18	2	0,10
A	Barneveldsche beek bij Pothoven	-	-	-	-	0,19	"	0,12
E	Barneveldsche beek	-	-	-	-	1,0	"	0,9
C	Esvelder beek bij Terschuur	-	-	0	31	0,065	"	0,13

[1]) Plaats in bijlage XVI.

AFVOERMETINGEN door de Staatscommissie Bevloeiingen.
(Afvoer in $\frac{m3}{sec}$.)

Tabel 8.

Beek.	Plaats op bijlage	Waarnemingsperiode	Gemiddelde van de waargenomen zomerafvoeren (Mei t/m October)	Gemiddelde minimale afvoer	Gemiddelde van de waargenomen winterafvoeren (Nov. t/m April)	Jaargemiddelde
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Lunterache beek bij de Fliert	F ?	Aug. '94 t/m Juli '96	0,13	0,05	0,17	0,15
Barneveldsche beek bij Overwoud	A ?	"	0,35	0,10	0,76	0,55
Barneveldsche beek bij Pothoven	B ?	"	0,41	0,12	0,86	0,63
Esvelder beek bij Terschuur	C ?	"	0,37	0,18	0,65	0,51

AFVOERMETINGEN door de commissie Van Diesel c.s.

(Afvoeren in $\frac{m3}{sec}$).

Tabel 7.

Beek.	Plaats op bijlage.	Waarnemingsperiode.	Waargenomen kleinste afvoer in de in kolom 3 genoemde periode	Gemiddelde van de waargenomen zomerafvoeren. Mei t/m Oct.	Gemiddelde minimale afvoer	Gemiddelde afvoer in de hoogwaterperiode 15 Nov. tot 15 Dec. 1928	Gemiddelde van de waargenomen winterafvoeren Nov. t/m April	Waargenomen grootste afvoer in de in kolom 3 genoemde periode	Jaargemiddelde.
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Kortenburgsche beek	G /*	Maart 1928 t/m Jan. 1929	0,135	0,17	0,15	0,18	0,21	0,355	0,19
Barneveldsche beek	H /*	Maart 1928[1]) t/m Jan. 1929	?	?	0,9 ?	2,6	2,0	4,7	1,5 ?
Grift	H /*	Mei 1928 t/m Jan. 1929	0,4	1,3	1,0	1,9	1,75	3,6	1,62
Nierdensche beek	K /*	Mei 1928 t/m Jan. 1929	0,025	0,07	0,05	0,23	0,19	0,36	0,13

1) Onderbroken gedurende Augustus tot en met October 1928.

V6 DE WAARDE VAN DE AFVOERMETINGEN VOOR DE BEPALING VAN DE KWEL.

De gegevens in dit hoofdstuk verzameld hebben tot doel te komen tot een bepaling van de kwel in het drainneerende gebied. Hiervoor staan geen langdurige waarnemingen ter beschikking doch alleen de in het vorige hoofdstuk vermelde enkele afvoermetingen aan het einde van een drietal droge perioden. Een zekere vergelijking met de lange reeksen is echter mogelijk, doordat tevens de afvoer is gemeten op die plaatsen waar ook gedurende langeren tijd is waargenomen.

In dit verband moeten nog enkele beschouwingen gewijd worden aan het z.g. karakteristieke minimum der beekafvoeren, dat de commissie Van Diesel beschouwt als onderste grens van de kwelafvoer; waarom, is in paragraaf V4 vermeld. Maar dezerzijdsche meening valt de kwelafvoer hier echter practisch mee samen. Dit zij als volgt gemotiveerd:

1. De seizoensschommelingen in den grondwaterstand zijn vrij klein, zooals nog nader zal blijken, terwijl de drukverhooging in den winter ontstaan, in de zomermaanden grootendeels verdwenen is. Dat hierdoor in de maanden waarin de beekafvoer om het karakteristieke minimum schommelt, een krachtiger ondergrondsche toestroeming dan normaal zou optreden is niet waarschijnlijk.

2. Juist ten aanzien van de vraag welke invloed de berging en het verschil tusschen regen en verdamping in het drainneerende gebied op de beekafvoeren hebben, zijn de maanden waarin het karakteristieke minimum optreedt, bijzonder geschikt, daar juist in die maanden deze grootheden zoowel positief als negatief zijn. Ter illustratie, zonder eenigerlei pretentie t.a.v. de absolute waarden, zijn in tabel 9 opgenomen de grootten van regen, verdamping, afvoer en berging zooals deze in de Wieringermeer optreden. [1]

WATERBALANS WIERINGERMEER. Tabel 9

Millimeters	Regen	Verdamping	R-V	Afvoer	Berging	
Januari	51	5	46	50	+ 4	stijgende grondwaterstand
Februari	39	10	29	35	+ 6	
Maart	46	20	26	30	+ 4	
April	39	40	-1	10	+11	
Mei	43	70	-27	0	+27	
Juni	53	80	-27	0	+27	
Juli	62	70	-8	0	+ 8	
Augustus	77	50	+27	10	-17	dalende grondwaterstand
September	63	30	+33	15	-23	
October	74	15	+59	35	-24	
November	67	5	+62	50	-12	
December	66	5	+61	50	-11	
	635	400	235	235	0	

Ten aanzien van de hydrologische beteekenis der afvoermetingen in Maart, Juli en October 1943 kan nu het volgende worden opgemerkt:

1. De afvoermetingen eind Maart.

De laatste weken van Maart vormden de eerste droge periode na de regenrijke wintermaanden. Het is van algemeene bekendheid dat dan een daling van den grondwaterstand optreedt, die door het eenigszins abnormale karakter van Maart 1943 grooter zal zijn geweest dan tabel 9 aangeeft. Moeilijker is uit te maken of na het verloop der drie droge weken deze daling nog steeds optrad. Een aanwijzing dat dit wel het geval geweest is vormt de afvoer van de Hierdensche beek bij de stuw van de Zandmolen, die toen ver boven het karakteristieke minimum lag. Ook een vergelijking van den regenval en de beekafvoeren gemeten door de commissie Van Diesel leert, dat tijdens droge perioden volgende op natte wintermaanden de afvoer boven het minimum

[1] Ontleend aan dr.ir.J.Buur. De ontzilting van de Wieringermeer.

blijft, tenzij deze perioden zeer lang duren.

2. De afvoermetingen eind Juli.

Een belangrijke rol bij afvoermetingen in droge zomerperioden vormt de verdamping die bij constante grondwaterstand aan de opkwelling onttrokken wordt. Of dit laatste het geval is, is geenszins zeker: mogelijk is ook toen nog een negatieve berging in het spel geweest.

De belangrijke invloed van de verdamping blijkt wel duidelijk uit de zeer lage afvoeren gemeten bij de Hierdensche en Barneveldsche beken.

3. De afvoermetingen midden October.

Voor de bepaling van de opkwelling is deze periode ongetwijfeld de geschiktste. De verdamping was toen niet groot, bovendien waren er vele weken van geringen regenval aan voorafgegaan, waardoor waarschijnlijk de berging onbeteekenend was geworden. Wel was er vrij kort voor de afvoermetingen nog eenige regen gevallen (op October in totaal mm). De afvoeren van de Hierdensche en Barneveldsche beken kwamen dan ook zeer nabij het karakteristieke minimum, lagen er over het algemeen nog iets boven. Een uitzondering vormt de Revelder beek bij Terschuur. Mogelijk is het stroomgebied van deze beek na de metingen van de commissie Van Dissel kleiner geworden: het algemeene karakter van deze beek is weinig in overeenstemming met de hoege waarden voor minimalen, gemiddelden en maximalen afvoer die, vergeleken met de Barneveldsche beek, worden opgegeven.

HOOFDSTUK VI.

STIJGHOOGTEN EN BEWEGING VAN HET GRONDWATER.

VI 1 ALGEMEEN.

Het behoeft geen betoog dat het voor een studie der geo-hydrologische gesteldheid van het zuidelijk randgebied der IJsselmeerkom noodzakelijk is te beschikken over hydrologische gegevens betreffende de naburige gebieden van Gooi, Geldersche vallei en Veluwe. Gelukkig zijn deze in groeten getale voorhanden; de mogelijkheden voor drinkwatervoorziening welke de pliistocene infiltratiestreken bieden gaven reeds spoedig aanleiding tot onderzoekingen. Een bezwaar is slechts dat de gegevens der verschillende gebieden van verschillende ouderdom en aard zijn (duur en frequentie der waarnemingen) terwijl de geheele hydrologische gesteldheid der genoemde gebieden zoodanig is dat deze met elkaar in verband gebracht en gezamenlijk moeten worden beschouwd.

In het algemeen is het gewenscht voor stijghoogte bepalingen te beschikken over waarnemingen met korte tusschenperioden (b.v. 1 week of 1 maand), voortgezet over een reeks jaren, teneinde schommelingen door wisseling van droge en natte jaren, seizoenschommelingen en derg. te kunnen elimineeren. Zijn dergelijke reeksen niet beschikbaar, dan kunnen enkele waarnemingen mits gelijktijdig uitgevoerd toch omtrent het algemeene beeld der stroomrichtingen uitsluitsel geven; van de juiste intensiteit is dan echter veel minder bekend.

Wanneer evenwel - zooals bij het onderhavige onderzoek - de gegevens in diverse gebieden van zeer uiteenloopenden ouderdom zijn (deze variëeren van 1886 tot en met 1942) is bij combinatie bijzondere voorzichtigheid geboden en moet behalve met jaar- en seizoenschommelingen ook rekening worden gehouden met veranderingen over langen termijn.

Er is nog een andere reden die het gewenscht maakt voor stijghoogtebepalingen te beschikken over een reeks waarnemingen op verschillende tijdstippen. Het is hiermede n.l. mogelijk te beoordeelen welke beteekenis aan de gemeten stijghoogten moet worden gehecht, hetgeen van belang is voor het volgende (rapport Van Diesel c.s. blz.24).

Volgens de verzamelde gegevens kan men blijkbaar in de tot aanzienlijke diepte reikende goed-watervoerende lagen een hoofdstroomrichting onderscheiden; deze ondergaat uiteraard allerlei afwijkingen door plaatselijke onregelmatigheden. In overeenstemming met hetgeen op vele plaatsen elders is waargenomen, volgt het grondwater in de bovenste lagen niet steeds de algemeene stroomrichting, hetgeen veelal veroorzaakt wordt door het plaatselijk voorkomen van moeilijk doordringbare lagen op geringe diepte of wel door onregelmatigheden in de doorlatendheid van eenzelfde pakket. Dit verschijnsel wordt op de Veluwe veelvuldig aangetroffen. Een typeerend voorbeeld in dezen geeft de waterwinplaats van de gemeentewaterleiding van Rheden, gelegen onder Rozendaal, waar op een beperkte oppervlakte het boven een kleibank aanwezige "boven"-water een circa 14 m hoogere stijghoogte heeft dan met het groote Veluwe-bekken correspondeerende diepe grondwater (zie bijlage XIII no 63 en 62).

Of een dergelijke storende invloed nu bij een gemeten stijghoogte optreedt, is uit te maken door na te gaan welke schommelingen hierin optreden. Bij het onderzoek door de commissie Van Diesel c.s. is n.l. komen vast te staan, dat de potentiaal van het diepe grondwater een

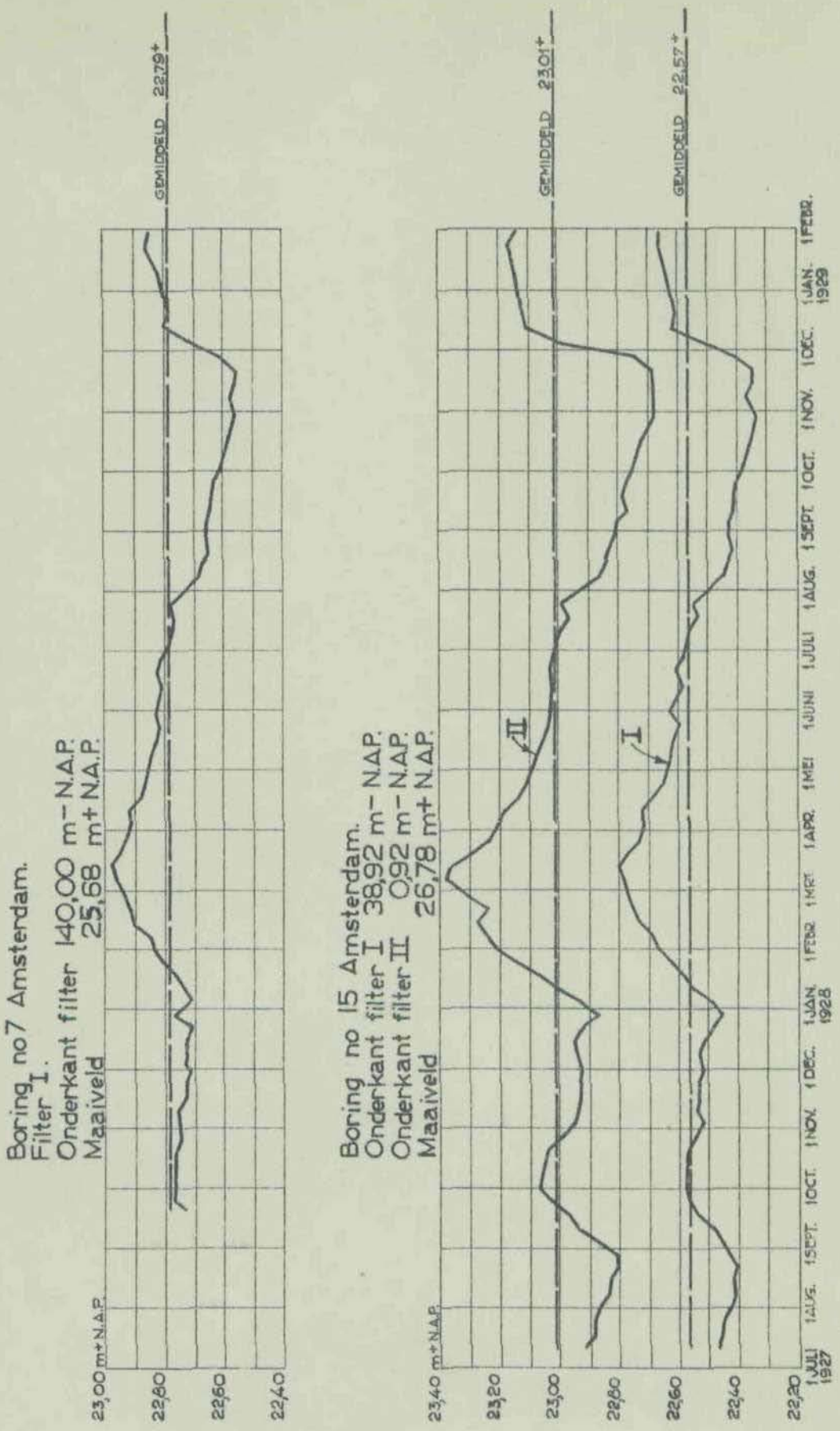


Fig. 7.
Schommelingen van stijghoogten in peilbuizen en putten.

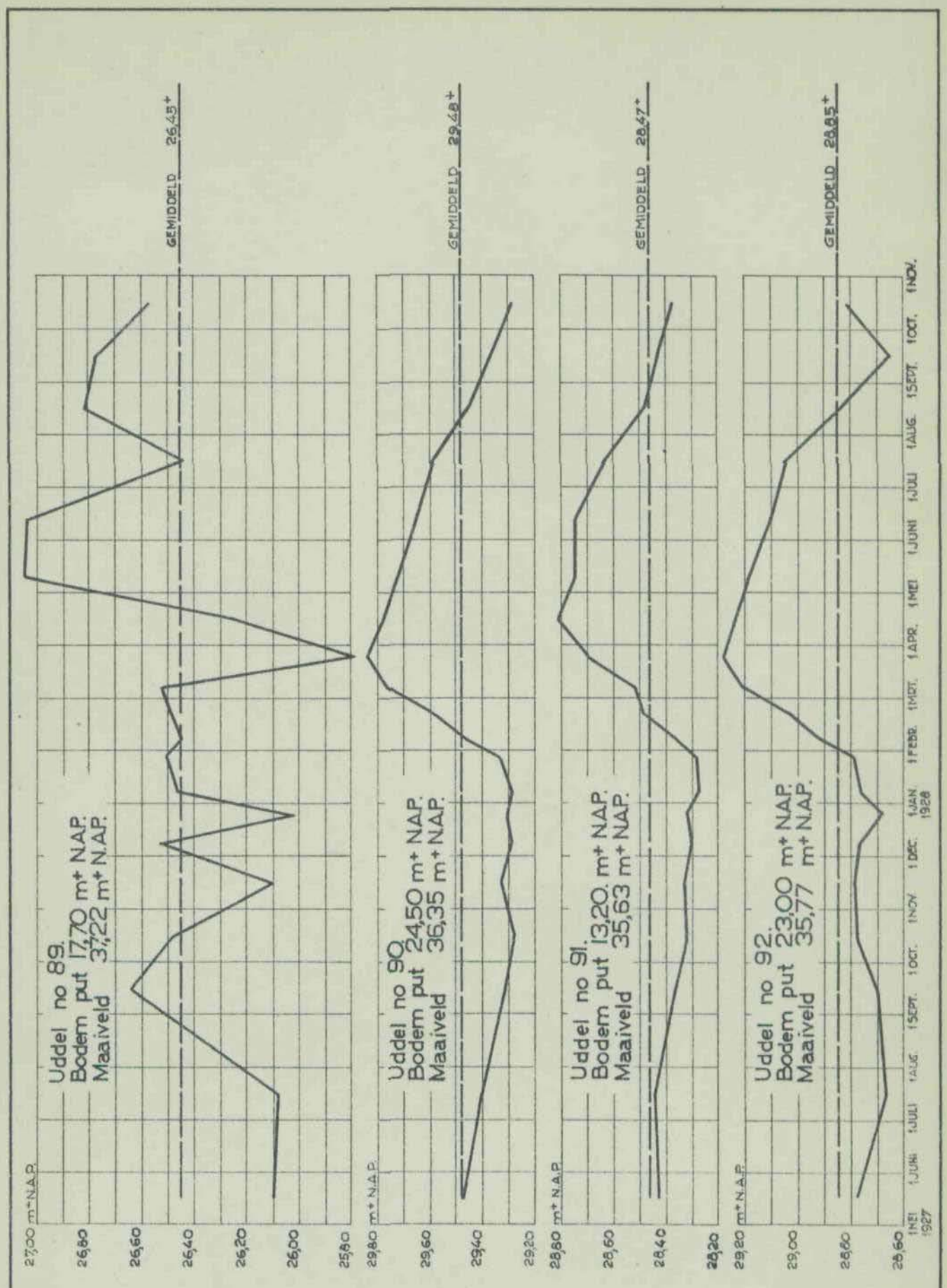


Fig. 8.
Schommelingen van stijghoogten in peilbuizen en putten.

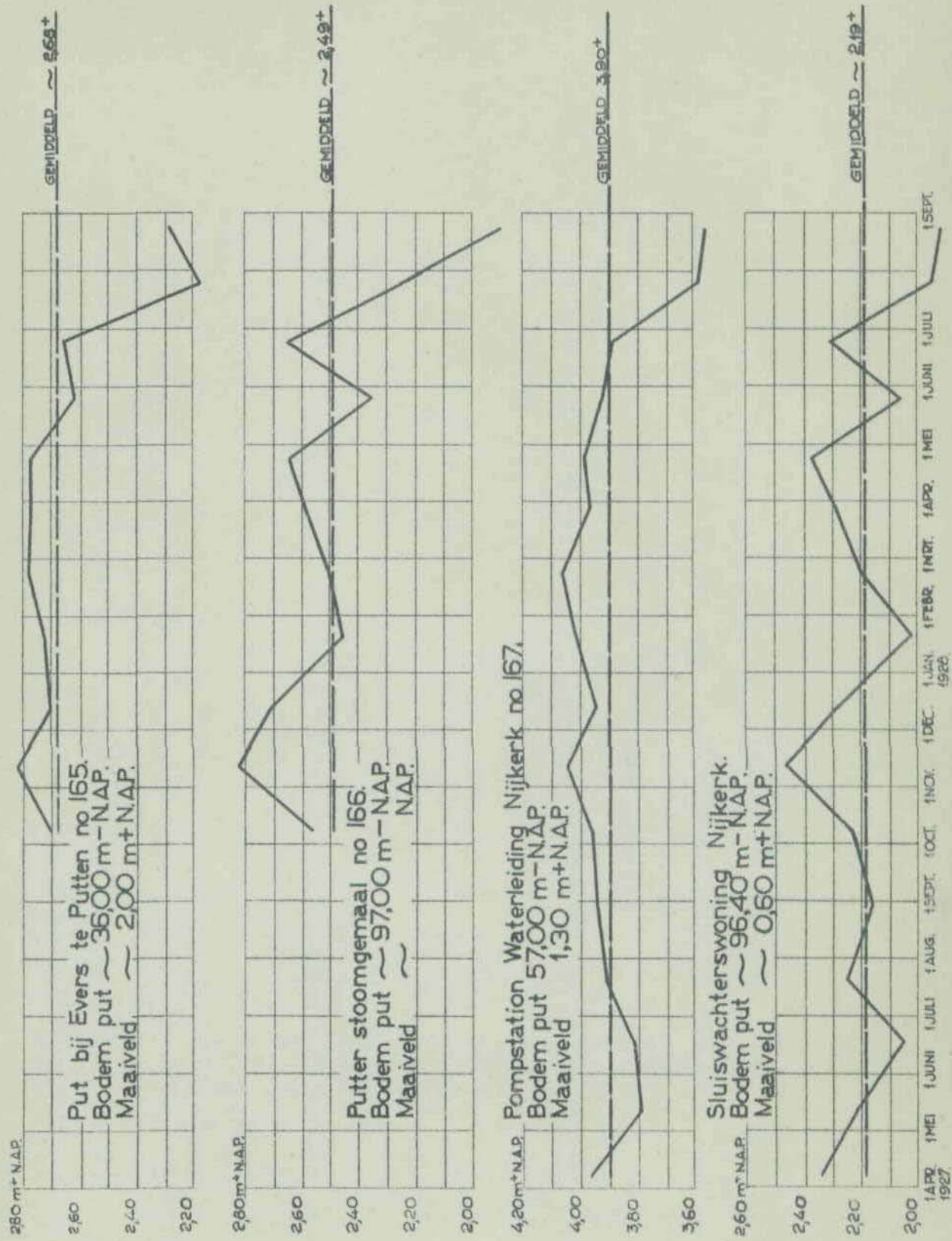


Fig. 9.
Schommelingen van stijghoogten in peilbuizen en putten.

geleidelijke seizoenschommeling toont, de totale amplitude is doorgaans beperkt tot 60 à 80 cm. Men vindt deze schommeling terug op alle hoogten in het watervoerende pakket hetgeen bevestigt dat dit hydrologisch een geheel vormt. Ter illustratie zijn in figuur 7 de tijdens de waarnemingsperiode 1927-1928 verrichte wekelijksche waarnemingen opgenomen van eenige peilbuizen - zoowel diepe als ondiepe - op het boorterrein der gemeente Amsterdam. [1]

Vergelijkt men daarmede(figuur 8) de stijghoogten gemeten in een viertal in elkanders onmiddellijke nabijheid gelegen putten in de gemeente Uddel (bij het Uddelermeer) dan valt onmiddellijk op het afwijkende karakter der in de eerste putten gemeten stijghoogten: het is wel zeker dat hierbij een storende invloed in het spel is en deze stijghoogten dus buiten beschouwing moeten worden gelaten. Merkwaardig is dat deze lager ligt dan de algemeene grondwaterstand, terwijl meestal het omgekeerde het geval is.

De schommelingen in den grondwaterstand vertoonen een regelmatigen seizoeninvloed. Dit geldt alleen voor punten op de Veluwe in engeren zin. Aan de randen staan zij onder invloed van het water van beek, rivier of zee waaraan het Veluwe-terrein grenst. Dit zal nog nader blijken uit de stijghoogten in het kustgebied tusschen Harderwijk en Elburg. In fig 9 zijn de stijghoogten weergegeven in de norton-putten tusschen Hijkerk en Putten. Hoewel ook hier een groote onderlinge overeenkomst bestaat toonen zij een geheel ander aspect dan die op de Hooge Veluwe.

VI 2 GOOI EN GELDERSCHE VALLEI.

Voor zoover dezerzijds kon worden nagegaan, komen de eerste mededeelingen omtrent den geologischen toestand van bovengenoemde gebieden voor in de resp. in 1908 en 1915 gepubliceerde rapporten omtrent de watervoorziening van Amsterdam (lit. 25 en 26). Daarbij is in het rapport van 1915 een overzicht gegeven van alle resultaten die toenmaals bekend waren, dat in den vorm van een isohypsenkaart van Utrechtsche heuvelrij, Zemdal en westelijk deel der Veluwe als bijlage D aan genoemd rapport is toegevoegd. Wegens het groote belang dezer kaart voor de onderhavige studie is deze - na verkleining - in facsimile als bijlage XI in ons rapport opgenomen.

Een nadere studie hiervan leert dat voor de samenstelling gegevens van verschillenden ouderdom zijn samengevoegd. Zoo berusten de isohypsen voor Gooi en Utrechtsche heuvelrij op waarnemingen in 1891 (aangeduid door ————) ,
westelijke Veluwe-rand op waarnemingen in 1903-1904 (aangeduid door - - - - - - - - -) ,
noordelijk deel der Geldersche vallei op waarnemingen in 1903-1904 en in 1914 (de laatste aangeduid door -.-.-.-.-.).

De standen van 1891 waren de laagste van het waarnemingsseizoen. De overige zijn alle op één bepaalden dag verricht, nader aangegeven op bijlage .

Ten aanzien van het koppelen dezer gegevens merken de samenstellers van het rapport van 1915 op, naar aanleiding van een daarop door den Heer Roelof Kuipers geleverde critiek, dat met het verschil in tijdstip bij de constructie der stippellijnen werd rekening gehouden, wat te gemakkelijker viel, omdat de waterstanden periodiek op en neder gaan en het verschil niet veel meer dan een 0,50 m bedraagt en niet van beteekenis is voor de beoordeeling omtrent den algemeenen hydrologischen toestand. Met deze opmerkingen wordt dezerzijds ingestemd; op het bedoelde koppelen der gegevens wordt later teruggekomen.

Bovenbeschreven isohypsen komen-met enkele onbeteekenende wijzigingen- eveneens voor op teekening Nº 3 behoorende bij het rapport 1940 betreffende de watervoorziening van Amsterdam (lit 7).

Nieuwe onderzoekingen, althans wat het Gooi betreft, zijn ingesteld

---

1) Deze en soortgelijke gegevens zijn beschikbaar gesteld door de welwillende medewerking van den hydroloog van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening dr.ir. J.H.Steggewentz.

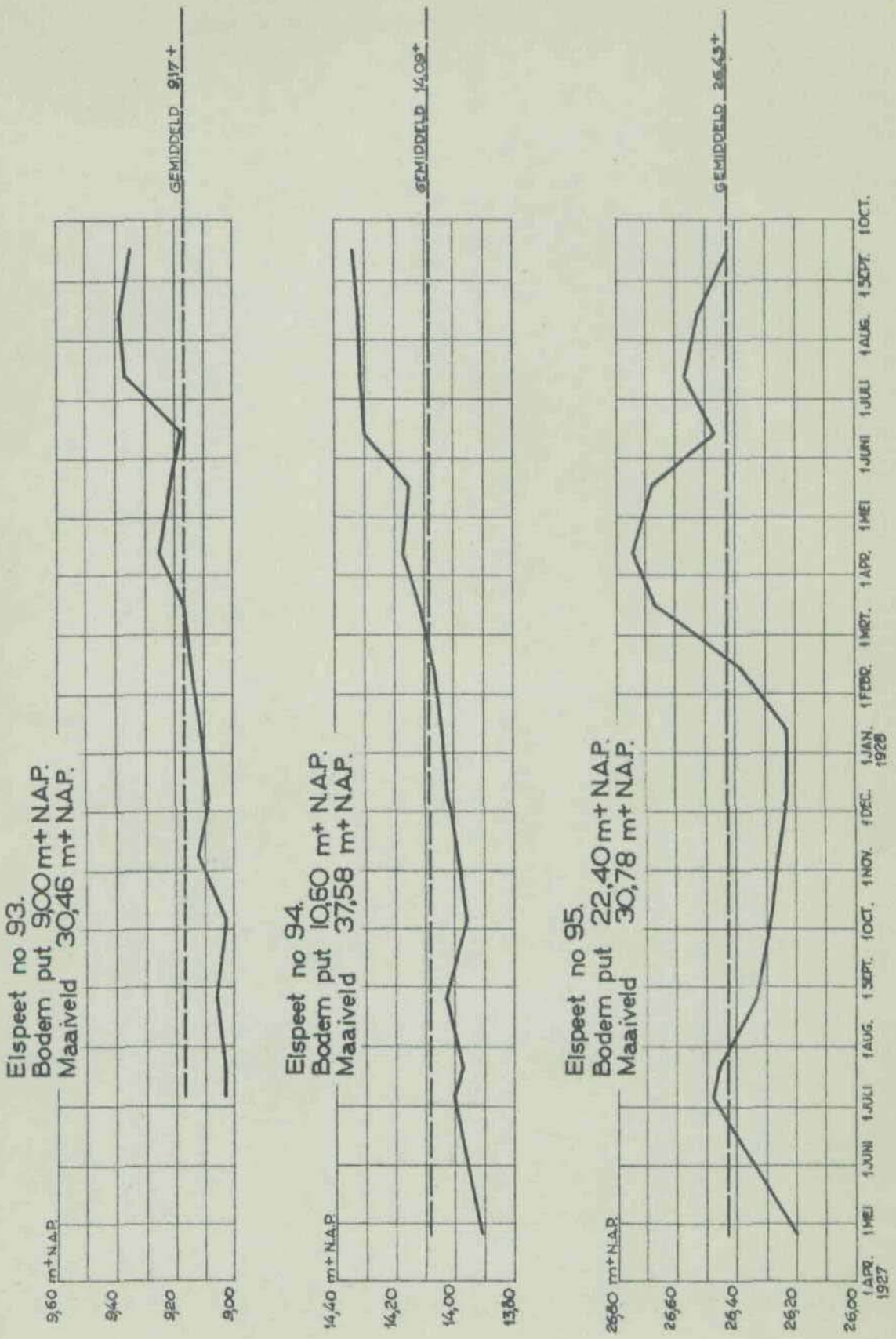


Fig. 10.
Schommelingen van stijghoogten in peilbuizen en putten.

ten behoeve van een onderzoek van ir. W. P. van Leening vermeld in "Eenige oriëntoerende berekeningen omtrent den hydrologischen toestand in het Gooi" (lit 33). Op 24 en 25 November 1941 zijn in tal van peilputten op het Gooi waarnemingen verricht. De daarmede afgeleide isohypsenkaart vertoont alleen in details verschillen met die welke op waarnemingen in 1891 berust.

VI 3 VELUWE.

Terwijl reeds tegen het einde van de vorige eeuw stijghoogtebepalingen in het Gooi en in de Gelderschc vallei zijn uitgevoerd, zooals onder VI 2 is gebleken, dateeren systematische bepalingen van het grondwater in de Veluwe eerst van 1927.

Wel kende men reeds lang daarvoor den hydrologischen toestand in grove trekken uit de waterstanden in de talrijke voor waterleidingdoeleinden gegraven en geboorde putten (brandputten, zakputten, stapelputten, nortonbronnen en derg.), van welker aanwezigheid ook later door de commissie Van Diesel in gebruik gemaakt.

Het in 1927 door de Gemeentewaterleidingen van Amsterdam onder leiding van ir. G.J.Hoogesteger ingestelde onderzoek (lit 15) had betrekking op den westelijken rand van de Veluwe op den overgang naar de Gelderschc vallei (Stroesche, Kootwijksche en Harskampsche zanden, Garderbroek en Kootwijkerbroek). In dit gebied ("boorterrein gemeente Amsterdam" geheeten) is een aantal meer of minder diepe boringen verricht, waarin later de stijghoogte van het grondwater is gemeten.

De resultaten dezer metingen zijn, gecombineerd met de bovenbesproken in bijlage XI weergegeven isohypsen van Gooi en Gelderschc vallei, gebruikt ter samenstelling van een algemeen beeld der "hoogtelijnen van het grondwater" in het geheele gebied tusschen Utrecht en Zutphen. (blad No 22 behoorende bij genoemd rapport van ir. Hoogesteger.) Deze kaart, in facsimile opgenomen als bijlage XII, is onveranderd weergegeven als teekening 3 in het Rapport 1940 van ir. G.Blemond (De watervoorziening van Amsterdam; lit)

De daarop voorkomende voor de Veluwe geldende isohypsen, met uitzondering van die in het "boorterrein", kunnen echter niet worden aanvaard. In het rapport van ir. Hoogesteger wordt niet vermeld op welke gegevens deze lijnen berusten maar het feit, dat de isohypsen tusschen enkele, ook bij later onderzoek juist gebleken, punten een opvallend regelmatig verloop hebben, wijst er op dat zij waarschijnlijk grootendeels "op het gevoel" geconstrueerd zijn.

De stijghoogten van het grondwater, zooals deze vermeld zijn in het "Veluwe rapport Van Diesel c.s." (in deze verhandeling eveneens in facsimile opgenomen als bijlage XIII) wijken op belangrijke punten daarvan af en daar deze, zooals onder nog nader zal worden besproken, berusten op systematische waarnemingen gedurende langeren tijd, dient aan deze de voorkeur te worden gegeven.

In haar rapport wordt door de commissie Van Diesel nadrukkelijk medegedeeld dat zij ervan heeft afgezien tusschen de waarnemingspunten isohypsen te construeeren "om overlading van de teekening en een niet te rechtvaardigden indruk van nauwkeurigheid te vermijden". Wanneer in de bijlage XVI dezer verhandeling niettemin getracht is isohypsen te teekenen, is dit niet om in elk punt tot op een meter nauwkeurig de potentiaal van het grondwater te kunnen aflezen, maar voor de vaststelling der begrenzingen van stroomgebieden, welke voor de studie van den hydrologischen toestand van zoo'n groot belang zijn.

In aanhangsel D zijn enkele opmerkingen verzameld betreffende de grondwaterstroming met vrij oppervlak zooals deze onder de Veluwe en het Gooi optreedt. Hieruit moge blijken dat het ter bepaling van genoemde begrenzingen de voorkeur verdient, uit te gaan van potentiaallijnen van het grondwater, ook al geven deze door een gering aantal meetpunten, korte waarnemingsperioden en derg. slechts de grove trekken van het algemeene beeld. Topografische hoogtelijnen staan met stroombegrenzingen alleen in indirect verband.

De stijghoogten van het grondwater onder de Veluwe, vermeld in het rapport van de commissie Van Diesel c.s., zijn afgeleid uit peilingen in ruim 200 over de Veluwe verspreide putten. De peilingen geschiedden in het algemeen eens per maand; de peilbuizen in het boorterrein der gemeente Amsterdam zijn evenwel wekelijks waargenomen. De waarnemingsperioden zijn niet bij alle gelijk; zij omvatten meestal een deel der beide jaren 1927 en 1928. Nadere bijzonderheden omtrent de diepten der putten, resp. der peilfilters, de hoogten van het maaiveld en de verrichte peilingen zijn vermeld in genoemd rapport.

De plaatsen der peilputten en de gemiddelden der waargenomen stijghoogten zijn opgenomen als bijlage XIII welke een facsimile is van een der bijlagen van het Veluwe-rapport. Met is met deze gegevens dat getracht is te komen tot de begrenzingnder naar het IJsselmeer afwaterende stroomgebieden. Vanzelf sprekend kan men zich daarbij in hoofdzaak tot het naar het noorden afwaterend gebied beperken.

Bij het teekenen der isohypsen tusschen deze punten stuit men op de volgende moeilijkheden:

1. Stijghoogten te Uddel.

Van de vier gemeten stijghoogten (91:28.47+, 92:28.85+, 90:29.48+ en 89:26.65+) sluiten de drie eerste goed bij elkaar aan, gezien hun ligging. De laatste wijkt echter af. In de inleiding tot dit hoofdstuk is dit probleem reeds behandeld, waarbij bleek dat deze zeer waarschijnlijk een schijnspiegel aangeeft.

2. Stijghoogten te Elspeet.

Hiervoor worden drie onderling sterk verschillende waarden opgegeven:

n° 95 26.43+
" 94 14.09+
" 93 9.17+

Er is hier kennelijk een vergissing in het spel. In een bij deze stijghoogten behoorende staat in het Veluwe-rapport komen de volgende gegevens voor:

Stijghoogten grondwater te Elspeet. Tabel 10

89 in bijlage XIII	Bodem put in m t.o.v. N.A.P.	Maaiveldshoogte in m t.o.v. N.A.P.	Waarnemingsperiode.	Gemiddelde stijghoogte in m t.o.v. N.A.P.
93	19.00+	33.46+	5-7 '27 tot 7-9 '28	15 9.17
94	23.00+-	37.59+	25-4 '27 " 7-9 '28	16 14.09
95	22.40+	39.73+	25-4 '27 " 7-9 '28	16 26.43

Met is niet duidelijk hoe stijghoogten gepeild konden worden onder den onderkant van de put. Bestudeering van de minuten dezer waarnemingen leert dat opgaven voor de onderkant van de put voor 93 en 94 hoogstwaarschijnlijk onjuist zijn. Deze moeten zijn resp. 9.00+ en 10.60+. Van een vergissing in de opgegeven stijghoogten blijkt echter niets, zoodat zich hier wederom de moeilijkheid voordoet van totaal verschillende potentialen in nabij gelegen punten.

Met verloop van de stijghoogten over het jaar, dat kan dienen om uit te maken welke van de drie de "ware" grondwaterstand aangeeft, is geteekend in fig 10. Met blijkt dat n° 95 geheel en al het zeer regelmatige verloop vertoont dat men ook bij zeer diepe filters aantreft (fig 7) en dat ongetwijfeld samenhangt met de groote grondwatermassa onder de Veluwe. Zou 95 betrekking hebben op een schijnspiegel boven een ondoorlaatbare bank dan zouden geheel andere schommelingen optreden. Deze regelmatige toe- en afname vindt men niet in 93 en 94, deze vertoonen over het algemeen een langzame stijging.

Intusschen moet bovenstaande niet zóó worden opgevat dat iedere gemeten stijghoogte op de Hooge Veluwe de karakteristieke seizoenschommeling moet vertoonen wil deze op de algemeene grondwaterbeweging betrekking hebben. Er zijn vele meetpunten waarvan de stijghoogten zeer wel in het algemeene beeld passen die potentiaalschommelingen te

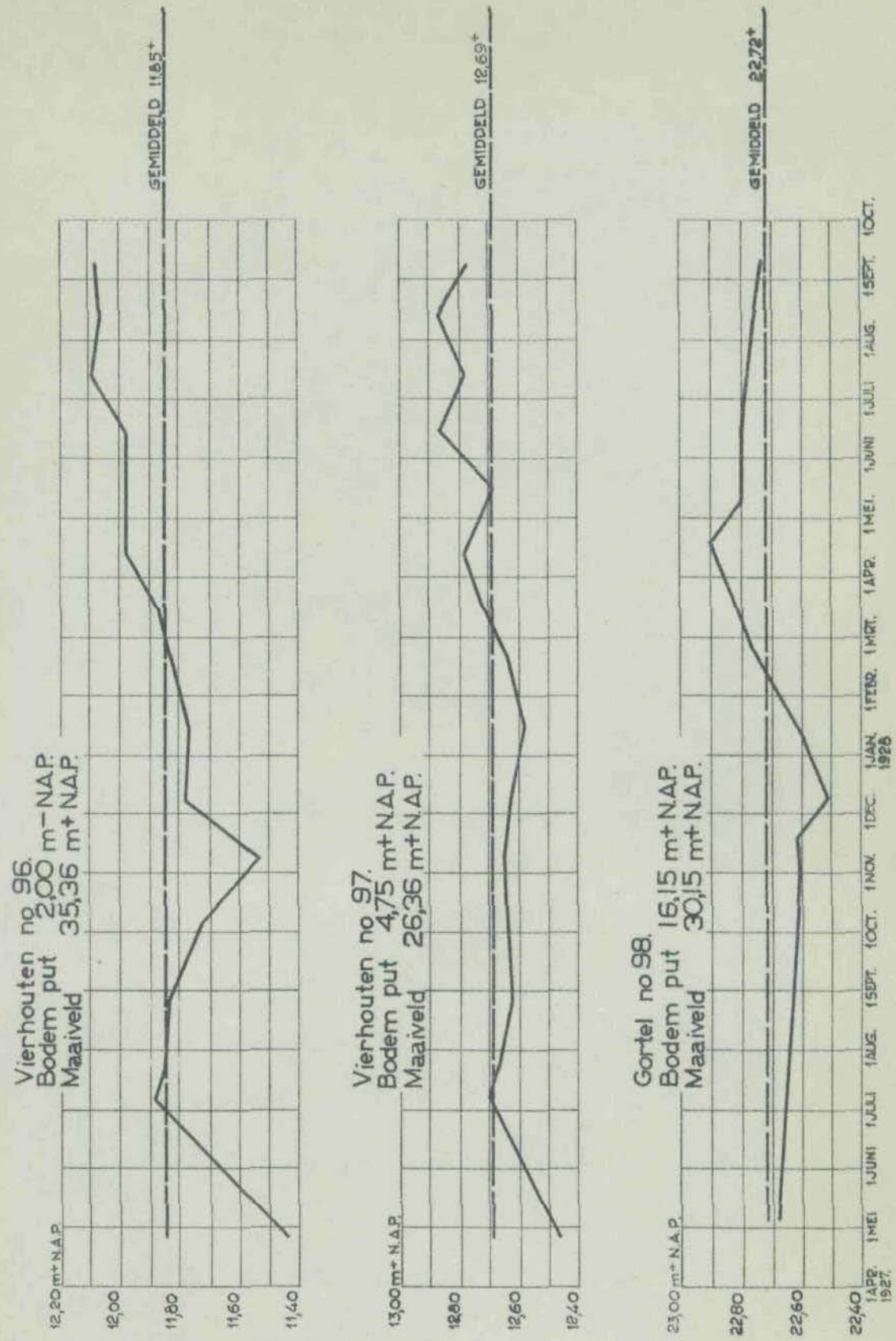


Fig. 11.
Schommelingen van stijghoogten in peilbuizen en putten.

zien geven overeenkomende met de nº's 93 en 94 te Elspeet. Als voorbeeld zijn in fig 11 opgenomen de stijghoogten in de punten 96, 97 (vierhoeten) en 98 (zie bijlage XIII).

Toch is het zeer goed mogelijk dat alleen 95 - ondanks de ondiepe bodemligging van de put - de "ware" grondwaterstand aangeeft. Daar deze ook het beste past in het beeld der stijghoogten over een groeter gebied, is voor Elspeet een stijghoogte van 26.43+ aangenomen. Een stijghoogte van ca 9+ of 14+ zou ook moeilijk de kwelverschijnselen kunnen verklaren die men langs de bovenloop van de Hierdensche beek aantreft. (mv. 15 à 25 m +N.A.P.).

De conclusie van een en ander is dat de isohypsen alleen in zeer groote trekken juist kunnen worden geacht. Voor de bepaling van den grondwaterstroom in ieder punt zijn zij zeker onbruikbaar. Zelfs voor de bepaling der stroomgebieden bieden zij niet steeds volkomen zekerheid. Voor het deel van de Veluwe dat tusschen Elburg en Harderwijk op het IJsselmeer afstroomt - en waarbinnen de stijghoogten te Elspeet vallen - zal met een mogelijke afwijking van ca 10% in de oppervlakte worden rekening gehouden.

De aldus voor het Veluwe-terrein verkregen isohypsen toonen oppervlakkig bezien een zoo grillig beeld dat de vraag kan rijzen of deze inderdaad overal betrekking hebben op het diepe grondwater waarbij men toch in verband met de groote afmetingen een meer regelmatig beeld zou verwachten. De geografische gesteldheid van de Veluwe is echter zoodanig, dat een gecompliceerd verloop à priori niet onmogelijk mag worden genoemd. Van de in aanhangsel D genoemde factoren die het isohypsenbeeld bepalen, valt voor het Veluwe-terrein de aandacht op de volgende punten:

a. De begrenzing van het terrein.

Hierbij is niet zoo zeer te denken aan topografische grenzen, maar vooral aan die terreingrenzen waar beekjes en derg. duiden op een aan den dag treden van grondwater. Zoo bezien is de begrenzing ongetwijfeld onregelmatig te noemen. Ongeveer in het midden in de lijn Apeldoorn-Barneveld is het oppervlak sterk samengeknepen door het Barneveldsche bekensysteem, dat aan de westelijke zijde en het bekensysteem loozende op het Apeldoornsche kanaal en de Grift, dat aan de oostelijke zijde van bedoelde lijn ontspringt. Ten noorden en vooral ten zuiden van deze lijn treedt een belangrijke verbreeding van het infiltratiegebied op.

Deze situatie nu vindt men duidelijk in het isohypsenbeeld terug.

De uitloeper in het noordoostelijk deel in de richting van Epenveld hangt blijkbaar samen met den Voldberg die één geheel vormt met het eigenlijke Veluwe-terrein zonder door een lagere strook met beken hiervan gescheiden te zijn. (vergelijk fig 4 in aanhangsel D).

In het noorden vormt het IJsselmeer de grens. Dat de isohypsen hier niet evenwijdig aan de kustlijn loopen maar in de richting Harderwijk - Elburg hier steeds verder van afwijken is, gezien de breedte van het hier gelegen opkwellingsgebied, zeer plausibel. De grootste stijghoogten vlak bij de kust komen voor in de hoek bij Hulde: hiervan is de bijzondere geologische gesteldheid van dit gebied oorzaak.

b. Beken in kwelgebieden.

Hierbij wordt gedacht aan door het grondwater gevoede beken, die entspringen op het hoogere heuvelterrein. Wanneer deze door een krachtige opkwelling gevoed worden, vertoonen de isohypsen een binnenwaarts gerichte ombuiging. Aan den noordelijken rand behoort de Hierdensche beek tot dit type. Bij gebrek aan voldoende waarnemingspunten is de invloed van deze beek op het isohypsenbeeld echter moeilijk vast te stellen. Overigens lijkt het - gezien de geringe constante afvoer - niet waarschijnlijk dat deze invloed groot zou zijn. (stippellijnen in bijlage). In het zuiden hangen de sterke uitbuigingen wellicht samen met de "drainageering" door de Hortenburgsche, Renkumsche en Heelsumsche beken.

c. Gesteldheid van den ondergrond en randvoorwaarden.

Wat in de kaart der Veluwe-isohypsen (bijlage XVI) het meest opvalt, is de ligging ver ten zuiden van het centrum van het heuvelgebied. Dat dit niet samenhangt met de topografie is in aanhangsel D uiteengezet. De excentrische ligging kan echter ongedwongen verklaard worden uit de verschillende hoogte waarop in het noorden en het zuiden het opkwellingsgebied ligt en uit de verschillende dikte van het goed doorlatende zandpakket.

De eerste factor leidt een zuidwaartsche verschuiving van den grondwaterheuvel, doch uit een in aanhangsel D weergegeven proefberekening

blijkt, dat deze invloed niet groot kan zijn. Van veel meer belang is de dikte van het doorlatende pakket. Neemt men hiervoor een geleidelijke afname van 300 m. in het Noorden tot ca. 150 in het Zuiden, dan kan mèt de eerste factor de plaats van den top van den grondwaterheuvel worden aanmerkelijk gemaakt.

Resumerend kan worden gezegd, dat het afgeleide beeld der stijghoogten van het Veluwegrondwater aanvaardbaar moet worden geacht. Het is onwaarschijnlijk, dat de werkelijke stijghoogten hiervan belangrijk zouden afwijken. Des te sterker geldt dit voor de begrenzingen der stroomgebieden,- meer dan de absolute waarden der potentialen doel der onderzoekingen - die immers berusten op het algemeene beeld.

VI4 STIJGHOOGTEN IN HET KUSTGEBIED VAN DE VELUWE (H_1, H_2, H_3, H_1, H_2 en H_1).

Zoeals reeds vermeld, is speciaal ten dienste van het onderhavige onderzoek in het kustgebied van de Veluwe een zestal boringen verricht waaronder één diepe. Het doel was in hoofdzaak het verzamelen van hydrologische gegevens, zoeals de stijghoogten en de zoutgehalten van het grondwater en deze vraagpunten hebben dan ook de plaatsen der boringen bepaald.

Zoo liggen H_2 en H_2 juist in de kustlijn van Veluwe en IJsselmeer (bijlage III) teneinde na te kunnen gaan hoeveel de stijghoogte in de diepere grondlagen daar van het IJsselmeerpeil afwijkt. Op beide plaatsen is op korten afstand daarvan landwaarts een tweede boring verricht (resp. H_1 en H_1) waarmede eveneens één naar het IJsselmeer gerichtte grondwaterstroom zou kunnen worden aangetoond.

Eventueel opkwellen in den IJsselmeerbodem kan blijken uit stijghoogtebepalingen bij boringen in het IJsselmeer zelf; uit practische overwegingen zijn deze uitsluitend verricht op de koppen van de in zee uitstekende havendammen van Harderwijk en Elburg (H_1 en E_1).

Elke boring werd afgewerkt tot waarnemingsput door het hierin stellen van een waarnemingsfilter, lang 1 m., wijd 1", opwaarts verlengd met een 1" stijgbuis, eindigende binnen een beschermkoker. Door een waterpassing werd de hoogte van den bovenkant der stijgbuizen t.o.v. N.A.P. bepaald.

De voornaamste gegevens betreffende plaats en diepte der waarnemingsputten zijn vereenigd in tabel 11.

WAARNEMINGSPUTTEN IN HET KUSTGEBIED VAN DE VELUWE. Tabel 11.

Aanduiding van put	filter	afstand in m uit de kustlijn (landwaarts + gerekend)	Maaiveldshoogte in m t.o.v.N.A.P.	Bovenkant stijgbuis in m t.o.v. N.A.P.	Onderkant filter in m t.o.v. N.A.P.
H_1	a	+ 1000	3,14 +	3,412 +	17,44 -
H_2	a	+ 0	0,74 +	1,072 +	23,75 -
H_3	a	- 425	0,06 -	0,330 +	17,70 -
H_1	a	+ 1050	1,46 +	1,851 +	23,52 -
H_2	a	+ 100	1,96 +	2,294 +	17,44 -
H_1	a	- 1300	1,34 +	2,035 +	23,47 -
	b	- "	"	2,035 +	58,47 -
	c	- "	"	2,025 +	126,54 -

De stijghoogten in de waarnemingsfilters zijn in het algemeen op den eersten van elke maand opgemeten; H_1, H_2, H_3, H_1 en H_2 sedert Juli 1942 en E_1 sedert Juni 1939. H_3 is gedurende November en December 1942 dagelijks opgenomen. Gelijktijdig met elke opneming is de IJssel-

meerstand waargenomen in de havens Elburg en Harderwijk. Voor den IJsselmeerstand bij H_1 en H_2 was ter plaatse geen peilschaal beschikbaar, deze kan worden gevonden door interpolatie van de standen in Elburg en Harderwijk.

De resultaten der waarnemingen zijn weergegeven in de bijlagen XIV en XV. Bestudeering hiervan leidt tot de volgende conclusies:

1. Zooals verwacht kon worden, volgt de grondwaterstand in alle boringen den IJsselmeerstand en wel deste vollediger naarmate de boring dichter bij het IJsselmeer ligt.

2. Het verschil tusschen H_2 en H_3 in de kustlijn eenerzijds en de op vrij korten afstand daarvan landwaarts gelegen boringen H_1 en H_4 anderzijds, wijst erop, dat ook aan de uiterste randen van het Veluwe-terrein nog een buitenwaarts gerichte grondwaterstroming bestaat. Dat deze op de overgang naar het IJsselmeer geenszins uitgeput is, bewijst de 0,9 à 1,2 m groote overdruk van H_2 en H_3 t.o.v. het IJsselmeerpeil.

3. Het opkwellen in den IJsselmeerbodem, zooals uit 2 reeds blijkt, wordt op ondubbelzinnige wijze aangetoond door den 0,2 à 0,3 m groote t.o.v. het IJsselmeerpeil in alle waarnemingsfilters van de ca 1300 m uit de kust gelegen boring H_1. In bijlage XV zijn afzonderlijk weergegeven de stijghoogten in de 3 filters (onderaan-) en de IJsselmeerstand met de waarnemingsreeks van één dezer filters (bovenaan in de bijlage). Terwijl tusschen de stijghoogten op de drie verschillende hoogten slechts weinig verschil blijkt te bestaan - dat naar zal blijken uit het verloop van het zoutgehalte met de diepte kan worden verklaard - toonen zij doorloopend een belangrijke overdruk t.o.v. het IJsselmeerpeil.

4. De verwachting dat een dergelijke overdruk van het diepere grondwater onder het IJsselmeer ook bij de waarnemingen aan den kop van den Harderwijker havendam zou blijken, wordt niet door de waarnemingen bevestigd. Wel is er een duidelijk verschil van 0,03 à 0,08 m tusschen IJsselmeerpeil en de stijghoogte van het op 17.70 m - N.A.P. gelegen filter dat niet aan het zoutgehalte kan worden toegeschreven. [1] Vergeleken met H_1 is dit verschil gering, vooral als men den korten afstand van H_1 tot de kust in aanmerking neemt. Dat hier geen water in het IJsselmeer zou opkwellen, moet - mede gezien de stijghoogten in H_1 - onwaarschijnlijk worden geacht. Het kleine verschil is waarschijnlijk toe te schrijven aan een plaatselijke afsluiting der afsluitende lagen. Hierop wordt later teruggekomen.

In vorige hoofdstukken is de kuststrook van de Veluwe van Hijkerk tot Kampernieuwstad reeds gekenschetst als een belangrijk kwelgebied, blijkend uit de beekafvoeren in droge tijden.

Het ligt voor de hand, nu de beschikking is verkregen over grondwaterstandsbepalingen in dit gebied, na te gaan in hoeverre deze wijzen op een overdruk t.o.v. het phreatisch vlak in de watervoerende diepere zandpakketten.

Doch ook zonder deze beide zuiver wetenschappelijke bepalingen zijn er aanwijzingen te over, dat, althans in eenige deelen van dit gebied, een belangrijke kwel moet bestaan.

Bij de grondgebruikers is zulks, naar uit ingewonnen informaties bleek, uiteraard een feit van algemeene bekendheid. Over droogte wordt weinig geklaagd en het valt op dat het grasdek, ook op de perceelen welke vrij hoog liggen t.o.v. het zichtbare beekniveau, zelfs in uitzonderlijk droge tijden een frisch aanzien behouden.

Op enkele plaatsen tusschen Harderwijk en Elburg treft men voorts een verschijnsel aan dat door Vink herhaaldelijk in sterk kwellende zones van de Alblasserwaard is gevonden. Het betreft hier drassige plekken van verscheidenen meters afmetingen welke meestal langs slootkanten en een enkele maal midden in een weer of kavel worden aangetroffen. Nader onderzoek leerde, dat zulks toe te schrijven is aan vrij sterke kwel op plaatsen waar de afsluitende lagen zeer dun waren of ontbraken. Soms is de kwel zoo sterk, dat grondddeeltjes werden meegevoerd en de sloot dichtslibt. Veelal tracht men de drassigheid

---

[1]) Als de bron zout is, staat hij te laag, dus dan zou het verschil nog groeter moeten zijn. Overdruk kan dus nooit worden toegeschreven aan zout diep water.

tegen te gaan door het graven van een afzonderlijk afwateringsgreppeltje. Het water hierin ziet er soms uit alsof er olie of benzine op gemorst is; dit wordt veroorzaakt door een dun irisseerend vlieszje ontstaan door omzetting van de in het grondwater aanwezige ijzerverbindingen. (lit.13).

Deze "zinkwallen" of "kwelzebben" komen ook voor in het kwelgebied der Veluwe-kuststrook; de populaire benaming hiervoor is "rotwal".

Merkwaardig is, dat men deze niet alleen in het eigenlijke weilandgebied vindt, maar zelfs daar waar de beek kronkelend een weg zoekt door de veel hoogere strandreep. Bij een bezoek tijdens de droge periode van medio Maart 1943 werden zinkwallen gevonden bij de monding van de Pangelerse beek en de Andhuizer beek. Bij de laatste was de situatie ongeveer als volgt: (fig. 12)

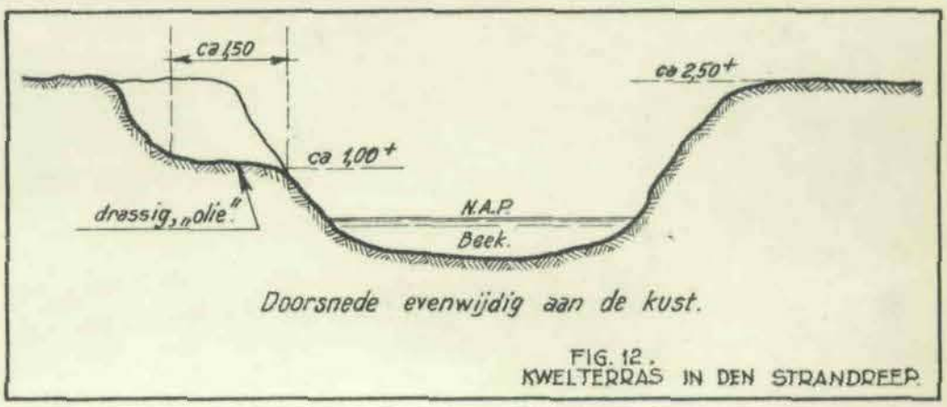


FIG. 12.
KWELTERRAS IN DEN STRANDREEP.

De hoogte van het "kwelterras" sluit goed aan bij de gemiddelde potentiaal van het diepe grondwater aan de kust. Hierbij sluit ook aan de merkwaardige mededeeling van een zegsman bij de kust: Het diepere grondwater onder den beekbodem belangrijk boven het beekniveau zou opstijgen!

Op plaatsen waar de strandreep minder duidelijk ontwikkeld is en het land onmiddellijk langs het strand lager dan elders ligt, zooals nabij de Pangelerse beek, viel dit, evenzeer bij een bezoek tijdens genoemde droge periode, op door drassigheid, voorkomen van waterplanten en een sterke afzetting van roestbruine vlekken op de grond. Waar bedoelde perceelen toch nog vrij hoog boven het IJsselmeerpeil liggen, (ca 1 m) kan dit uitsluitend aan kwel worden toegeschreven.

Bijzonder sprekend zijn de kwelverschijnselen in het stroomgebied van de Bijsselsche beek, doch het zou te ver voeren hier nader op in te gaan. Qualitatief redeneerend zijn deze moeilijk te verklaren zonder het aannemen van een belangrijke opkwelling en hierin schuilt hun beteekenis voor de hydrologische gesteldheid van het aangrenzende IJsselmeer-deel.

Eindelijk kunnen nog als bewijzen van kwel in het gebied tusschen Harderwijk en Elburg, aangehaald worden nortenbuizen waarin het grondwater vanzelf boven het maaiveld steeg [1]) en het voorkomen van enkele ook in droge tijden zeer vochtige plekken in den grindweg van Nunspeet naar de Bijsselsche beek ongeveer 1500 m uit de kust.

Bij een vergelijking van de stijghoogtebepalingen van het diepere water in de kuststrook met de ligging van maaiveld en phreatisch vlak komt men tenslotte tot het volgende:

Het aantal punten in het kwelgebied langs de kust waar stijghoogtebepalingen beschikbaar zijn (vnl. waterputten) is betrekkelijk gering. Bovendien liggen deze meestal bij bewoonde plaatsen, dus op hoogere streken. Het betreft de volgende:

---

[1]) Deze mededeeling kon dezerzijds niet gecontroleerd worden.

STIJGHOOGTEN IN HET KUSTGEBIED VAN DE VELUWE. Tabel 12.

No. in bijlage III	Plaats, put of boring	Waarnemingsperiode 1927	1928	diepte put of filter t.o.v. N.A.P.	maaiveld	gem. stijghoogte
1	Brandput in Hattemerbroek	3-10	18-8	6.10-	+ 3.15	+ 1.34
2	Brandput in Wezep	3-10	18-8	7.10-	+ 3.30	+ 2.29
3	" " kom Oldebroek	3-10	18-8	7.30-	+ 2.70	+ 1.63
4	idem	3-10	18-8	7.00-	+ 2.50	+ 1.60
5	Brandput in Oosterwolde	27-7	16-7	17.45-	+ 2.55	+ 0.99
6	" bij begraafplaats Doornspijk	27-7	16-7	1.00-	+ 2.00	+ 1.54
7	N_2	Juni'42	Juli '43	17.44-	+ 1.96	+ 0.85
8	N_1	"	"	23.52-	+ 1.46	+ 1.57
9	N_2	"	"	23.75-	+ 0.74	+ 0.68
10	N_1	"	"	17.44-	+ 3.14	+ 1.96

De plaats der tien punten is in rood aangegeven op bijlage III.
Op al deze plaatsen stijgt het diepe grondwater niet boven het maaiveld; een vergelijking van de waarschijnlijke isohypsen afgeleid uit de gemeten stijghoogten met de topografische gesteldheid van bijlage III toont echter bepaalde strooken waar het maaiveld en dus zeker het oppervlaktewater angetwijfeld benedem de diepwaterpotentiaal ligt. In het bijzonder werden gemeend:

LAAGSTE STROOKEN NOORDELIJKE VELUWE-RAND. Tabel 13.

Plaats	N.V.
Terrein nabij monding Kierdensche beek	0.8 + NAP
" " " Killebeek	1.1 "
" " " Bijsselsche beek (Pol)	1.1 "
" " " Pangelerabeek	1.1 "
Heresterweg (S.W. van Doornspijk)	0.9 "
Het Goor, S.W. van Elburg (monging Goorbeek)	0.9 "
Polder onmiddellijk S van Elburg	0.4 "
Broeklanden ten S.S. van Elburg	1.4 "

Vergelijking van beide laatste tabellen leidt tot de conclusie, dat ook de stijghoogtebepalingen het optreden van kwel zeer waarschijnlijk maken.

Is in het voorgaande hoofdzakelijk over de kuststreek tusschen Elburg en Harderwijk gesproken als kwelgebied, het is wel zeker dat kwel optreedt in alle aan Veluwe of Gooi grenzende lagere terreinen.
Verschijnselen die hierop duiden vindt men b.v., zij het in minder imposante vorm dan in genoemde kuststreek, tusschen Harderwijk en Hulde langs een deel van den bovenstroomschen loop van de Kierdensche beek (landschapstype Q, fig. 1 aanhangsel D).
Evenzoo in de lage z.g. Broeklanden ten Oosten van Elburg.
Zijvallen verder op in de Geldersche Vallei en in het stroomgebied der Barneveldsche en Lunterensche bekken.
Omtrent kwelverschijnselen in het Gooi-gebied - afgezien van de bijzondere hydrologie van de diepe polders aan de westelijke zijde (Horstermeer en Eemhuns) - is deszelfs minder bekend. Bij een bezoek midden Maart 1943 werden ook aan de Oostelijke zijde (Meentgronden,

polders om Bemmel) enkele verschijnselen van dien aard opgemerkt.

In verband met het vraagstuk of ook in den huidigen toestand nog infiltratiewater van het Gooi het IJsselmeer bereikt behalve in de onmiddellijke omgeving van Huizen (VIII 4), lijkt het gewenscht een onderzoek naar kwelverschijnselen aan de oostelijke helling van het Gooi in te stellen tijdens een licht vorstperiode wolke, maar de ervaringen van dr. T. Vink, hiervoor bij uitstek geschikt is.

VI 5 ONTWERP VAN EEN ALGEMEEN BEELD DER GRONDWATERSTROOMING.

De bijzondere geologische gesteldheid brengt met zich mede - zooals nog nader zal blijken - dat men voor een goed inzicht in het algemeen beeld der grondstroming de drie gebieden: Veluwe, Gelderschе vallei en Gooi, tezamen moet beschouwen. Dit beteekent dat de verkregen isohypsen-lijnen moeten worden aaneengevoegd. De vraag rijst daarbij of - gezien de heterogeniteit van het materiaal - een dergelijke aansluiting geoorloofd is.

Het antwoord hierop is afhankelijk van de doelstelling, zooals in den aanhef van dit hoofdstuk reeds is aangeduid. Wil men de isohypsen gebruiken om daarmede punt voor punt de sterkte en richting van den grondwaterstroom te bepalen - gesteld althans dat men een voldoend dicht net waarnemingspunten heeft - dan moeten simultane peilingen over langeren tijd beschikbaar zijn. Stelt men zich ten doel begrenzingen van stroomgebieden te vinden - dus het algemeene beeld der grondwaterstroming - dan kan met waarnemingsmateriaal van mindere kwaliteit worden volstaan. Dit zij dan ook voor het volgende voorgesteld: alleen ter aanvulling van andere gegevens of ter onderlinge vergelijking van stroomgebieden wordt de sterkte van den grondwaterstroom uit het isohypsenbeeld afgeleid. Het meer wijde net waarnemingspunten noopt hier overigens vanzelf toe.

Tegen een samenvoeging gegrond op de tweede doelstelling bestaat te minder bezwaar, omdat in een tweetal gebieden, waarvoor gegevens van verschillenden datum beschikbaar zijn, deze elkaar practisch blijken te dekken. Het betreft het Gooi (waarnemingsseizoen 1891 en waarnemingen op 24 en 25 November 1941) en de westelijke helling van de Veluwe (waarnemingen op enkele dagen in April en Mei 1934 en die in de jaren 1927 en 1928; vergelijk bijlagen XI en XII).

Op grond van bovenstaande overwegingen is dan het isohypsenbeeld in bijlage XVI geteekend, weergevende de grondwaterstanden in het geheele gebied tusschen Utrecht en Putten. Voor het Gooi zijn de isohypsen gebruikt opgesteld door Van Leening, als gegrond op de meeste waarnemingspunten; voor de Gelderschе vallei de stijghoogten uit het "Rapport plannen-Kuipers" (bijlage XI); voor de Veluwe die uit het rapport Van Dissel c.s. (bijlage XIII).

Alleen op één gebied stuit men bij de aansluiting op moeilijkheden. Het betreft het uit velerlei oogpunt zoo merkwaardige terrein tusschen Putten en Spakenburg. In de reeds eerder besproken bijlage, die hierop betrekking heeft, zijn afzonderlijk aangegeven de meetpunten van de commissie Van Dissel met de gemiddelde door haar gemeten stijghoogten en de stijghoogten gevonden op 8 - 15 December 1903 zooals deze in het "rapport plannen Kuipers" zijn vermeld. Hoewel in het algemeen de potentialen in dit gebied van punt tot punt een vrij onregelmatig verloop vertoonen, is er toch een bepaalde tegenspraak tusschen beide gegevens: die van 1903 toonen duidelijk grootere stijghoogten, ook al neemt men in aanmerking dat de gegevens van 1903 slechts losse waarnemingen betreffen, die van 1927-1928 gemiddelden van reeksen. (8 - 15 December 1903 is geen stormvloed). Dat deze daling niet het gevolg kan zijn van een algemeene daling van den grondwaterstand onder de Veluwe, is reeds betoogd. Voor de hand ligt de verklaring te zoeken in de groote toename van het aantal nortenputten sinds 1903, waardoor een perforatie is ontstaan van de machtige kleilagen in dit gebied. Een nader onderzoek vnl. van het aantal niet-intermitteerende putten en het verzamelen van inlichtingen op grootere schaal, kan de juistheid dezer hypothese bewijzen.

Voor de samenstelling van het isohypsenbeeld moeten uiteraard de jongste gegevens worden aangehouden. Derhalve wijkt het aspect der isohypsen tusschen Putten en Spakenburg af van dat, aangegeven op de facsimile van de kaart bij het rapport plannen-Kuipers.

Bij de constructie der "definitieve" isohypsen in bijlage XVI zijn eerst de lijnen van 2.50 + en 3.00 + geteekend. Deze kunnen vrij zeker worden bepaald, daar in de opgeving van Nijkerk en Putten veel stijghoogten tusschen deze waarden liggen. Vervolgens is overwogen dat het verschil tusschen den toestand van 1903 en 1928 naar het Westen toe geleidelijk kleiner wordt, om bij het Gooi practisch te verdwijnen. Dit geldt ook in zuidwaartsche richting: bij Nulde is het verschil nog 2 à 3 m, bij Nijkerk slechts 1 m. Nog verder zuidwaarts bij Barneveld kloppen de waarnemingen van 1903 geheel met die van 1928. Uit een en ander kunnen de isohypsen in den huidigen toestand met vrij groote zekerheid worden afgeleid. Vanzelfsprekend berust het tracé onder den IJsselmeerbodem niet op waarnemingen. Uit de kaart bij het rapport Plannen-Kuipers blijkt echter wel dat zij inderdaad onder het IJsselmeer moeten worden doorgetrokken.

In het isohypsenbeeld van bijlage XVI is nu allereerst de begrenzing geconstrueerd van het terrein, vanwaar uit in het algemeen afstrooming op het IJsselmeer plaats vindt. Deze begrenzing, aangegeven door A, B, C, D, E, F, G, H staat overal loodrecht op de isohypsen. Hetgeen buiten dit gebied valt is voor de onderhavige studie van geen belang.

Binnen dit gebied zijn een aantal stroomgebieden geteekend genummerd I t/m X. Elk dezer zal afzonderlijk besproken worden, sommige die voor het IJsselmeer van minder belang zijn, slechts summier. De stroomgebieden I, II, III, en IV zijn beschreven in hoofdstuk VIII paragraaf 2, X en XI in VIII_4, de overige in VIII_3.

Bij de vaststelling is aangenomen dat in het zuidelijk deel van de Veluwe de top van den grondwaterheuvel ligt. In dit punt komen de stroomgebieden van de Veluwe samen. Vanzelfsprekend is dit meer van theoretisch belang: op de grootte van de stroomgebieden heeft het weinig invloed. Er is zooveel mogelijk getracht terreinen met overeenkomstige hydrologische gesteldheid tot één gebied te vereenigen, zooals in hoofdstuk VIII nog nader zal blijken. Een vergelijking met de in II_4 genoemde "landschapstypen" doet zien, dat beide indeelingen in hoofdtrekken tot dezelfde onderscheiding voeren. Aan het slot van hoofdstuk VIII wordt hierop nog nader teruggekomen.

HOOFDSTUK VII.

KWELVERSCHIJNSELEN IN HET IJSSELMEER.

VII 1 ALGEMEEN.

In het voorgaande zijn reeds velerlei aanwijzingen verkregen, dat een grooter of kleiner deel van het van de Veluwe afstroomende grondwater het IJsselmeer bereikt om daar door de afdekkende lagen heen op te kwellen. Deze opkwelling is uiteraard moeilijk vast te stellen. Wel bewijzen de in VI_3 besproken stijghoogten in de boringen H_3 en E_1 ondubbelzinnig dat zij aanwezig moet zijn, maar voor de grootte ervan zijn met de gebruikelijke hydrologische methoden geen aanknoopingspunten te vinden. In dit hoofdstuk zal getracht worden uit de zoutgehalten van het grondwater in het betreffende gebied de grootte dezer kwelsnelheden te bepalen.

Dat het water van een aan een zee of meer grenzend hoog gelegen infiltratiegebied daar ook in opkwelt was ook vroeger, toen van het doen van waarnemingen als bovenbedoeld nog geen spraake was, reeds bekend. Ook de bewoners van het kustgebied der Veluwe zijn hiermede vermoedelijk steeds op de hoogte geweest. Hoewel van weinig waarde voor de exacte behandeling van het probleem, zijn deze mededeelingen als curiositeit van voldoende belang om hier te worden vermeld.

Zoo wordt in een brief van Nicolaas Witsen aan Gijsbert Kuper gedagteekend 18 Augustus 1709 de volgende passage aangetroffen: "Men bespeurt mede, dat bij zeer laag water omtrent het eiland Wieringen zoet water uit den grond ontspringt, hetgeen gewisselijk uit de onderaardsche kanalen...." P. Harting aan wiens boek "Het eiland Urk, zijn bodem voortbrengselen en bewoners" (1853) dit citaat ontleend is voegt eraan toe dat deze brief "voorkomt onder de nagelaten papieren van wijlen Mr. Jac. Scheltema, thans berustende bij zijnen neef, den Hoogleeraar C.A. Bergsma".

Volgens een boer wiens land ligt bij de Sipelbeek kwam daar vroeger in zee een spreng voor, zóó sterk, dat het water ook bij strengen vorst niet bevroor en in het was het opwellen duidelijk waar te nemen was.

Ook al klinkt deze mededeeling weinig geloofwaardig, toch is de opkwelling van Veluwe-water in het IJsselmeer een feit van algemeene bekendheid. Daarmede hangt ook samen de geuite vrees van omwonende grondgebruikers voor de gevolgen van de peilsverlaging bij het maken van den Zuid Oostelijken polder zooals blijkt uit de adressen, welke door de Veluwebewoners reeds vroegtijdig zijn ingediend (lit.16)

Bij de plannen tot inpoldering van Zuiderzeegronden is op de waterbeweging van Veluwe naar Zuiderzee het eerst de aandacht gevestigd door den civiel ingenieur J.P. Havelaar in 1875, die mededeelt, dat hij bij het verrichten van boringen in de Zuiderzee nabij de Veluwekust in boorbuizen, welke tot in het zand gedreven waren geen verschijnselen heeft waargenomen, die een sterke door-

kwelling deden vermoeden. In het verslag van 25 September 1875 wordt dan ook deze overtuiging uitgesproken: "Men zal voor den eventueel te scheppen polder weinig vrees behoeven te koesteren voor doorkwelling van het water uit de Veluwsche heuvels, mits men de zandige oevers buitensluit en de klei laag niet doorsnijdt" (lit 10).

De Staatscommissie benoemd bij Koninklijk Besluit van 8 September 1892, no. 21, welke zich beroept op de boringen van Havelaar, beschouwt het tenslotte als een punt van nadere overweging of tusschen Nulde en Elburg een boezemmeer moet worden ontworpen. Evenals Havelaar ziet zij niet zoozeer schadelijke gevolgen van de inpoldering voor de Veluwe als wel mogelijke groote kwel in de ontworpen polders zelf.

Het zou ver buiten het bestek dezer studie voeren na te gaan hoe bij de verschillende plannen tot droogmaking van de zuidelijke polders rekening gehouden is met den eigenaardigen hydrologischen toestand van het Veluweterrein. Uit bovengenoemde aanhalingen blijkt evenwel, dat men zich steeds bewust is geweest van den nauwen samenhang tusschen de hydrologie van de Veluwe en het aangrenzende deel der Zuiderzee.

Bij de oudere plannen ontbrak het echter aan quantitatieve gegevens. Eerst toen in bestaande polders het kwelverschijnsel nader was onderzocht, toen de voorgenomen drooglegging van Wieringermeer, en Noordoostpolder aanleiding waren tot diepgaande geohydrologische studies van die gebieden, werd het vraagstuk betreffende den invloed van waterstaatkundig ingrijpen langs de oevers van Veluwe en Gooi, ook in quantitatieven zin nader in oogenschouw genomen. Daarbij moest voor de bepaling van den weerstand der af te sluitende lagen in verschillende punten worden afgegaan op een vergelijking van boorgegevens met de gesteldheid in naburige terreinen. -1)

In het onderstaande zal een methode worden ontwikkeld om bij den toestand vóór de inpoldering de kwelsnelheid in het IJsselmeer punt voor punt te bepalen. Hieruit kunnen vrij gedetailleerde conclusies worden getrokken aangaande den geo-technischenbouw, waarmede een verdere stap is gedaan in de richting van het einddoel: het vormen van een betrouwbaren grondslag, waarop de hydrologische uitwerking van de inpolderingen moet berusten.

Deze methode is uitvoerig behandeld in een studie, neergelegd in het archief van den Waterloopkundigen Dienst der Zuiderzeewerken, getiteld:" Voorlopige resultaten en conclusies van een onderzoek naar den invloed van grondwaterstroomen op de chloorgehalten van het grondwater in de IJsselmeerkom". (lit. 34).

1) Het resultaat van deze studies, waarbij een aan den veiligen kant gehouden voorspelling van het kwelbezwaar in de zuidelijke polders en van den invloed op de Veluwe hoofddoel was, waarbij is neergelegd in enkele interne niet voor publicatie bestemde nota's van den Waterloopkundigen Dienst der Zuiderzeewerken (Kwel- en chloorbezwaar in de toekomstige IJsselmeerpolders, April 1934; Hoeveelheid en zoutgehalte van de kwel in de zuidelijke polders, najaar 1938) en instelling 8 van de dissertatie van dr. ir. J.P. Mazure ("De berekening van getijden en stormvloeden op beneden rivieren"), 1937.

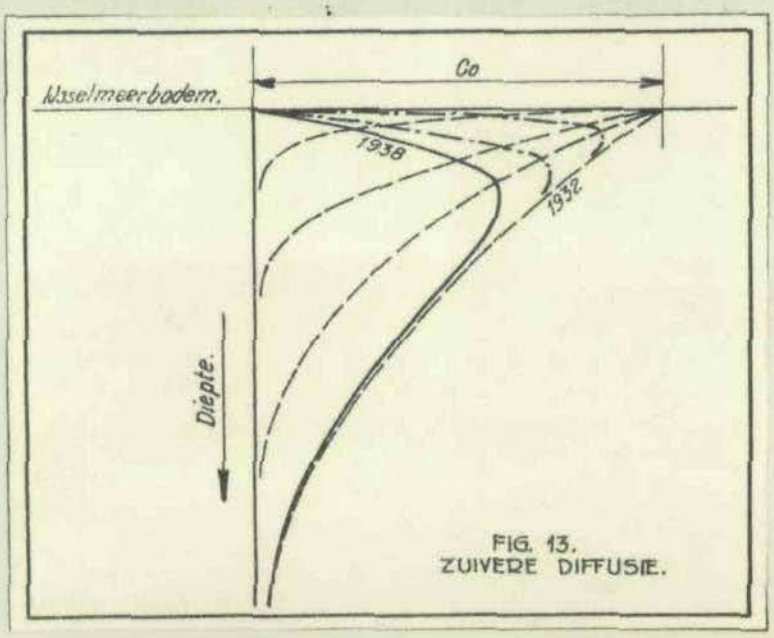


FIG. 13.
ZUIVERE DIFFUSIE.

Zooals de titel reeds aangeeft, berust deze methode in beginsel hierop, dat het chloorgehalte van het grondwater beïnvloed wordt door kwelverschijnselen. Daarnaast is de hydrografische geschiedenis van het boven den bodem staande water van invloed, die in de van belang zijnde perioden voor de Zuiderzee neerkomt op een aanvankelijk zoete periode (meer Flevo en daaraan voorafgegane landperiode) gevolgd door een vrij langdurige zoute periode (Zuiderzee van de vroege Middeleeuwen af), welke op zijn beurt sinds 1932 door het practische zoete IJsselmeer is vervangen. Deze drie perioden teekenen zich onder invloed van de diffusie duidelijk af in het chloorgehalte van het grondwater tot enkele meters diepte.

Op de plaatsen nu waar sedert lang vóór deze hydrografische perioden een zoete opwaartsche kwel van Gooi- of Veluwewater is opgetreden, is het beeld der chloorgehaltecijfers over de diepte geheel anders; hier is n.l. een belemmering geweest tegen het binnendringen door diffusie van het Zuiderzeewater. De mate nu waarin de chloorgehalten van het grondwater lager zijn dan elders is een indicator voor het optreden van kwel. In de volgende paragraaf zullen enkele voor het volgende van belang zijnde punten dezer methode beknopt naar voren worden gebracht.

VII 2 BEPALING DER OPTREDENDE KWELSNELHEDEN.

Eenige malen is reeds ter sprake gekomen het net van boringen, uitgevoerd in 1938 in de kom van het IJsselmeer, gerangschikt volgens vierkanten met zijden van 2½ km. Waar in elk dezer boringen, die over het algemeen tot het Laagterras reiken, het chloorgehalte van het grondwater op verschillende diepten is bepaald, kunnen zij dienen ter vaststelling van de in elk punt optredende kwelsnelheid. Daartoe is elk gemeten verloop vergeleken met een standaardgeval, waarin onder aanname van kwelsnelheden van resp. 0,005, 0,01, 0,02, 0,04 en 0,06 m/jaar is berekend welk verloop van het chloorgehalte in 1938 - dus eenige jaren na het tot stand komen van de afsluiting - verwacht kon worden. Door na te gaan met welk sandaardgeval de gemeten kromme het best overeenstemde, kon de in een bepaald punt optredende kwelsnelheid worden bepaald.

De standaardgevallen zijn als volgt berekend.

Bij de vorming van de Zuiderzee in de vroege Middeleeuwen kwam boven den tot op vrij groote diepte zoete bodem, zeewater te staan met een chloorgehalte c_0. Door het diffusie verschijnsel diffundeerden de chloorionen in het grondwater waardoor dit geleidelijk verziltte. De diffusie-wet maakt het mogelijk - onder aanname van de hierin optredende coëfficient - dit doordringen mathematisch te beschrijven. Het resultaat is, dat in het begin der XXste eeuw het zout op een diepte van 10 m nog nauwelijks was doorgedrongen. De verzilting werd in 1932 onderbroken door de vorming van het zoete IJsselmeer. Ook toen bleef de diffusie doorgaan, zij bewerkte nu het omgekeerde effect: de bovenste lagen werden weer zoet. In fig. 13 is de verzilting voorgesteld op verschillende tijdstippen ( ), de ontzilting van de bovenste lagen ( ) en, volgetrokken het verloop van het chloorgehalte, zooals dat in 1938 verwacht kon worden 1).

1) Deze en de volgende figuren zijn uitsluitend schematisch, voor quantitatieve gegevens zie lit. 34.

Inderdaad werd dit verloop aangetroffen op die plaatsen in de IJsselmeerkom waar, wegens de groote afstand tot het land, geen kwelverschijnselen het proces hebben kunnen beïnvloeden.

Op die plaatsen waar dit wel het geval was, zooals langs de kusten van Veluwe en Gooi, is een ander verloop te verwachten. Door de zoete opwaartsche kwel is de verzilting na de vorming van de Zuiderzee tegengewerkt, terwijl de zeer recente ontzilting erdoor werd bevorderd. In het algemeen kunnen daardoor lagere gehalten verwacht worden dan op plaatsen waar slechts zuivere diffusie is opgetreden. In fig 14 is het verloop van het chloorgehalte voor diverse kwelsnelheden voorgesteld.

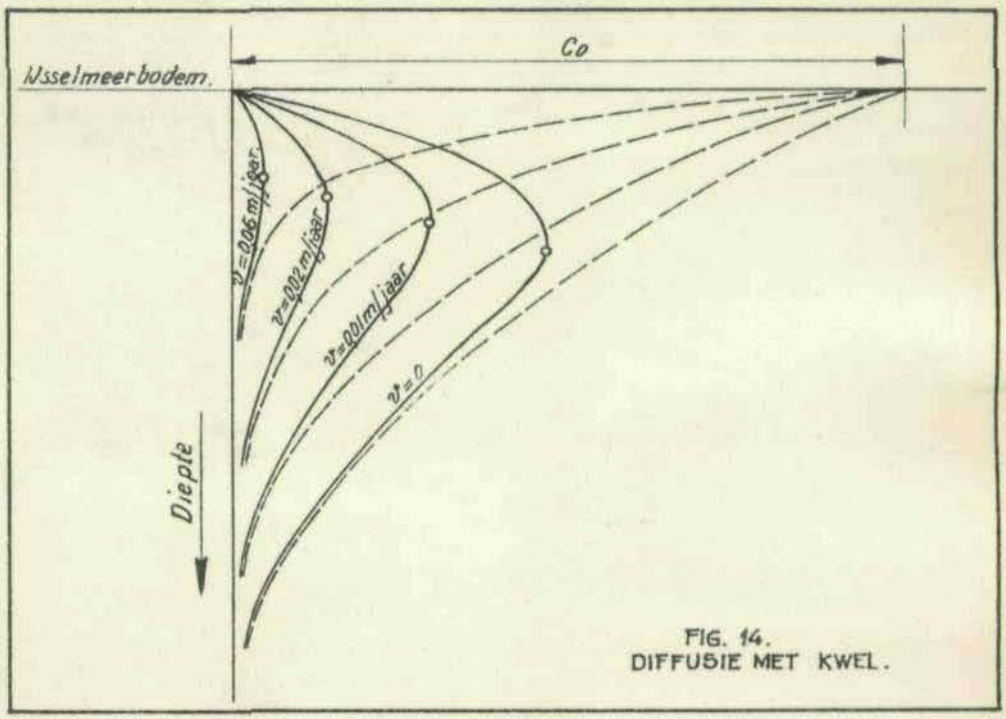


FIG. 14.
DIFFUSIE MET KWEL.

Het maximum-chloorgehalte in den bodem aanwezig vormt een maatstaf voor de opgetreden kwel.

Uit de wijze waarop het in het grondwater aanwezige zout is ontstaan, volgt dat de uit het verloop der chloorgehalten afgeleide kwelsnelheden betrekking hebben op den gemiddelden toestand sedert de vroege Middeleeuwen tot het tijdstip van bemonstering. Indien deze snelheid b.v. in de laatste 50 jaar is veranderd, beïnvloedt dit het chloorgehalte onbeteekenend, zoodat de afgeleide kwelsnelheid geldt voor den toestand vóór deze verandering.

Bij relatief hooge kwelsnelheden (bedoeld wordt 0,05 à 0,07 $\frac{m}{jaar}$) wordt het maximum-gehalte zóó klein, dat het van dezelfde orde is als storende invloeden , meetfouten en derg. De bepaling van de snelheid wordt dan onzeker, zoodat bovengenoemde waarden de bovenste grens vormt van het "meetbereik". De onderste grens ligt bij ca 0,005 $\frac{m}{jaar}$; bij nog lagere kwelsnelheden gaat de onzekerheid in de diffusie-coëfficiënt een belangrijke rol spelen.

Een bijzondere moeilijkheid vormt nog het feit dat niet het maximum-gehalte absoluut genomen van belang is, maar de verhouding tot het chloorgehalte Co van het water dat er eeuwen boven heeft gestaan. Wel zij hier velerlei gegevens over aanwezig, maar het kan niet ontkend worden dat hierin een bepaalde onzekerheidsmarge schuilt. Voor de "hooge" kwelsnelheden van 0,06 - 0,02 $\frac{m}{jaar}$ heeft

dit weinig beteekenis doch bij kwelsnelheden van 0,01 en 0,005 $\frac{m}{jaar}$, welke op grootere afstand uit de kust optreden en aangeven hoever door de afsluitende werking der holocene lagen de kwel zich verspreidt, kan een eenigszins andere c_0-waarde de eindconclusies belangrijk beïnvloeden.

Van belang is nu dat - mits de boringen voldoende diep reiken en dat is op grootere afstand uit de kust algemeen het geval - men nog aanvullende criteria voor de kwelsnelheden kan vinden, onafhankelijk van de c_0-waarde, en wel:

1. de verhouding tusschen de gehalten op twee diepten, b.v. 3 en 6 m, dus beneden de invloedsgrens der IJsselmeerontzilting, d.w.z. de helling van de kromme beneden het maximum;
2. de diepte d_m waarop het maximum gehalte voorkomt (fig 15). Deze diepte neemt namelijk toe bij afnemende kwelsnelheid.

Het eerste criterium is het scherpst; noodzakelijk hiervoor is dat de boring dieper is dan 6 m.

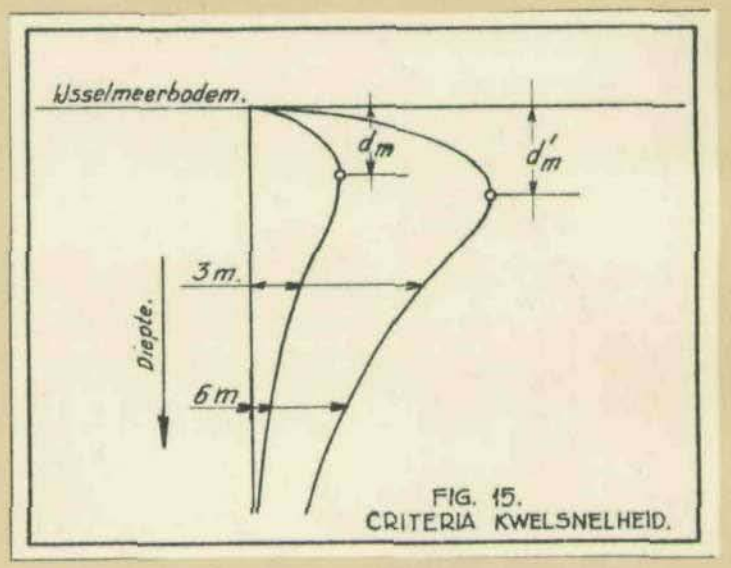


FIG. 15.
CRITERIA KWELSNELHEID.

De kwelsnelheden bepaald uit de verhouding van maximum-gehalte en c_0-waarde zijn nu gecontroleerd met beide criteria, waarbij over het geheel gezien een bevestiging werd gevonden van de resultaten. Voorzoover plaatselijke afwijkingen optreden, zal dit afzonderlijk worden vermeld.

Opmerking.

Voor het geval van zuivere diffusie van zout in grondwater, dus zonder opwaartsche of neerwaartsche kwel, geldt de vergelijking:

$$x \qquad \frac{\partial c}{\partial t} = k \frac{\partial^2 c}{\partial h^2}$$

Hierin is:

- c = concentratie der ionen;
- t = tijd;
- h = diepte vanaf den bodem, naar beneden positief gerekend;
- q = diffundeerende hoeveelheid zout per eenheid van oppervlak en eenheid van tijd (een opwaartsche stroom wordt positief gerekend);
- k = diffusie coëfficiënt (dimensie $\frac{[L^2]}{[T]}$)

Voor de coëfficiënt is aangehouden op grond van waarnemingen van uiteenloopenden aard, bij de diverse berekeningen dezer studie, een waarde van 0,4 $\frac{cm^2}{etm}$ = 0,01461 $\frac{m^2}{jaar}$.

Een belangrijk punt is, dat de diffusie-coëfficiënt - in tegenstelling tot de doorlatendheidscoëfficiënt - onafhankelijk is van de grondsoort. Het gaat n.l. niet om een beweging van het grondwater zelf, doch van de ionen in het grondwater, waarbij van belang is de lengte van den weg tusschen de korrels en niet de korrelgrootte.

VII 3 GRONDWATERBEWEGING ONDER HET IJSSELMEER.

Na de uiteenzettingen der vorige paragraaf, waarin aangegeven is hoe voor elk punt van het vierkantennet de kwelsnelheid kan worden berekend, is het nu mogelijk zich een vrij volledig beeld te vormen van de grondwaterbeweging onder het IJsselmeer.

Men beschouwe daartoe bijlage XVI.

Hierin valt onmiddellijk op, dat zich twee gebieden in het IJsselmeer afteekenen waar een belangrijke opkwelling bestaat. Deze hangen duidelijk samen met Veluwe en Gooi. Nabij de kust zijn de snelheden grooter dan de grootste die op deze wijze kunnen worden aangetoond. Zij nemen meerwaarts sterk af, doch op vrij grooten afstand van de kustlijn is nog opkwelling merkbaar.

Terwijl beide kwelgebieden op groote afstand van de kust in elkaar overgaan, wordt de aandacht getrokken door een vrij groot oppervlak onmiddellijk benoorden de Geldersche vallei, waar practisch geen opkwelling schijnt te bestaan. Des te meer valt dit op omdat ten oosten van dit oppervlak, tusschen Nulde en Harderwijk een smalle strook ligt, met betrekkelijk hooge kwelsnelheden. Vergeleken met het beeld tusschen Harderwijk en Elburg treedt in deze strook de uit de Veluwe afkomstige kwel slechts over een kleine lengte op!

Inminder sterke mate treft men ditzelfde verschijnsel aan bewesten het "nulgebied" dus als gevolg van de uit het Gooi afkomstige kwel. Het maakt de indruk alsof deze, zowel in het Westen als in het Oosten in zijn uitbreiding belemmerd wordt, waardoor de uitlooper van de 0,01 m/jaar -lijn ontstaat.

Een zeer regelmatig beeld daarentegen vindt men tusschen Harderwijk en Elburg: de lijnen van gelijke kwelsnelheid loopen hier bij benadering evenwijdig aan de kust.

Ten Westen van dit gebied en ten Noorden van het nulgebied blijkt - juist boven de Knar - over een vrij groote oppervlakte een belangrijker kwel te bestaan dan elders op gelijken afstand uit de kust. Dit komt tot uiting door een zeer geprononceerde uitbuiging van de 0,01 m / jaar-lijn ten Noorden van het "nulgebied" en een dienovereenkomstig verloop van de buitenste grens waar nog opkwelling merkbaar is. Het is dit eigenaardige kwelgebied dat - om het nulgebied heen - de invloedssferen van Veluwe en Gooi verbindt.

In het Noorden, voorbij Elburg blijkt de opkwelling nog ver merkbaar te zijn : tot bij den IJsselmond zou deze zich uitstrekken. Hierbij valt weer een uitbuiging in N.W. richting op, die zich manifesteert, zoowel in de lijnen van kleinere, als in die van grootere kwelsnelheid. Of dit reëel is, valt niet met zekerheid uit te maken, daar wegens de nabijheid van de IJsselmonding de onzekerheid in de c_o-waarden hier groot is. Voorzoover met de andere criteria (chloorgehalten op 4m of 6m diepte en verhouding dezer beide) is na te gaan, lijkt het wel zeker dat het kwelgebied ver Noordwaarts reikt: de juiste vorm der lijnen van gelijke kwelsnelheid is echter moeilijk te bepalen.

Men hoede zich ervoor, de geteekende lijnen van gelijke opkwelsnelheid in onmiddellijk verband te brengen met stroomlijnen en acquipotentiaallijnen. De opkwelsnelheid is immers het quotient van overdruk en weerstand en deze laatste grootheid is - over groote oppervlakten beschouwd - niet overal dezelfde *)

*) Ware dit wel het geval, dan zou men ook de stroombanen van de grondwaterbeweging onder den IJsselmeerbodem kunnen bepalen, waarmede dan b.v. de oorsprong van het benoorden het nulgebied opkwellende water ware vast te stellen. Een oppervlakkige beschouwing wekt den indruk alsof dit uit de onmiddellijke omgeving van Harderwijk afkomstig zou zijn.

Eerst na bepalingen der weerstanden kan men den overdruk in ieder punt vinden en daarmede de acquipotentiaallijnen en dus ook de stroomrichting.

Alleen voor het gebied tusschen Harderwijk en Elburg lijkt de situatie vrij eenvoudig. De lijnen van gelijke opkwelsnelheid loopen hier - zooals gezegd - gemiddeld evenwijdig aan de kust en daar het zelfde geldt voor de relatieve weerstandscijfers, staat de bewegingsrichting van het grondwater hier overal loodrecht op de kust. Dit is in overeenstemming met het algemeene aspect - hydrologisch en geologisch - van het aangrenzende deel van de Veluwe. De opkwelweerstand is blijkbaar gelijkmatig langs de kust verdeeld.

Bij de bespreking van den waterstaatkundigen toestand is reeds geduid op de mogelijkheid, dat men in het uiterste Westen van het randgebied tegenover de diepe polders in Utrecht en Noord Holland, juist hetzelfde overgestelde zou vinden van de bovenbeschreven verschijnselen langs Veluwe en Gooi: hier een opkwellen van geïnfiltreerd water, ginds een inzijgen van water uit Zuiderzee of IJsselmeer. Een studie van de chloorgehalten van het grond water in een wijde omgeving van Marken bevestigt dit.

Het is hier niet de plaats daar uitvoerig op in te gaan. Verwezen moge worden naar een hierop betrekkende studie (lit 35), waar eveneens getracht is de waargenomen kwelverschijnselen in verband tebrengen met de hydrologische toestanden van hetland. Deze neerwaartsche kwelbeweging is echter niet zonder belang voor het hierbehandelde probleem. Het blijkt n.l. dat de beide invloedssferen zich zoover uitstrekken, dat zij geleidelijk in elkaar overgaan.

In bijlage XVI is het gebied met neerwaartsche kwel gemarkeerd dorhiervan te geven de lijn waar nog een inzijgsnelheid van 0,005 m/jaar afgeleid kon worden. Lagere snelheden zijn te klein om de verdeeling van het chloorgehalte merkbaar te beinvloeden. Door een streep-stippellijn is ongeveer de grens aangegeven waar de kwelbeweging van richting omkeert.

HOOFDSTUK VIII.

QUANTITATIEVE VASTLEGGING VAN DEN HYDROLOGISCHEN TOESTAND.

VIII 1 ALGEMEEN.

Het belang van quantitatieve gegevens bij de uitwerking van de hydrologische zijde van elk inpolderingsprobleem is in het vorige hoofdstuk reeds naar voren gebracht.

Wanneer dus, aan het slot dezer studie, getracht zal worden de hydrologische toestand volledig in cijfers uit te drukken, moet dit als het voornaamste resultaat worden beschouwd: aan het in II uitgesproken doel der studie, te weten de noodzakelijke gegevens te verzamelen voor vraagstukken op gebied van polderdrooglegging en watervoorziening, is daarmede voldaan. Vorige hoofdstukken dienden feitelijk als inleiding hiertoe.

Beziet men de uiteenzettingen in hun hydrologisch verband dan blijkt, dat de loop van het water van het wegzakken in de infiltratiegebieden af tot het opkwelling in IJsselmeer- kustgebiedn of polderquantitatief kan worden nagegaan. Het is bekend, zij het ook bij benadering, welk deel van den neerslag in den bodem dringt, hoe dit naar de randen afvloeit, welke potentialen hierbij optreden, welk deel van den grondwaterstroom - althans in sommige deelen van het studiegebied - vlak vóór het bereiken van het IJsselmeer in de kuststrook opkwelt en hoe de stijghoogten daarbij zijn; van de opkwelling in het IJsselmeer, waartoe het restant van den grondwaterstroom wordt gebruikt, zijn naast enkele stijghoogtegegevens de kwelsnelheden zelf, punt voor punt, bekend geworden.

Het ligt voor de hand deze cijfers te combineeren en, waar noodig, onderling te vergelijken. Hierbij moet echter worden te werkgegaan met omzichtigheid en onder een voortdurende inachtname van de wijze waarop de gegevens verkregen zijn.

Dit bleek reeds bij het ontwerpen van het in bijlage XVI geteekende isohypsenbeeld van het zuidelijk kustterrein (VI 5). De conclusie was, dat voor het daar gestelde doel (grenzen van stroomgebieden en globaal de intensiteit der grondwaterstrooming) de waarnemingen tusschen 1886 en 1942 tot één geheel konden worden gecombineerd. Zijn deze - evenals de andere gegevens - van recenten datum, een bijzondere plaats wordt in dat opzicht ingenomen door die welke betrekking hebben op de kwelsnelheden in het IJsselmeer. Zooals uit VII 2 moge gebleken zijn, hebben deze betrekking op den gemiddelden toestand sedert de vorming der Zuiderzee en komen dus veranderingen in de laatste decennia - waardoor de tegenwoordige toestand bepaald wordt - daarin niet of onvolledig tot uiting.

Vraagt men welke veranderingen in den hydrologischen toestand de kwelsnelheden in het IJsselmeer kunnen gewijzigd hebben dan doet zich als belangrijkste factor voor de seculaire daling van den grondwaterspiegel op de Veluwe en naburige terreinen. In de literatuur blijkt deze kwestie reeds vroeger de aandacht te hebben getrokken. Zoo komt J.van Baren (lit. 18) tot de conclusie dat de daling van den grondwaterspiegel voor de Veluwe wordt aannemelijk gemaakt door de volgende feiten:

a. de sterke ontwikkeling van stuifzandvormingen;
b. de teruggang van den oorspronk der beken;

c. het verdwijnen van plassen en het kleiner worden in omvang van meren:
d. het optreden van trechtervormige kokers in het brongebied der beken.

Deze zouden erop wijzen dat de Veluwe eens woud- en waterrijker was dan thans, hetgeen ook uit "oorkondenboeken" (Bondam en Lacomblet) zou blijken. Zonder dit bepaald te ontkennen, wijst Moerman erop, in een zeer gedocumenteerde studie (lit. 19), dat bij nader onderzoek aan vele feiten een andere interpretatie moet worden toegekend, waardoor zij vervallen als directe bewijzen voor de daling van den grondwaterspiegel onder de Veluwe.

Bij gebrek aan gegevens kan van een bepaalde stellingname in deze kwestie dezerzijds geen sprake zijn, maar het vermoeden moge worden uitgesproken, dat een daling van den grondwaterstand - indien deze tenminste is opgetreden - vergelegen met de totale verheffing van den grondwaterheuvel t.o.v. de omgeving van minder belang is geweest en een onzekerheid in de eindconclusies medebrengt van dezelfde orde van grootte als uit anderen hoofde voortvloeit en zooals bij ieder hydrologisch onderzoek noodgedwongen moet worden aanvaard. Tot deze conclusie leidt een beschouwing van de twee het grondwater bepalende factoren: de regen en het daarvan als nuttige neerslag optredende deel.

Wat de eerste betreft zijn er vermoedelijk veranderingen op langen termijn geweest, hoewel de waarnemingen niet voldoende ver teruggaan om dit met zekerheid te constateeren. Dat het verschil sedert de vroege Middeleeuwen groot zou zijn is niet waarschijnlijk; uitgesloten zijn belangrijke veranderingen in de laatste twee eeuwen. Andere toestanden vóór dien tijd hebben zich slechts ten deele in de kwelsnelheden en dus in de chloorgehalten van het grond water afgeteekend.

Grooter kan de verandering geweest zijn in het percentage dat als nuttige neerslag aan den grondwatervoorraad ten goede komt. Oorzaak hiervan kunnen veranderingen in den cultuurtoestand zijn: ontbossching, omzetting van natuurlijke terreinen in bouwland, verbetering van de afwatering, verbreking van bankvormingen in den bodem. Het is aan enkele dezer factoren, dat de grondwaterdaling op de Veluwe wordt toegeschreven welke, naar algemeen verbreide meening, zich in het bijzonder de laatste 20 jaar zou hebben doen gevoelen.

De invloed dezer factoren is niet met zekerheid bekend; eenig inzicht leveren de opgaven van de commissie van Dissel voor de verdamping van uiteenlopende Veluweterreinen (bijlage 9 van genoemd rapport).

Aannemende een gemiddelde jaarlijksche neerslag van 730 mm komt zij tot:

Verdamping. Tabel 14.

Grondgebruik	Verdampping m.m. per jaar.	Nuttige neerslag m.m. per jaar.
Gras- en bouwland	425	305
Loofhout	460	270
Dennenbosch	415	315
Hakhout	445	285
Heide	475	255
Water	500	230
Onbegroeid	290	440
Hooge Veluwe	430	300

Hoewel de waarde dezer cijfers niet hoog mag worden aangeslagen (zoo zijn de cijfers voor water en "onbegroeid" van tal van bijkomstige factoren afhankelijk), blijkt er toch wel uit dat voor de verschillende begroeiingen de cijfers betrekkelijk weinig uiteen loopen; neemt men voorts in aanmerking dat groote deelen van de Veluwe in den loop der tijden onveranderd zijn gebleven, dan is de conclusie, dat mogelijkerwijs de nuttige neerslag vroeger 10 à 20 % hooger is geweest. Dit brengt mede, dat het grondwater onder de Hooge Veluwe vroeger eenige meters hooger kan hebben gestaan.

Er is één factor, welke een belangrijke verandering van het grondwaterregime kan veroorzaken, nog niet genoemd, te weten: de wateronttrekking voor drinkwatervoorziening of industriële bedrijven en polderbemaling. Voor de Veluwe is deze factor van weinig belang: de totale onttrekking (aanhangsel E) zal slechts een gering percentage van den nuttigen neerslag blijken. Daarbij komt, dat het droogmaken van diepe polders (Horstermeer, Bethune) den grondwaterstroom daarheen sterk heeft vergroot,

Anders is dit voor het Gooi: uit de publicatie van ir. van Leening blijkt, dat de drinkwateronttrekking daar relatief veel sterker is dan in het noordelijk deel van de Veluwe. Hoewel in den tegenwoordigen toestand evenwicht heerscht en dus geen doorgaande verlaging van den grondwaterstand optreedt, zal het duidelijk zijn, dat de evenwichtstoestand vroeger, dus vóór het ingrijpen van den mensch, geheel anders moet hebben gelegen: de grondwatervoorraad onder het Gooi en dus ook de zijdelingsche afstrooming is toen ongetwijfeld belangrijker geweest.

Dit blijkt ook wanneer men vergelijkt de kwelsnelheden in het IJsselmeer met de isohypsen van Veluwe en Gooi (bijlage XVI). Het is anders onverklaarbaar hoe een zoo weinig beteekenende grondwaterheuvel als die onder het Gooi een zoo uitgebreide invloedssfeer onder het IJsselmeer met betrekkelijk groote kwelsnelheden kan hebben. In dit hoofdstuk zal hieraan nog nadere aandacht worden geschonken.

Bij een vergelijking van kwelsnelheden in het IJsselmeer en stijghoogten in het aangrenzende land moet met nog één hydrografische factor worden rekening gehouden n.l. de achteruitgang van de kust in historische tijden. Vergeleken met andere Zuiderzeeoevers is de afname van de hooge plistocene wal van weinig beteekenis; toch herinneren historische feiten ook hier aan landverlies (Oud-Naarden bij Valkeveen, Hulkestein bij Nijkerk, Hoophuizen aan de Hierdensche beek, Doornspijk en Elburg (1392-1438 verplaatst "omme noetz will der zee op een ander stede".(lit. 15).

De kwelsnelheden die zich in het chloorgehalte van het grondwater hebben afgeteekend worden ten deele door den vroegeren toestand bepaald. Men kan hiermede echter geen rekening houden door een verschuiving van het beeld der kwelsnelheden over een afstand gelijk aan de kustverplaatsing. Nog afgezien van het feit, dat de vroegere toestand slechts gedeeltelijk het grondwater chloorgehalte heeft beïnvloed, dient bedacht te worden, dat de thans verdwenen kuststrook, evenals het restant, vermoedelijk een laaggelegen gebied is geweest waar een belangrijke kwel heeft geheerscht. Vervanging hiervan door de zee heeft maar een beperkte hydrologische invloed.

Zooals in den aanhef dezer paragraaf vermeld, zal in dit hoofdstuk de hydrologische toestand van verschillende gebieden quantitatief worden vastgelegd. Hierbij zal uitsluitend de tegenwoordige toestand (1942) worden nagegaan, als zijnde de belangrijkste voor technische ontwerpen. Gegevens van andere datum zullen worden herleid tot het heden of wel zal er rekening worden gehouden met de beperking in conclusies die het tijdverschil medebrengt.

Als vaste gegevens kunnen worden aanvaard de stijghoogten in het Gooi en aan de noordelijke rand van de Veluwe, alsmede de gegevens omtrent beekafvoeren, alle gegevens van zeer recenten datum. Voor bepaald doel bruikbaar zijn de isohypsen van Gelderscho Vallei en Veluwe, de laatste kunnen met voldoende nauwkeurigheid bij die in het kustgebied worden aangesloten. De meeste reserve moet nog in acht worden genomen ten aanzien van de kwelsnelheden in het IJsselmeer. Langs de Veluwe geven zij den tegenwoordigen toestand a.h.w. op iets vergrootte schaal weer: berekende kwelsnelheden iets grooter da de tegenwoordige en uitbreiding van het kwelgebied eenigszins overdreven. Het is echter niet waarschijnlijk dat dit verschil van practisch belang zou zijn.

Langs het Gooi zijn zij in eerste instantie geheel onbruikbaar en moeten met een geheel anderen hydrologischen toestand in verband worden gebracht.

De studies zullen worden aangevangen met de grondwaterstrooming tusschen Harderwijk en Elburg (stroomgebied III in bijlage XVI). Eenerzijds zijn van dit gebied de meeste gegevens beschikbaar, anderzijds zijn de geometrische begrenzing e en geologische gesteldheid hier het eenvoudigst. Eerst wanneer dit gebied geheel is afgewerkt, worden de andere in oogenschouw genomen. Het voordeel van deze werkwijze is, dat de hydrologische grootheden der andere stroomgebieden, waarbij zich meer moeilijkheden voordoen, gemakkelijk door vergelijking met III kunnen worden gecontroleerd.

VIII. 2. Veluwe.

In deze paragraaf zal de hydrologische toestand besproken worden der stroomgebieden I tot en met IV (bijlage XVI). Zoals boven reeds is aangeduid, kan men hierbij twee verschillende deelen onderscheiden: het infiltratie- en het kwelgebied. In het tweede treedt het grondwater geheel of ten deele aan de oppervlakte. Het is van groot belang de grens tusschen beide d[illegible] te bepalen en voor elk stroomgebied zal hierop afzo[illegible]lijk worden ingegaan.

a. Stroomgebied III.

Voor het stroomgebied III, dat eerst in oogenschouw zal worden genomen, blijkt deze grens gemiddeld c.a. 2000 m uit de kust te kunnen worden aangenomen (aangegeven door - - - -). Daarmede ligt deze ver meerwaarts van de lijn (- . - . -), die de grens van het gebied met zichtbare afwatering aangeeft. Laatstgenoemde, die ongeveer daar verloopt, waar het langs de oppervlakte afvloeiende water door een stelsel greppelslooten en tochten verzameld wordt, is bepaald uit diverse gegevens (Waterstaatskaart, Rapport van Dissel enz). Dat de grens van het kwelgebied hier meerwaarts van is aangenomen, is gegrond op diverse feiten. Het meest sprekende is dat de afvoeren der beken in droge perioden van de monding af sterk afnemen. Zoo was gedurende de periode van midden Maart 1943 de afvoer van een zijtak van de Andhuizerbeek op een plaats ca. 1000 m uit de kust (door F aangegeven in bijlage XVI) slechts de helft van die aan de monding. Ook de afvoermetingen aan de benedenloop van de Hierdensche beek (tabel 1, aanhangsel B) spreken een duidelijke taal en evenzoo viel bij andere beken op, dat de afvoer in droge perioden voornamelijk in het gebied vlak langs de kust ontstond. Daarnaast wijst een vergelijking van maaiveldhoogten en gemeten potentialen er eveneens op, dat de kwel in een smalle strook geconcentreerd is.

In het stroomgebied III kunnen drie deelen worden onderscheiden: het infiltratiegebied, de kwelstrook langs de kust en het opkwellingsgebied in het IJsselmeer. Het blijkt aangewezen deze eerst afzonderlijk te beschouwen en eerst daarna met elkaar in verband te brengen. Begonnen zal worden met de opkwelling in het IJsselmeer.

Hiervan kan als gegeven worden beschouwd:
1. de potentiaal op de grens van land en meer;
2. het beeld der kwelsnelheden in den meerbodem.

Wat de eerste betreft is van Juli 1942 - Juni 1943 in N2 gemeten 0,85 m + N.A.P.; de IJsselmeerstand was in die periode te Harderwijk 0,295 -, te Elburg 0,265 -, ter plaatse van N2 dus 0,28 - N.A.P. De overdruk is dus 0,85 +

+ 0,28 = 1,13 m. Echter moet hier nog een correctie worden aangebracht, aangezien N2 ongeveer 100 m landwaarts ligt. Daar de nog weer ca. 1000 m verder gelegen N1 (1,57 m + N.A.P.) 0,72 m hooger ligt dan N2, is voor deze correctie 0,07 m aangenomen. De overdruk wordt daarmede 1,06 m.

De opmerkingen in paragraaf VI 5 aangaande mogelijke plaatselijke afwijkingen van potentiaal en t.o.v. den algemeenen hydrologischen toestand gelden ook hier. Echter is het onwaarschijnlijk, dat de onzekerheid dientengevolge groot zou zijn. Zoo is de overdruk in H2 (gelegen in de gemiddelde kustlijn) t.o.v. het IJsselmeerpeil 0,68 + 0,295 = = 0,975 m, dus slechts weinig minder, terwijl de stijghoogte in het 12500 m uit de kust gelegen meetpunt 125 der commissie van Dissel (bijlage XIII) gemiddeld 1,54 m + N.A.P. bedraagt, dus van dezelfde orde als N1. Wel liggen deze punten in het overgangsgebied van stroomgebieden met een ander karakter, zij maken echter aannemelijk, dat N2 en N1 representatief kunnen worden geacht voor de stijghoogten in de kuststrook.

Ten aanzien van het beeld der kwelsnelheden in den IJsselmeerbodem, zooals weergegeven in bijlage XVI, moet de belangrijke opmerking worden gemaakt, dat dit geenszins volledig is. Juist van het gebied met de grootste kwel vlak bij de kust is alleen bekend, dat de snelheid daar grooter is dan 0,06 m per jaar. Bij groote kwelsnelheden toch is het chloorgehalte van den bodem zóó klein, dat dit van dezelfde grootte is als storende invloeden. Eerst op een afstand van 2500 m uit de gemiddelde kustlijn kan met voldoende zekerheid een lijn van gelijke kwelsnelheid worden getrokken: dit is 0,06 m per jaar (maximumgehalte ongeveer 10% van het voormalige Zuiderzeegehalte). Het bepalen van de snelheden in punten verder van de kust levert geen moeilijkheden; hierop is in § VII 2 uitvoerig ingegaan.

Van groot belang is hydrologisch de grens van het gebied, waar nog opkwelling kan worden vastgesteld: hiervoor is een kwelsnelheid van 0,005 m per jaar aangehouden als kleinste snelheid, welke het chloorgehalte van het grondwa- nog merkbaar beïnvloedt. In paragraaf VII 2 is een aantal factoren genoemd, waaruit blijkt, dat deze grenslijn 11 à 14 km uit de kust ligt.

De aldus gevonden lijnen van gelijke opkwelsnelheid kunnen bij benadering worden voorgesteld door lijnen evenwijdig aan de gemiddelde kustlijn. In tabel 5 is hiervan een overzicht gegeven.

Tabel 15.

KWELSNELHEDEN IN HET IJSSELMEER.

kwelsnelheid in m/jaar	% van c_0	afstand uit de kustlijn in m	afstand tot de lijn van 0,06 m/jaar
0,06	10	2500	0
0,05	15	3300	800
0,04	20	4000	1500
0,02	38	5800	3300
0,01	57	7700	5200
0,005	70	12000	9500

Getracht is nu uit de gevonden snelheidsverdeeling en de gemeten potentiaal aan de kust langs mathematischen weg bepaalde conclusies te trekken. De schematisatie van de grondwaterbeweging en de rekenmethoden, die hierop kunnen worden toegepast, zijn in beginsel beschreven in "Rapporten en Mededeelingen betreffende de Zuiderzeewerken", no 5 (litt. 11), eenige toepassingen in het aanhangsel behoorende bij een dezerzijds opgemaakte studie omtrent den hydrologischen toestand van Marken (litt. 35), zoodat naar deze studies verwezen moge worden.

De resultaten zijn weergegeven in de figuren 16, 17 en 18.

In fig 16 is berekend, uitgaande van diverse constante weerstanden c_2 der afdekkende bovenlagen vanaf de kust, nl. 500, 1000, 1500 en 3000 etmalen, welke kwelsnelheden daarbij te verwachten zijn. Voor den overdruk aan de kust is in alle gevallen 1,06 m aangehouden. Vergelijking van gemeten en berekende snelheden leert:

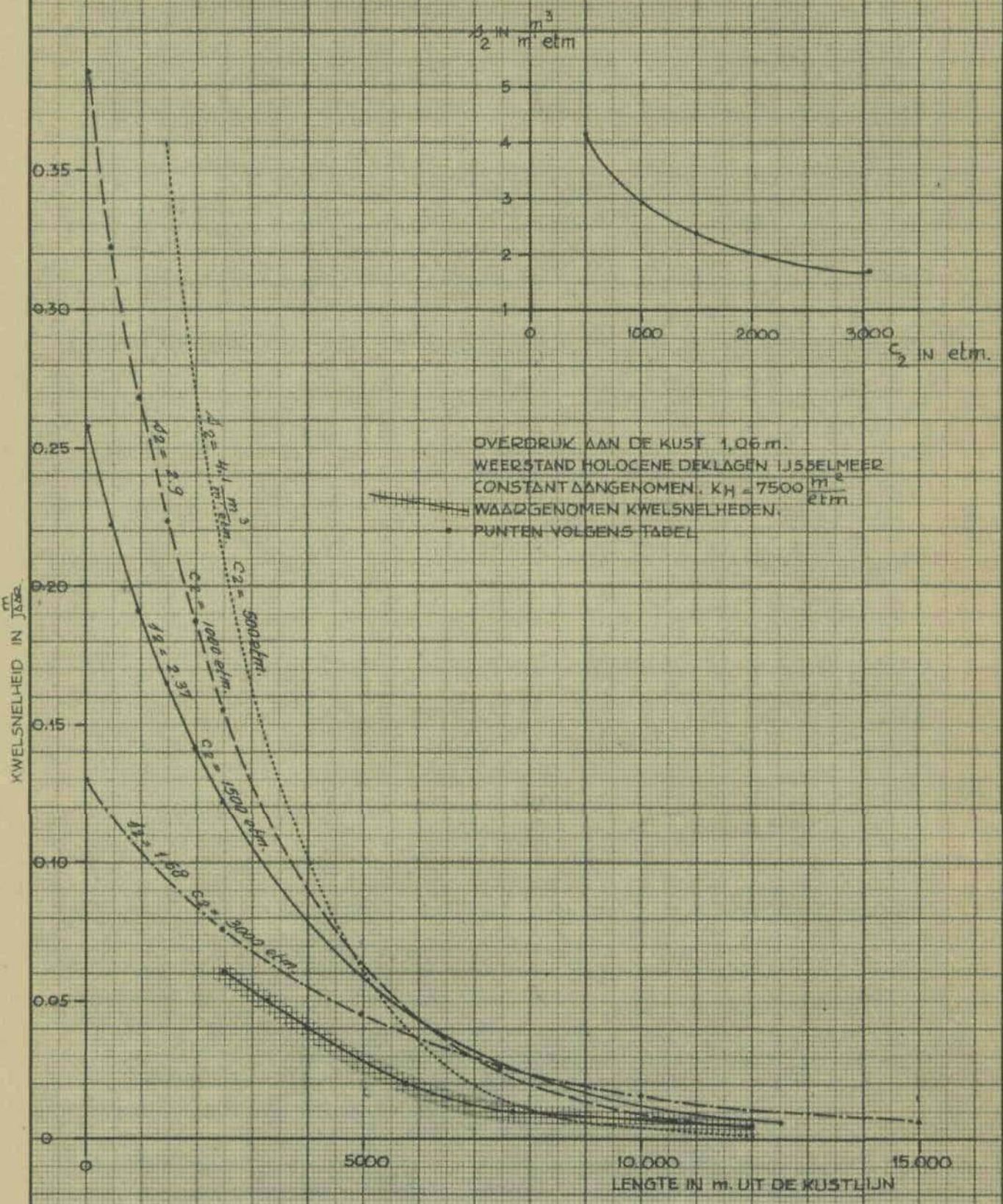
1. Bij een weerstand van 500 etmalen en kleiner bestaat er een duidelijke tegenspraak tot de waarnemingen. Op afstanden van 2500 - 6000 m uit de kust zijn de berekende kwelsnelheden veel te hoog, terwijl bij zeer kleine weerstanden onmogelijk op afstanden van 11000 à 14000 m nog merkbare opkwelling zou kunnen bestaan.
2. Bij grootere weerstanden (3000 etmalen en meer) zijn de kwelsnelheden op afstanden van 2500 - 6000 m wel te verklaren. De grens van het opkwellingsgebied zou echter veel verder weg liggen dan uit waarnemingen is gebleken.

Ook groote weerstanden kunnen dus geen verklaring geven van de waargenomen kwelsnelheden; nog afgezien van het feit, dat de geotechnische gegevens het weinig plausibel doen schijnen, dat de weerstand der deklagen zoo hoog zou zijn.

Voor bovenstaande berekeningen is voor kH aangenomen 7500 m2 per etmaal; 5000 m2 per etmaal (zie IV 2) brengt geen principiëele wijziging met zich mede.

Een oplossing van de paradox is alleen te vinden door het aannemen van een smalle meer doorlatende strook langs de kust, men wordt dus tot dezelfde conclusie geleid als in paragraaf IV 5 op grond van geotechnische gegevens is opgesteld. Alleen dan is in te zien, hoe op eenigen afstand van de kust betrekkelijk lage kwelsnelheden kunnen voorkomen, die zich over een groote lengte meerwaarts verspreiden. Noch over de afmetingen noch over de doorlatendheid dezer strook staan gegevens ter beschikking. Evenmin is bekend, of dit doorlatende deel plotseling, dan wel geleidelijk overgaat in de meer afsluitende lagen verder noordwaarts. Het laatste geval is door een goed gekozen schematisatie terug te brengen tot dat met plotseling veranderende weerstanden, waardoor het voor mathematische berekening toegankelijk wordt.

Eenige aanwijzing in dezen geven de geotechnische gegevens. Weliswaar veroorloven deze niet het bepalen van den weerstand absoluut genomen, doch gezien de zeer gelijkmatige bouw der marine holocene lagen zijn deze bruikbaar als vergelijking. Zulke cijfers met relatieve waarde kunnen verkregen worden door het toekennen van gewichten aan de diverse



BIJLAGE III
BEREKENDE EN GEMETEN KWELSNELHEDEN.

FIG. 16

Ondergrondsche afstrooming uit de kustlijn naar het IJsselmeer.

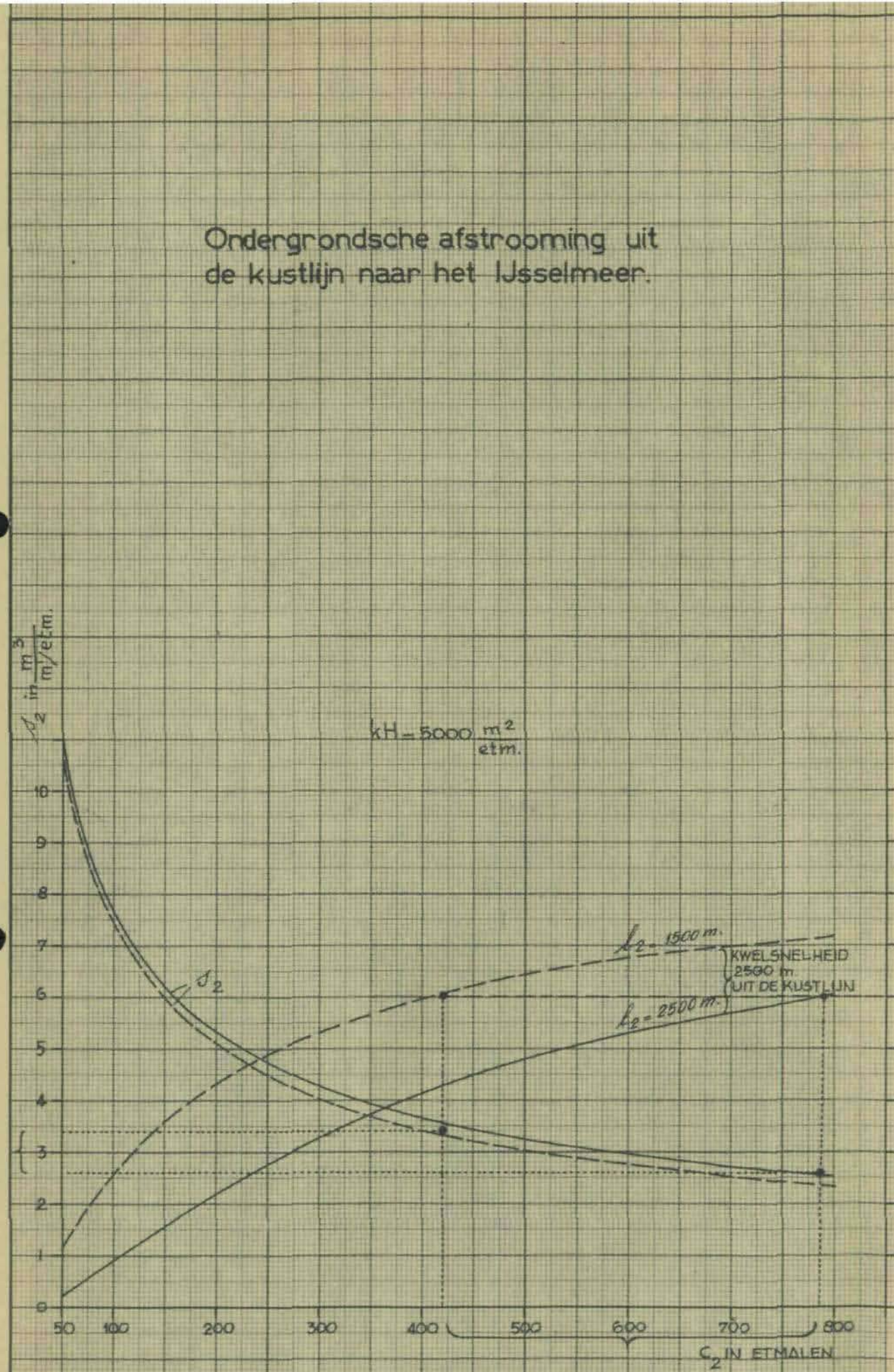


FIG. 17

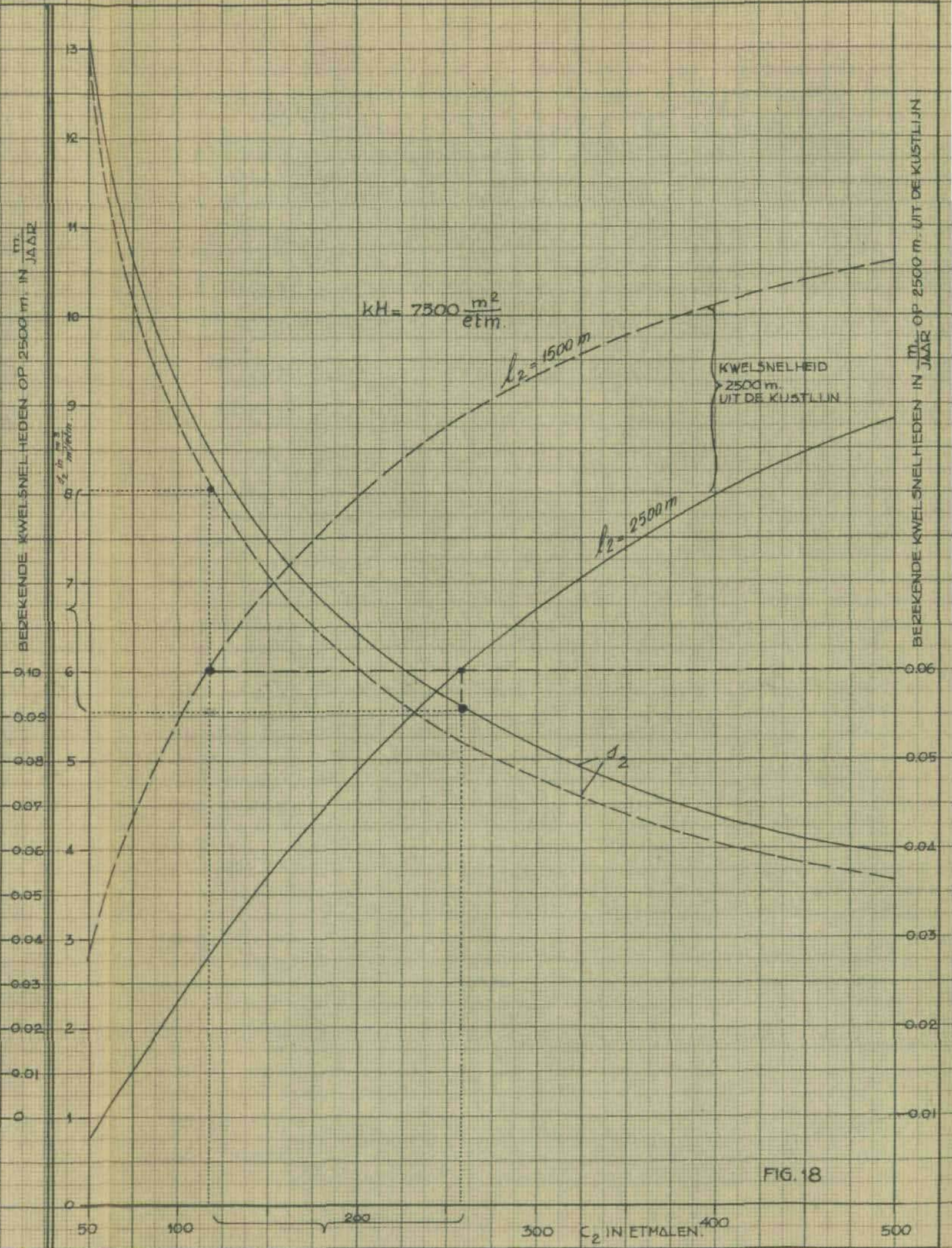


FIG. 18

grondsoorten, op de wijze, zooals in IV 5 is uiteengezet. Zij wijzen op een meer doorlatende strook evenwijdig aan de kust, die vrij plotseling overgaat in dikkere lagen. De afstand, waarop dit plaats vindt, ligt 1500 à 2500 m uit de kust; de nauwkeurige waarde is moeilijk aan te geven, eenerzijds wegens de geleidelijke overgang tusschen beide grenzen, anderzijds wegens de onzekerheid, die verbonden is aan dergelijke gegevens.

Er zijn nu enkele berekeningen opgezet, wederom uitgaande van een overdruk van 1,06 m aan de kust. Hierbij zijn strooken l_2 beschouwd evenwijdig aan de kust resp. breed 1500, 2000 en 25000 m. Voor den weerstand c_2 hiervan zijn verschillende waarden aangenomen. Evenals boven zijn de waargenomen kwelsnelheden in het IJsselmeer vergeleken met de berekende kwelsnelheden op dezelfde plaatsen en is daaruit nagegaan met welk schema de beste overeenstemming kan worden verkregen.

De weerstand c_3 der afsluitende lagen buiten bedoelde strook kan worden bepaald uit de afneming der kwelsnelheden noordwaarts van de 0,06 m/jaar lijn. In onderstaande tabel is voor verschillende waarden van den weerstand berekend, welke kwelsnelheden op een aantal punten zijn te verwachten. Hieruit blijkt, dat de beste overeenstemming wordt verkregen, wanneer c_3 op ca. 1500 etmalen wordt aangenomen. Deze waarde geldt bij kH = 7500 m2 per etmaal. Neemt men hiervoor weer 5000 dan komt men tot c_3 = ca. 2250 etmalen.

Tabel 16.

WAARGENOMEN EN BEREKENDE KWELSNELHEDEN.

Afstand uit de kust in m	Waargen. kwel-snelh.	c_3 in etmalen				
		500	1000	1500	2000	3000
2500	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
3300	0,05	0,040	0,045	0,047	0,049	0,051
4000	0,04	0,028	0,036	0,038	0,041	0,044
5800	0,02	0,011	0,018	0,022	0,026	0,030
7700	0,01	0,005	0,009	0,013	0,016	0,020
12000	0,005	0,0004	0,002	0,0033	0,005	0,008

Deze verdeeling bewijst, dat op een afstand van meer dan 2500 m uit de kust de weerstand vrij gelijkmatig is. Zou de breedte van de meer doorlatende strook nog grooter zijn, dan is de waargenomen snelheidsverdeeling niet te verklaren. Wel is er eenige aanwijzing, dat de weerstand meerwaarts nog wat toeneemt.

De resultaten der berekeningen met verschillende breedten en doorlatendheden c_2 van de strook langs de kust zijn tenslotte vermeld in de fig 17 en 18. In de eerste dezer is voor kH 5000 m2 per etmaal aangehouden; in de tweede 7500 m2 per etmaal. Voor de bovengenoemde veronderstellingen is nagegaan:

1. De hoeveelheid grondwater s_2, die per etmaal en per m' kustlengte uit de Veluwe onder het IJsselmeer stroomt.
2. De kwelsnelheid in het meer afsluitende lagenpakket op 2500 m uit de kust.

Aansluiting aan de waarnemingen wordt verkregen, wanneer deze snelheid 0,06 m per jaar is, door de aangenomen c_3-waarden klopt dan het geheele beeld der snelheidsverdeeling.

Er blijkt een vrij groote spreiding in de waarden van s_2 en c_2, die op grond van dit criterium worden gevonden. De variatie schuilt niet zoozeer in de aangenomen strookbreedte, dan wel in de kH-waarde, waarvan is uitgegaan. De uiterste waarden zijn:

Tabel 17.

WAARDEN VAN AFSTROOMING EN WEERSTAND.

	s_2 in m3/m' etm.	c_2 in etm.	
a.	8	120	voor kH = 7500 m2 per etm. en l_2 = 1500 m.
b.	2½	800	voor kH = 5000 m2 per etm. en l_2 = 2500 m

Alleen op grond van waarschijnlijkheidsoverwegingen kan men deze marge verkleinen. Zoo lijkt in het bijzonder geval a minder aannemelijk. Gezien de geotechnische gegevens moet 1500 m voor de strookbreedte een uitermate lage schatting worden geacht. Voorts stellen a en b de uiterste gevallen voor, welke nog denkbaar zijn. Dit overwegende komt men tot de conclusie, dat de grondwaterstroom uit de Veluwe in het IJsselmeer aangenomen kan worden op 3 à 7 m3 per m' per etmaal. Een nauwkeuriger vastlegging mag op grond van de hierboven ontwikkelde gegevens niet mogelijk worden geacht.

Bij deze conclusie sluit zich onmiddellijk de vraag aan, welke kwel optreedt in de kwelstrook langs de kust, waarvan de breedte op 2000 m is aangenomen. Met den grondwaterstroom aan de kust moet men dan uitkomen op den totalen aanvoer uit het infiltratiegebied door den nuttigen neerslag. In paragraaf V 6 is besproken, welke gegevens daartoe ter beschikking staan. Sommeert men voor het landschapstype B (tabel 1) - overeenkomende met het onderhavige stroomgebied III - de beekafvoeren, dan heeft men na schatting, op grond van de afvoeren in andere perioden, van de ontbrekende gegevens en na aftrek van den afvoer van de Hierdensche beek bezuiden Hulshorst, welke voor het grootste deel uit stroomgebied IV afkomstig is:

Tabel 18.

BEEKAFVOEREN STROOMGEBIED III.

Periode	Totale afvoer in m3/sec	Totale afvoer in m3/etm	Totale afvoer in $\frac{m3}{m' \text{ etm}}$
Midden Maart 1943	1,23	106 100	7,3
Einde Juli 1943	0,56	48 400	3,3
Einde October 1943	1,18	102 000	7,0

Indien men - afziende van bergingsverandering - deze waarden met de vermoedelijke grootte van de verdamping vermeerdert, komt men tot:

Tabel 19.

KWEL IN STROOMGEBIED III

Periode	Aangenomen verdamping per etm	Aandeel verdamping in $\frac{m3}{m' \text{ etm}}$	Kwel in $\frac{m3}{m' \text{ etm}}$
Midden Maart 1943:	1 mm	2	9,3
Einde Juli 1943:	2 mm	4	7,3
Eind October 1943:	0	0	7,0

Bespreking van de beteekenis, welke aan deze cijfers kan worden toegekend, leidde in paragraaf V 6 tot de volgende conclusies:

1. Van veel belang bij de beoordeeling der gevonden resultaten zijn bergingsveranderingen in den bodem, die zich over een langen termijn kunnen voltrekken.
2. In dat opzicht is het waarschijnlijk, dat in de afvoeren midden Maart een daling van den grondwaterstand een rol speelt, terwijl dit - naast de onzekerheid in de verdamping - ook bij de metingen eind Juli in aanmerking moet worden genomen.

3. De onzekerheid in de verdamping heeft men niet bij de metingen eind October 1943, toen door het langdurig droge najaar daaraan voorafgegaan de invloed van de berging gering was. Toch bestaat de mogelijkheid, dat ook deze afvoeren nog iets meer zijn dan de opkwelling zou veroorzaken.

Resumeerend kan de kwel in het draineerende gebied op grond van bovenstaande waarnemingen aangenomen worden op 6 à 8 m3/m'.etm (overeenkomende met 3 à 4 mm per etmaal.

Wanneer men in aansluiting op de bepalingen van opkwelling k en resteerende grondwaterstroom s_2 naar het IJsselmeer, vraagt in hoeverre deze in overeenstemming zijn met den nuttigen neerslag ($R - V_1$) op het infiltratiegebied (volgens V 4 moet $s_1 = s_2 + kL_1$) komt men tot de volgende schatting van s_1:

De grootte van het infiltratie- of voedingsgebied van stroomgebied is ca 19 300 ha. Bij een nuttigen neerslag van 300 resp. 350 mm/jaar beteekent dit een toevoer van 5,79 resp. 6,75 x 10^6 m3/jaar. Omgerekend per etmaal en per m' kustlengte (in totaal 14 500 m) geeft dit voor s_1 11 à 13 m3/m' etm of gezien de onzekerheid in de grootte van het stroomgebied 10 à 14 m3/m'.etm (overeenkomende met 270 à 380 mm per jaar nuttigen neerslag op het stroomgebied van 19 500 ha).

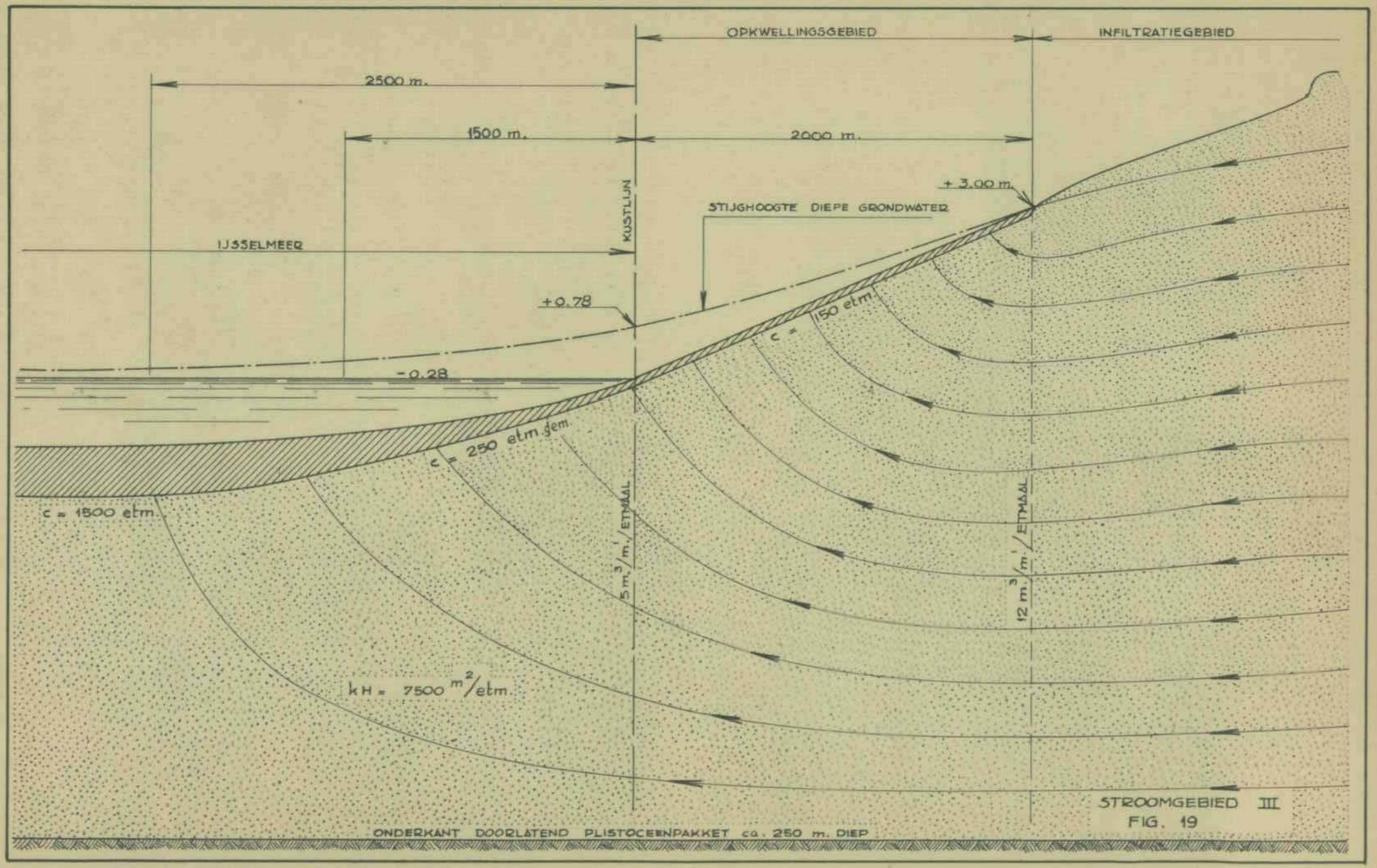
Men heeft dus, resumeerend, de volgende taxaties van de drie den hydrologischen toestand bepalende grootheden:

Grondwaterstroom s_2 uit de Veluwe in het IJsselmeer:	3 à 7 m3/m'etm
Opkwelling kL in het draineerende gebied:	6 à 8 "
Grondwaterstroom s_1 uit het infiltratiegebied:	10 à 14 "

Hoewel in elk der genoemde grootheden op zichzelf een belangrijke onzekerheid blijft bestaan, sluiten de gemiddelde waarden op zeer bevredigende wijze bij elkaar aan, hetgeen een argument vormt voor de betrouwbaarheid der resultaten. Dit spreekt, indien men bedenkt, dat in bovengenoemde cijfers mogelijke onzekerheden uit verschillende hoofde verdisconteerd zijn en vooral als men nagaat op welk principiëel verschillende manier zij verkregen zijn. De eerste toch berust, naast de potentiaal aan de kust, op mathematische beschouwingen, opgesteld naar aanleiding van de chloorgehalten van het grondwater. De tweede is gevonden uit de beekafvoeren aan het einde van eenige bijzondere perioden. De laatste berust op taxaties van den nuttigen neerslag en het algemeene beeld der grondwaterstrooming.

In fig 19 is de hydrologische toestand van het kustgebied weergegeven voor kH = 7500 m2/etm.

Voor den weerstand der afsluitende lagen in het kwelgebied, dus op het land, is hierbij vermeld ca 150 etm.,


OPKWELLINGSGEBIED
INFILTRATIEGEBIED
2500 m.
1500 m.
2000 m.
+ 3.00 m.
STIJGHOOGTE DIEPE GRONDWATER
KUSTLIJN
IJSSELMEER
+0.78
-0.28
c = 150 etm
c = 250 etm gem.
c = 1500 etm.
5 m.³/m.'/ETMAAL
12 m.³/m.'/ETMAAL
kH = 7500 m²/etm.
STROOMGEBIED III
FIG. 19
ONDERKANT DOORLATEND PLISTOCEENPAKKET ca. 250 m. DIEP

gevonden uit de gemiddelde overdruk (0,4 à 0,5 m) en de kwel (3 à 4 mm per etm).

Een verdere beschouwing van fig 19 doet onmiddellijk de vraag rijzen, of ook de hydrologische toestand in dit kwelgebied - evenals de opkwelling in het IJsselmeer - niet voor mathematische berekening toegankelijk is. Men heeft hier een van 0 tot 1,00 m toenemende overdruk tusschen de stijghoogten der diepere lagen en den grondwaterstand, welke laatste hier meerwaarts helt. De oplossing van dit eenvoudige probleem is gegeven in lit. 35.

Men bedenke echter, dat fig 19 van den hydrologischen toestand een vereenvoudigde voorstelling geeft, welke noodzakelijkerwijs een veel schematischer karakter draagt dan voor andere gebieden.

Zelfs een oppervlakkige verkenning van het kwelgebied langs de kust doet deze zien als een afwisseling van hoogere en lagere strooken. In de laatste zijn de kwelverschijnselen merkbaar. Behalve aan de hoogteligging kan men deze strooken ook onderscheiden aan het bodemgebruik: de lagere perceelen zijn algemeen weigronden. De topografische kaart, die hoogtelijnen geeft om de 2½ m, doet deze details feitelijk niet zien, maar op de geologische kaart vallen deze strooken duidelijk op '). De hoogere zijn gekarteerd als II 8, de lagere als I 6 v en F 10 k.

De aangenomen breedte van 2000 m voor dit gebied is a.h.w. de gezamenlijke breedte van alle lagere strooken. De kwel hierin blijkt zeer onregelmatig verdeeld te zijn.

Neemt men dit in aanmerking, dan kan de conclusie luiden, dat de hydrologische grootheden in het kwelgebied bevredigend bij elkaar aansluiten indien voor kH aangenomen wordt 7500 m2/etm en voor den grondwaterstand op de grens van infiltratie- en kwelgebied 3,00 m + N.A.P. (zie fig 19).

Dit blijkt als volgt:

Uitgaande van een c_1-waarde van 125 à 150 etm vindt men volgens een dergelijke berekening voor:

	c_1 125 etm	150 etm	m3/m'etm
s_1:	10,2	10,0	
s_2:	3,8	4,4	
opkwelling:	6,4	5,6	

Deze grootheden sluiten aan bij hetgeen uit de stijghoogten in naburige punten zou volgen. Die te Nunspeet vertoonen n.l. een zeer regelmatige daling in een richting loodrecht op de isohypsen (nos 134, 133, 132, 128, 131, 127, 129 en 126 in bijlage XIII). Hieruit is af te leiden, aannemende, dat geen plaatselijke afwijking optreedt (zie VI 5) s_1 = 1,52/1000 x 7500 = 11,4 m3/m' etm.

'). Een feit, dat wel meer geconstateerd is bij morfologische studies.

Uit het verschil in stijghoogten tusschen N_2 (0,85 m + N.A.P.) en N_1 (1,57 m + N.A.P.) volgt s' = 0,72/950 x 7500 = 5,7 m3/m' etm. Deze hoeveelheid s' moet liggen tusschen s_2 en de ondergronds afstroomende hoeveelheid in een profiel ter plaatse van N_1. Gezien de gevonden getallenwaarden is ook dit zeer plausibel.

Minder bevredigende waarden krijgt men bij een lagere kH-waarde b.v. 5000 m2/etm. Of bovenstaande berekening een aanwijzing vormt voor hooge waarden is moeilijk uit te maken; het is ook mogelijk, dat de gecompliceerde situatie van het kwelgebied een rol speelt.

b. Stroomgebied IV.

Voor de breedte van het kwelgebied is hier aangenomen 1000 m. In werkelijkheid wisselt zij veel sterker dan in het naburige III. Het grootst in het zuiden en bij Harderwijk neemt de breedte ten noordwesten van Ermelo - Veldwijk sterk af; hier komen enkele uitloopers van het boschterrein tot vlak bij de kust (overeenkomstig het Gooi). Hoogere en lagere strooken evenwijdig aan de kust, zooals tusschen Elburg en Harderwijk ontbreken. Het geheele kwelgebied heeft de vorm van een langgerekte grillig gevormde strook met een gemiddelde breedte van 1000 m.

De grootte van het infiltratiegebied is 15 250 ha, wat, met een nuttigen neerslag van 300 à 350 mm/jaar, neerkomt op 4,57 à 5,33 x 104 m3/jaar en dus langs de 14000 m lange grens van het infiltratiegebied een afstrooming levert van 9,0 à 10,5 m3/m' etm.

Van deze hoeveelheid komt slechts een gering deel tot bovengrondsche afstrooming. De afvoeren van alle beken in dit stroomgebied (de Schuitenbeek, die het grootste deel uit stroomgebied V ontvangt voor 1/3 gerekend) blijkt te zijn:

Midden Maart 1943:	0,19	m3/sec	of	1,2	m3/m' etm.
Einde Juli :	0	"	"	0	"
Einde October :	0,07	"	"	0,4	"

Overeenkomstige beschouwingen als bij stroomgebied III leiden ertoe voor de kwel aan te nemen: 0,5 à 1,0 m3/m' etm of 0,5 à 1,0 mm/etm. Het laatste bedrag is minder dan bij III hetgeen overeenstemt met de minder uitgesproken kwelverschijnselen.

Men komt dus tot een ondergrondsche afstrooming van de Veluwe onder het IJsselmeer van 8 à 10 m3/m' etm.

De berekening van den grondwaterstroom in bovengenoemd gebied, voorzoover deze onder het vasteland verloopt, levert dus geen bijzondere moeilijkheden. Dat de opkwelling in de kuststrook hier van zooveel minder belang is dan bij III, beteekent een aanmerkelijke vereenvoudiging, zoodat t.a.v. de vraag, welk gedeelte van den totalen grondwaterstroom in het IJsselmeer treedt, minder onzekerheid bestaat.

Anders staat het met de kwelverschijnselen in het IJsselmeer als gevolg van den bijzonderen geotechnischen bouw. Daar dit niet alleen voor het te bespreken stroom-

gebied IV, maar ook voor V van belang is, lijkt het gewenscht hier allereerst nader op in te gaan.

Reeds in VII 3 is gewezen op het bijzondere aspect van het kwelgebied in het IJsselmeer tusschen de meridianen x =-5000 en x =+10 000. Opvallend is hier het ontbreken van kwelsnelheden vlak bij de kust tusschen Spakenburg en Nulde en het optreden van een uitgestrekt kwelveld op ca 12 000 m meerwaarts daarvan. Het Holoceen in dit veld is vrij dik (2½ tot 5 m) en waar het verloop van het chloorgehalte over de geheele hoogte hiervan bekend is, kon - onafhankelijk van de c_0-waarden - het optreden van kwel met zekerheid worden vastgesteld (zie ook VII 2).

De vraag dringt zich op, hoe dit uit de geologische gesteldheid is te verklaren. Bij de voorloopige studie van de chloorgehalten van het grondwater onder het IJsselmeer (lit. 34) is de oorzaak gezocht in de ongelijke weerstand van de holocene deklagen. Deze zou onmiddellijk ten noorden van Nijkerk belangrijk hooger zijn dan elders. Hierdoor en door de lage ligging van de draineerende polders om Nijkerk zou geen merkbare kwel ter plaatse optreden. Het kwelgebied op de Knar zou zijn toe te schrijven aan een zijdelings uitwijken naar de daar aanwezige minder afsluitende lagen.

Deze werkhypothese is bij nader onderzoek niet houdbaar gebleken. Bij het Putter stoomgemaal en de sluis van Nijkerk is een overdruk waargenomen van ca. 2,50 m. Daar de kwelsnelheid in het op slechts 500 m van het Putter stoomgemaal gelegen boorpunt 285 (bijlage V) in ieder geval < 0,005 m/jaar is, zou de weerstand der afsluitende lagen dus minstens 2,50/0,005 = 500 jaar = 182 500 etmalen zijn. Het is moeilijk in te zien, hoe de holocene deklagen een dergelijken grooten weerstand zouden kunnen bieden.

In de geologische inleiding zijn enkele feiten naar voren gebracht, die de waargenomen kwelsnelheden in het IJsselmeer kunnen verklaren. Aannemelijk is gemaakt, dat de Eemkleilagen, welker vrij hooge afsluitende werking in de Geldersche vallei reeds bij vroegere onderzoekingen (lit. 25) is vastgesteld, tot onder den IJsselmeerbodem zouden doorloopen. Daarnaast is gewezen op de tientallen dikke meters kleilagen van fluvio-glacialen oorsprong onder het gebied om Nijkerk, die ongetwijfeld zeer sterk afsluitend zijn. Daardoor wordt begrijpelijk:

1. het optreden van aanzienlijke potentialen in het diepe grondwater zonder dat, vergeleken met andere grensgebieden van de Veluwe de topografie of de geologische gesteldheid van de oppervlakkige lagen hiertoe aanleiding geven;
2. het ontbreken, ondanks de overdruk, van kwelverschijnselen in het IJsselmeer.

Men kan zich nu voorstellen, dat de kwelsnelheden benoorden het nulgebied een gevolg zijn van het ophouden van de Eemlagen (en/of fluvioglaciale kleilagen), waardoor kwel kan optreden door de relatief weinig weerstandbiedende holocene lagen. De daardoor noodige overdruk is vanaf

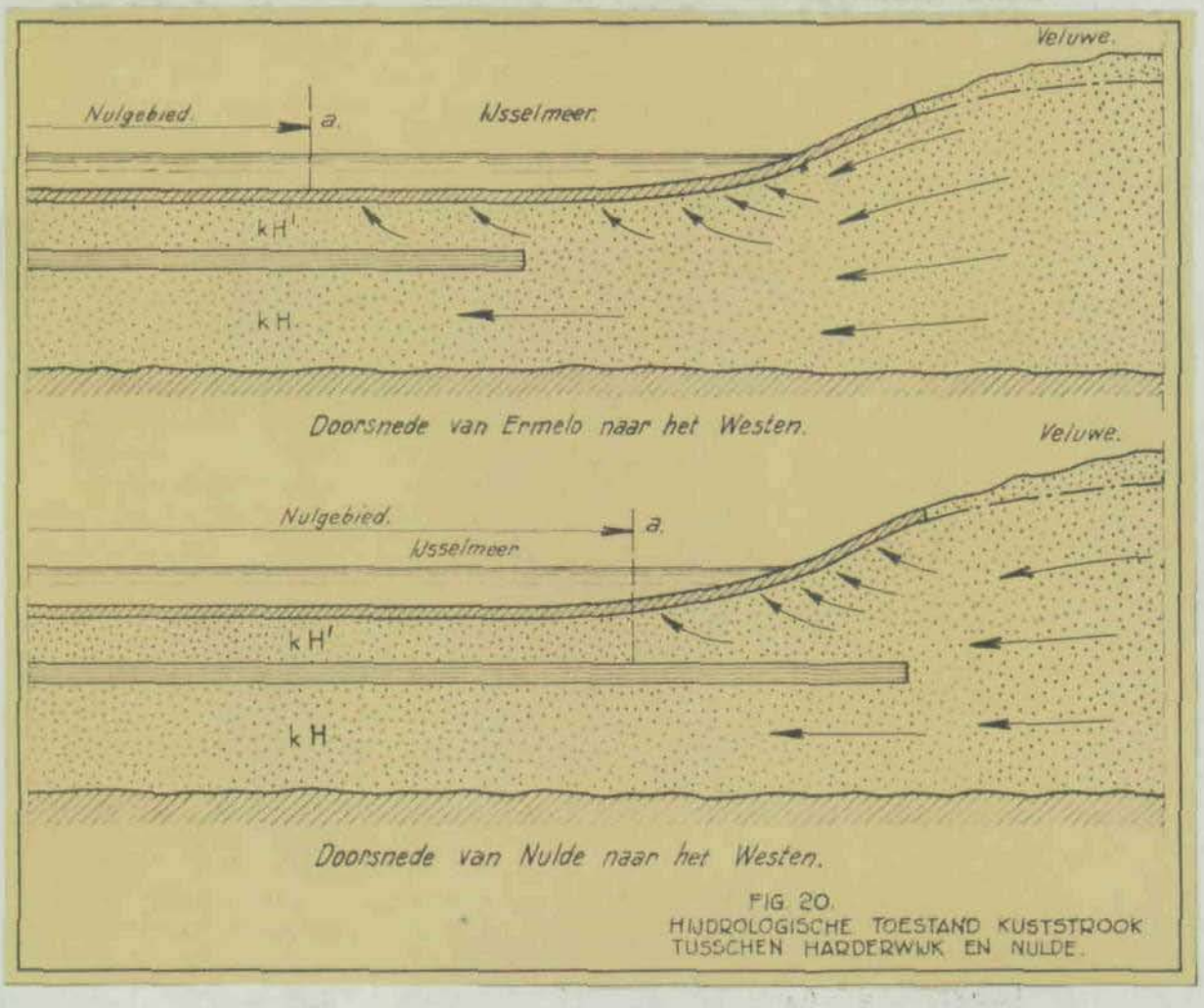


FIG. 20.
HIJDROLOGISCHE TOESTAND KUSTSTROOK TUSSCHEN HARDERWIJK EN NULDE.

de kust ten deele behouden gebleven onder de plistocene ondoorlatende lagen.

Een verdere, meer gedetailleerde en quantitatieve behandeling van het probleem, stuit op de noodzakelijkheid van een drie-dimensionale beschouwingswijze. In tegenstelling tot stroomgebied III is de grondwaterstroom hier niet overal loodrecht op de geotechnische grenzen.

In dit verband moge behandeld worden een vraag betreffende de afstrooming in het IJsselmeer van de stroomgebieden IV en IX. De lijnen van gelijke kwelsnelheid liggen hier, in tegenstelling tot elders, op korten afstand van elkaar. Langs de kust is weer een strook met snelheden te hoog om te meten. Men kan nu vragen of een dergelijk beeld niet verklaard kan worden door aan te nemen, dat de weerstand van de afsluitende lagen ter plaatse gering is, van de grootte van 50 etm. De opkwelling speelt zich dan af over een geringe lengte. Daarbuiten, dus samenvallende met of binnen de grenzen van het nulgebied, kan men zich dan de in veel sterkere mate afsluitende plistocene lagen denken.

Deze voorstelling is echter onaanvaardbaar. Het zou dan niet mogelijk zijn in te zien, hoe de potentiaal van het diepe grondwater bij het Putter stoomgemaal b.v. en in de omgeving van Nulde zoover boven het IJsselmeerpeil kan liggen, wanneer op korten afstand daarvan de weerstand zoo gering is. Ook het optreden van kwel benoorden het nulgebied is dan onverklaarbaar. Geotechnische gegevens maken het niet aannemelijk, dat tusschen de Meentgronden en Spakenburg het IJsselmoer-Holoceen zoo weinig afsluitend zou zijn. Tenslotte spreekt de vrij nauwkeurig bekende grens van de Eemklei benoorden Nulde ook tegen bovengenoemde onderstelling.

Men komt er dus toe aan te nemen, dat de westelijke en oostelijke grens van de afsluitende plistocene lagen onder den IJsselmeerbodem zal liggen buiten de grenzen van het nulgebied en het ligt voor de hand deze aan te laten sluiten bij de op het land bekende grenzen. Dit impliceert, dat voor de afstrooming van de stroomgebieden IV en IX rekening moet worden gehouden met de aanwezigheid van een tweede afsluitende laag in den bodem; schematisch aangegeven in fig 20.

De kwelverschijnselen in het IJsselmeer vinden dus ten deele plaats door het eerste watervoerende pakket (II 8; hierdoor wordt ook een deel van het kwelwater van de Schuitenbeek aangevoerd, bovendien gebruiken zij, die niet over een diepe nortonbuis beschikken dit pakket voor waterwinning, waarvoor het zich door gering slibgehalte en niet te fijne korrel goed leent). Het doorlaatvermogen kH' hiervan is betrekkelijk klein (b.v. 200 à 500 m2/etm bij k 10 à 15 m/etm en h 20 à 35 m), waardoor de kwelsnelheden zich over een kleine lengte verspreiden, zelfs wanneer de weerstand der holocene lagen vrij hoog zou zijn.

Het is vrij eenvoudig aan te toonen, dat slechts een gering deel van de uit de Veluwe komende grondwaterstroom onder de tweede afsluitende laag verder west- en noordwaarts stroomt. Men kan n.l. uit de gevonden kwelsnelheden in het gebied benoorden het nulgebied en uit de oppervlakte hiervan (begrepen tusschen de meridianen x = + 7500 en x = - 10 000 behalve de invloedssfeer van het Gooi) taxeeren de totale opkwellende hoeveelheid. Deze blijkt te bedragen ca. 1,7 x 10^6 m3/jaar of ca. 4700 m3/etm. Zelfs al neemt men aan, dat deze geheele hoeveelheid uit de kuststrook tusschen Nulde en Harderwijk afkomstig zou zijn, dan zou dit nog slechts ca. 0,5 m3/m' etm. zijn, dus niet meer dan 5% van de totale afstroomende hoeveelheid. Daaruit kan worden afgeleid, dat ook hier vlak langs de kust zich een strook holocene lagen met geringeren weerstand moet uitstrekken dan op eenigen afstand uit de kust, waar ook boorgegevens duidelijk op wijzen.

Bij een nog verder in details afdalende quantitatieve behandeling is de gecompliceerde geologische bouw, die hier slechts in grove trekken bekend is, oorzaak, dat de berekeningen een meer speculatief karakter krijgen. Het is immers niet bekend, hoe de Eemformaties - in het bijzonder de afsluitende lagen hiervan - ten noorden van Nulde onder het IJsselmeer verloopen. Wij weten slechts, dat zij ontbreken bij Harderwijk en bij N_2 en N_1, om eerst bij Elburg het land weer te bereiken. Op welken afstand van de kust zij zich bevinden tusschen Nulde en Harderwijk is onbekend. Het is mogelijk, dat de begrenzing ongeveer samenvalt met de 0,06 m/jaar-lijn. Hieroß zou kunnen wijzen het afbuigen van de kwelsnelheidlijnen naar de kust toe bij Nulde, dus daar, waar ook de Eemlagen de kust naderen.

In het gebied binnen de 0,06 m/jaar-lijn moet het meeste opkwellen. De kwel toch tusschen de 0,06 en de 0,005 m/jaar-lijn is slechts 0,15 à 0,2 m3/m'etm.

Men kan nu vrij eenvoudig een bovenste grens vinden voor den weerstand der afdekkende lagen langs de kust. Hiertoe neme men aan, dat deze weerstand van den oever af constant blijft en dat nergens plistocene afsluitende lagen of machtiger holocene lagen de afstrooming belemmeren. Daar de gemiddelde overdruk langs de kust aangenomen kan worden op ca. 1,5 m, moet de weer-

stand c_2 der afdekkende jongere lagen hoogstens zijn 100 à 200 etm voor kH = 5000 m2/etm en hoogstens 150 à 250 etm voor kH = 7500 m2/etm (afstroomende hoeveelheid 8 à 10 m3/m' etm).

Deze waarden zijn maxima, daar elke waarschijnlijke afwijking van bovenbedoelde aanname in den geotechnischen bouw een kleinere c_2-waarde zou meebrengen. Zij zijn dus wat kleiner dan in de kuststrook langs stroomgebied III.

Hoe men zich de grondwaterbeweging ten noorden van de Geldersche Vallei ook voorstelt, zeker is, dat de overdruk, welke men moet aannemen ter verklaring van de kwelverschijnselen benoorden het nulgebied, alleen afkomstig kan zijn uit zuidelijke richting. Van daaruit neemt deze, onder invloed van de doorkwelling door de niet geheel afsluitende lagen, noordwaarts af, om ongeveer bij de parallel van y = + 32 500 zoo klein te worden, dat geen merkbare opkwelling meer gemeten kan worden.

Uit den vrij grootenafstand waarover de kwelsnelheden zich op deze wijze verspreiden, valt op te maken, dat de weerstand c der afsluitende lagen aanzienlijk moet zijn: zeker 4000 à 8000 etmalen. Of deze groote waarde uitsluitend in het Holoceen zetelt, dan wel dat de Eemlagen hier deels voor aansprakelijk zijn, valt niet uit te maken; de diepe boringen in de kom van het IJsselmeer en te Marken doen laatstgenoemde mogelijkheid weinig waarschijnlijk lijken, maar de mogelijkheid blijft bestaan. Overigens sluit de genoemde c-waarde goed aan bij de relatieve weerstandscijfers (bijlage VIII) van het Holoceen. Waarschijnlijker is derhalve, dat de sterk afsluitende plistocene lagen benoorden y = + 22 500 over een vrij kleine lengte geleidelijk teniet loopen. Dit verklaart ook, waarom in het hier besproken gebied, noordwaarts van y = + 22 500, de kwelsnelheden eerst toenemen en daarna pas de te verwachten afname vertoonen.

Uit het op zeer korten afstand van elkaar voorkomen van de lijnen van 0,005 en 0,01 m/jaar aan de noordrand van het nulgebied kan worden geconcludeerd, dat de weerstand der gezamenlijke holocene en plistoce lagen ten zuiden van deze rand minstens het dubbele moet zijn van de bovengenoemde waarde van 4000 à 8000 etm (vergelijk stroomgebied VI).

Eenige opmerkzaamheid verdient nog het punt x = = + 7500, y = + 27 500. Het ellipsvormige gebied van 0,02 m/jaar is geteekend, omdat in genoemd punt de kwelsnelheid duidelijk grooter is ') dan in omringende punten. De relatieve weerstandscijfers geven hier een zeer aannemelijke verklaring voor: juist in dit punt is de relatieve weerstand slechts de helft van naburige plaatsen. Men heeft hier dus met een zeer plaatselijk meer o doorlatend holoceen pakket te maken.

De behandeling der topografische gesteldheid deed de aandacht vallen op de Knar, een ondiepte nabij Harderwijk, die juist in het verlengde ligt van de westelijke Veluwe-heuvelrug. Bij de geologie van den IJsselmeerbodem valt de Knar veel minder op. De relatieve

'). Het gevonden zeer regelmatige verloop van het chloorgehalte met de diepte sluit het optreden van sterk storende invloeden uit.

weerstandscijfers toonen ter plaatse slechts een onbelangrijke inzinking (behoudens in het zoo juist besproken punt x = + 7500, y = + 27 500). Alleen in het oppervlak van het II 8 (bijlage IX) toont de -5-lijn een kleine uitbuiging in noordwestelijke richting. Veel opvallender is de inzinking van de Geldersche Vallei, die zich reeds op een breedte y = 30 000 aankondigt. [1]).

In het beeld der kwelsnelheden in den IJsselmeerbodem neemt de Knar schijnbaar weer een zeer opvallende plaats in. Schijnbaar, want uit het voorgaande moge genoegzaam gebleken zijn, dat dit geenerlei verband houdt met de bijzondere gesteldheid ter plaatse, doch met de geologie van het ten zuiden daarvan gelegen gebied.

c. Stroomgebied II.

Vergeleken met stroomgebied III valt hier op een relatief kleiner infiltratiegebied en een grootere breedte van de kwelstrook. Dit stroomgebied vormt de overgang naar dat gedeelte van de IJsselmeerkust, waar geen opkwelling van Veluwe-water meer geconstateerd kan worden. Dit kan gerekend worden zich uit te strekken noordwaarts van Kampernieuwstad. Hiermede hangt samen de omstandigheid, dat in het noordelijk deel van II de verhouding tusschen infiltratie- en kwelgebied steeds kleiner wordt.

Ook hier ligt de grens van het kwelgebied ten noorden van de grens tusschen zichtbare en onzichtbare afwatering; de eerste valt ongeveer samen met den straatweg van Oldebroek naar Wezep. In het westelijk deel liggen de reeds eerder genoemde Broeklanden.

Een nuttige neerslag van 300 à 350 mm/jaar beteekent op het 8 100 ha groote infiltratiegebied een voeding van 2,43 à 2,84 x 10^7 m3/jaar, wat langs de 8700 m lange grens een afstrooming geeft van 7,7 à 9,0 m3/mt etm.

Door verschillende complicaties, die hieronder nog vermeld zullen worden, leent dit stroomgebied zich minder dan III voor een contrôle der hydrologische grootheden.

Uit het beeld der kwelsnelheden in het IJsselmeer valt allereerst op te maken, dat de ondergronds naar het IJsselmeer afstroomende hoeveelheid per m' kustlengte hier minder groot zal zijn dan bij stroomgebied III. Dit geldt niet alleen voor de geheele kustlengte van het gebied, maar eveneens voor het zuidelijk deel II". Het gebied, waar de kwel > 0,06 m/jaar is, is hier kleiner en komt meer plaatselijk voor, n.l. daar, waar de overigens behoorlijk ontwikkelde afsluitende lagen onderbroken zijn. Daarnaast is ook de overdruk aan de kust hier ongetwijfeld lager dan bij N_2. Hierop wijzen de stijghoogten in de omgeving (bijlage XIII: Oosterwolde 124: 0,99+, Oldebroek 122: 1,63+, 123: 1,60+, Doornspijk 125: 1,54+). Gecombineerd met E_1, waar een

[1]). Volgens Faber is het geenszins bewezen, dat dit in verband zou staan met horst- (Veluwe, Gooi) en slenkvormingen (Geldersche Vallei, IJsseldal). Overigens zijn deze voor de hydrologie slechts zeer indirect van belang (van Waterschoot van der Gracht).

overdruk t.o.v. het IJsselmeerpeil van 0,20 m is, komt men tot een overdruk aan de kust van 0,4 à 0,6 m.

Men kan nu met dit gegeven en met de bekende verspreiding der kwelsnelheden op 1500 à 2000 m uit de kust, evenals bij stroomgebied III, weer trachten na te gaan de afstroomende hoeveelheid en denweerstand der afdekkende lagen. Voorzoover deze buitenwaarts van de 0,06 m/jaar-lijn liggen, wijzen de kwelsnelheden, al is het beeld niet zoo regelmatig als bij stroomgebied III, op een vrij constanten weerstand. Deze lijkt hooger dan ginds en kan getaxeerd worden op 2000 à 3000 etm (resp. voor kH = 75 000 en 5000 m2/etm). Moeilijker wordt een beoordeeling van de strook langs de kust. Slechts in een deel hiervan is een kwelsnelheid > 0,06 m/jaar geconstateerd en wel daar, waar de holocene lagen het minst ontwikkeld zijn. Het ligt voor de hand te veronderstellen, dat de weerstand in deze strook plaatselijk zal wisselen. Uit een berekening zal een waarde volgen, die meer het gemiddelde aangeeft.

Neem men daartoe een strookbreedte aan van 1500 à 2000 m, dan heeft men om een bevredigende verklaring der kwelsnelheden in het IJsselmeer te krijgen:

Tabel 20.

WAARDEN VAN AFSTROOMING EN WEERSTAND.

	c_3 = 3000 etmalen		c_2 = 2000 etmalen	
	kH = 5000		kH = 7500	
	s_2	c_2	s_2	c_2
l_2 = 1500 m	0,9	2000	1,5	750
l_2 = 2000 m	0,65	3000	1,1	1000

De waarde voor c_2 lijkt vrij hoog. Een aanwijzing, dat deze juist kan zijn, levert de potentiaal in E_1. Deze toont een overdruk t.o.v. het IJsselmeerpeil van 0,2 m. Waar de kwelsnelheid in E_1 - gezien naburige gegevens - < 0,06 m/jaar is, zou c_2 ter plaatse > 0,2/0,06 x 365 = > 1215 etmalen zijn.

Dat s_2 hier zooveel kleiner is dan bij III, is gereedelijk te verklaren uit de veel grootere breedte van het kwelgebied.

Ook uit de kwel in dit gebied blijkt, dat de boven voor s_2 gevonden waarde niet veel van de werkelijkheid zal verschillen.

Beschouwt men II" - van II' staan geen voldoende gegevens ter beschikking - dan komt men tot de volgende bedragen voor den bovengrondschenafvoer, afgeleid uit de afvoermetingen in Maart, Juli en October (de kustlengte is hier 4700 m, de gemiddelde diepte van het draineerende gebied 3500 m).

Tabel 21.

BEEKAFVOEREN EN KWEL IN STROOMGEBIED II.

	Maart	Juli	October
Afvoer Wijk Watering) Puttener beek) Goorbeek) in m3/sec	0,32	0	0,24
Idem in m3/m' etm	5,9	0	4,4
Aangenomen verdamping in mm	1	2	0
Aandeel verdamping in m3/m' etm	3,5	7	0
Kwel in m3/m' etm	9,4	7	4,4

Men zou hieruit concludeeren (zie stroomgebied III), dat de kwel hier 4 à 8 m3/m' etm is (overeenkomende met 1,1 à 2,3 mm/etm). De onzekerheid in dit bedrag is te groot om hieruit en uit s_1 (7,7 à 9,0 m3/m' etm), s_2 te kunnen afleiden. De waarde voor laatstgenoemde grootheid, gevonden uit de kwelverschijnselen in het IJsselmeer past echter wel in het schema der aangegeven grenzen.

Het is nu ook volkomen begrijpelijk, waarom in het noordelijk deel van stroomgebied II de kwelverschijnselen in het IJsselmeer zoo weinig spreken. Het kwelgebied is hier n.l. zóó groot, dat practisch alles opkwelt. Contrôle met afvoermetingen stuit op onvoldoende gegevens, een moeilijkheid vormen ook de hier gelegen bemalen polders (zie ook VIII 4).

Hoewel de kwelsnelheden in het gebied ten noordwesten van Elburg geen bewijs leveren voor een volkomen regelmatigen geo-technischen bouw, sluiten zij toch het bestaan uit van geheel en al afsluitende lagen van eenige uitgestrektheid. In ieder geval blijkt niets van de aanwezigheid van kleilagen met grooten weerstand over een belangrijk deel der oppervlakte van het gebied, waar volgens geologische onderzoekingen Eemformaties (II 8') in den bodem aangetroffen zijn: hier blijkt een verschil met het gebied om Nijkerk. De op grond van enkele voldoend diepe boringen getrokken conclusie wordt hiermede bevestigd.

De mogelijkheid blijft bestaan, dat de betrekkelijk verre uitbuiging in noordwestelijke richting van de 0,005 m/jaar-lijn toe te schrijven is aan een laag met vrij grooten weerstand in den bodem. Deze toch kan tot gevolg hebben, dat de kwel over een vrij groot gebied verdeeld wordt. Het is zeer wel mogelijk, dat de Eemlagen plaatselijk als zoodanig ontwikkeld zijn.

Intusschen staat over deze "uitbuiging" niets vast: de chloorgehalten van het grondwater geven in dezen geen uitsluitsel.

Voor mogelijke technische toepassingen zal men goed doen op de aanwezigheid van dergelijke lagen niet te rekenen; de diepe boring te Elburg (E_1), 1300 m meerwaarts van de kust, waar eenerzijds, behoudens het Holoceen, geen afsluitende lagen gevonden zijn, terwijl anderzijds de gevonden kwelsnelheden en de overdruk t.o.v. het IJsselmeerpeil duiden op een opkwelling van grondwater, maant hierbij tot voorzichtigheid.

Indien de afsluitende lagen uitsluitend in het Holoceen gezocht moeten worden, is de weerstand hiervan ongetwijfeld hooger dan op andere plaatsen langs de Veluwekust, zooals de geo-technische gegevens reeds deden vermoeden en uit bovenstaande berekeningen bleek.

d. Stroomgebied I.

Volledigheidshalve moge hier nog op het noordelijkste stroomgebied worden gewezen. In nog sterkere mate dan bij II valt op het voorkomen van een zeer breed draineerend gebied van vrij lage polders (P.P. van 0,6 - tot 0,2 +), terwijl het infiltratiegebied vrij klein is en dus ook de grondwaterstroom in noordwaartsche richting. Op de grens van het infiltratiegebied is deze slechts 4,6 à 5,4 m3/m' etm. Dientengevolge bereikt van hieruit niets het IJsselmeer: men kan aannemen, dat het grondwater geleidelijk opkwelt in de polders. De Geologische Kaart wijst op het voorkomen van eenige meters dikke lagen laagveen en rivierklei, waardoor verspreiding over een groot oppervlak kan voorkomen zonder beteekenende kwelverschijnselen, waar dan ook geen bepaalde aanwijzingen voor bestaan.