

**Een leidraad voor de hydrologische
systeembeschrijving van natuurgebieden**

Uitgevoerd door:
ing. A.J. van Ganswijk
drs. F.A.M. Claessen
drs. G. Veenbaas



1605/1988
1988

Waterbeheer Natuur Bos en Landschap

277 41
BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

4f

Waterhuishouding en standplaats

**Een leidraad voor de hydrologische
systeembeschrijving van natuurgebieden
met enkele voorbeelden**

Uitgevoerd door:
A.J. van Ganswijk, F.A.M. Claessen en G. Veenbaas

M.m.v.:
Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Landinrichtingsdienst
Rijksinstituut voor Natuurbeheer
Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne
Rijkswaterstaat
Staatsbosbeheer

1 AUG. 1988

Secretariaat: postbus 20020, 3502 LA Utrecht

Ln 291007 #

Inhoud	blz.
INLEIDING	1
I LEIDRAAD	3
0. Samenvatting	3
1. Inleiding	3
2. Huidige toestand en waterhuishoudkundige voorgeschiedenis	
Gebiedsbeschrijving	3
2.1 Regionaal	4
2.2 Lokaal	4
3. Huidige toestand en waterhuishoudkundige voorgeschiedenis	
Systeembeschrijving	6
3.1 Regionaal	6
3.2 Lokaal	6
4. Conclusies	7
5. Toekomstige maatregelen of ingrepen	7
6. Aanbevelingen	8
7. Literatuur/referenties	8
II VOORBEELDEN	
IIA NATUURTERREIN VEERSTALBLOKBOEZEM	9
0. Samenvatting	9
1. Inleiding	11
2. Huidige toestand en waterhuiskundige voorgeschiedenis	
Gebiedsbeschrijving	12
2.1 Regionaal	12
2.2 Lokaal	13
3. Huidige toestand en waterhuishoudkundige voorgeschiedenis	
Systeembeschrijving	15
3.1 Regionaal	15
3.2 Lokaal	16
4. Conclusies	19
5. Toekomstige maatregelen of ingrepen	20
6. Aanbevelingen	22
7. Literatuur/referenties	24

Bijlagen: tabellen, figuren, appendix.

	Blz.
IIB NATUURTERREIN EMPESE EN TONDENSE HEIDE	
0. Samenvatting	33
1. Inleiding	35
2 Huidige toestand en waterhuiskundige voorgeschiedenis	
Gebiedsbeschrijving	36
2.1 Regionaal	36
2.2 Lokaal	38
3. Huidige toestand en waterhuiskundige voorgeschiedenis	
Systeembeschrijving	40
3.1 Regionaal	40
3.2 Lokaal	41
4. Conclusies	48
5. Toekomstige maatregelen of ingrepen	50
6. Aanbevelingen	51
7. Literatuur/referenties	52
 Bijlagen: tabellen, figuren.	

VOORWOORD

Dit rapport maakt deel uit van de verslaggeving van de Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap (SWNBL).

De SWNBL is op 7 oktober 1982 ingesteld door de Minister van Cultuur, Recreatie en Maatschappelijk Werk in overeenstemming met zijn ambtsgenoten van Verkeer en Waterstaat en Landbouw en Visserij.

De SWNBL heeft de opdracht een studie te verrichten naar de betekenis van het water, de waterhuishouding en het waterbeheer voor natuur, bos en landschap. Daarnaast zullen er aanbevelingen worden opgesteld voor inrichtings- en beheersmaatregelen op het gebied van natuur, bos en landschap in relatie tot de waterhuishouding. De duur van de gehele studie is bepaald op vijf jaar, ingaande 1 januari 1983.

Het studieveld van de SWNBL is breed en geschakeerd. De studie is daarom verdeeld in onderwerpen, die als afzonderlijke projecten worden uitgevoerd in opdracht van of in samenwerking met de commissie.

De studie wordt uitgevoerd in fasen, waarin steeds een samenhangend pakket van projecten behandeld wordt.

Deelrapporten leggen verslag van de afzonderlijke projecten. De verantwoordelijkheid voor de inhoud van deze rapporten berust bij de uitvoerende instanties.

Iedere fase van de studie wordt afgesloten met een interimrapport van de commissie, waarin de resultaten worden samengevat, de lijnen voor het vervolg van de studie worden uitgezet en waarin voor zover nodig de volgende fase van de studie wordt geprogrammeerd. De commissie is verantwoordelijk voor de tussentijdse rapportages, de interimrapporten en voor het eindrapport van de totale studie. Deelrapporten en interimrapporten worden als twee doorlopende series genummerd. Een overzicht van de reeds verschenen rapporten is als bijlage aan dit deelrapport toegevoegd.

Dit rapport bevat een leidraad voor hydrologische systeembeschrijvingen van natuurgebieden en twee voorbeelden van dergelijke beschrijvingen. Het is bedoeld als aanvulling op het schema voor de ecohydrologische beschrijving van natuurgebieden, dat door SWNBL projectgroep 1 is opgesteld, maar kan desgewenst ook los daarvan worden gebruikt.

De hydrologische systeembeschrijving is vooral gericht op de relatie van de hydrologie in het natuurgebied met die van de omgeving ervan (het lokale en het regionale hydrologische systeem). Deze beschrijving kan fungeren als hulpmiddel bij het waterbeheer van (de omgeving van) het natuurgebied.

Dit rapport is opgesteld door ing. A.J. van Ganswijk, drs. F.A.M. Claessen (beiden RWS, DBW/RIZA) en drs. G. Veenbaas (RWS, DWW) die tevens de eind-redactie verzorgde. Eerdere versies van het rapport zijn in SWNBL-project-groep 4 besproken en opmerkingen/aanvullingen zijn verwerkt. Deze groep bestaat sinds 1 januari 1987 uit de volgende personen:

dr. ir. P.J.T. van Bakel (ICW);
drs. F.A.M. Claessen (RWS)-projectleider;
ir. P. Groenendijk (ICW);
dr. J.G. de Molenaar (RIN);
ir. C.W.J. Roest (ICW);
ir. C.R. Meinardi; (RIVM);
ir. H. Prak (LD);
ir. E.J.B. Uunk (RWS);
mw.drs. G. Veenbaas (RWS)-secretaris;
ir. G. Verbrugh (RWS);
dr. J.G. Vermeer (SBB);
ing. J. Visser (RIJP);
ir. W.P.C. Zeeman (SBB);

Agenda-lid is:

drs. G. van Wirdum (RIN).

INLEIDING

Een hydrologische systeembeschrijving van een natuurgebied is een - op grond van voorhanden gegevens van velerlei aard - zo goed mogelijke beschrijving van het hydrologische systeem binnen en rondom dat gebied. Het doel van deze beschrijving is een hulpmiddel te hebben voor het waterbeheer van (de omgeving van) het natuurgebied. De beschrijving dient als aanvulling op de - door projectgroep 1 voorbereide - ecohydrologische (standaard)beschrijving van een natuurgebied. De hydrologische systeembeschrijving is vooral gericht op de relatie met de omgeving ervan. Op grond hiervan kan een eerste indruk worden verkregen van de gevoeligheid van het natuurgebied voor veranderingen in de waterhuishouding door gewijzigde omstandigheden (bijvoorbeeld ingrepen) in de omgeving van het natuurgebied.

Een systeembeschrijving is op te vatten als een verbaal model van te onderscheiden hydrologische systemen, voor zover deze invloed uitoefenen op het natuurgebied. De systeembeschrijving dient te bestaan uit de beschrijving van het lokale hydrologische systeem en die van het regionale hydrologische systeem voor zover dit een interactie heeft met het lokale systeem. Ook deze interactie wordt aangegeven.

De beschrijving moet voorts de samenhang tussen oppervlaktewaterstelsel en grondwatersystemen in het beschouwde gebied aangeven en dient in te gaan op zowel de kwantiteits- als de kwaliteitsaspecten ervan. Het accent ligt daarbij op de stof- en waterstromen als functie van plaats en tijd van en naar de wortelzone van waardevolle standplaatsen van plantesoorten in natuurgebieden.

Meestal zijn van een bepaald gebied in Nederland wel beschikbaar - in de vorm van kaarten, jaarboeken, archieven etc. - :

- gegevens over topografie (reliëf, morfologie, hoogteligging, grondgebruik, toponiemen);
- bodemkundige en geologische gegevens;
- gegevens van de grondwaterstanden en van stijghoogten van het grondwater in de verschillende te onderscheiden goed doorlatende pakketten (isohypsenkaarten, grondwatertrappenkaarten, tijd-stijghoogtegegevens etc.);
- geohydrologische opbouw ondergrond (dikte en voorkomen van goed en slecht doorlatende grondlagen);

- fysische (bijvoorbeeld temperatuurpatroon) en hydrochemische gegevens van grond- en oppervlaktewater en neerslag;
- waterstaatkundige gegevens (peilbeheer van het oppervlaktewater, ontwateringssystemen, watervoorzieningssystemen, waterbalansen etc.);
- menselijk handelen in het verleden en heden (beekregulering, landinrichting, waterwinning, beregening, lozing van afvalstoffen, vuilstorten etc.).

Gebruikmakend van de systeembeschrijving kan worden aangegeven welke gebiedsgegevens aanvullend moeten worden ingewonnen, welk type model in bepaalde gevallen (bv. bij de voorspelling van effecten van een waterhuishoudkundige ingreep in een bepaald gebied) het best kan worden toegepast en voor welke schematisatie daarbij moet worden gekozen.

De hydrologische systeembeschrijving is in de volgende "leidraad" in de eerste plaats onderverdeeld in de beschrijving van:

- de huidige toestand
- de waterhuishoudkundige voorgeschiedenis
- toekomstige maatregelen of ingrepen.

Daaraan gaat een korte algemene inleiding vooraf en de beschrijving wordt afgesloten met aanbevelingen en een literatuuroverzicht, waarin de bronnen van de gegevens zijn te vinden.

De beschrijving van de huidige toestand zal in het algemeen het grootste onderdeel vormen. Dit hoofdstuk is hier ingedeeld in een beschrijving van de verschillende kenmerken van het gebied per aspect (geologie, topografie etc. t/m vegetatie) gevolgd door de beschrijving van het systeem (op basis van de gebiedskenmerken). Men zou dit ook kunnen noemen de beschrijving van het patroon en van het proces. Vervolgens worden beide onderdelen verder verdeeld in achtereenvolgens de beschrijving op regionale schaal en op lokale schaal. Lokale schaal houdt in: het natuurgebied of de natuurgebieden waarom het gaat en op regionale schaal beperkt de beschrijving zich tot dat gebied en dat systeem, dat van invloed is op het (de) natuurgebied(en).

In principe zal bij een hydrologische systeembeschrijving deze indeling moeten worden aangehouden. Dit is echter niet altijd noodzakelijk. Wat wel geëist wordt is dat in een systeembeschrijving al deze aspecten aan de orde komen. In de voorbeelden van de Veerstalblokboezem en de Empese en Tondense Heide (volgen na "leidraad") is uitgegaan van dezelfde indeling als hiervoor genoemd.

I LEIDRAAD

Gebiedsnaam:

Beschrijving opgesteld door op (datum):.....

0. Samenvatting

In de samenvatting worden kort vermeld: het doel van de hydrologische systeembeschrijving, de belangrijkste conclusies eruit en problemen die in het gebied een rol spelen.

1. Inleiding

In de inleiding van de hydrologische systeembeschrijving komen het doel ervan en het kader waarin deze is opgesteld aan de orde. Voorts worden de aard van de beschrijving (mate van detaillering) en het probleem (de problemen), dat in het gebied een rol speelt of zich in de toekomst mogelijk zal voordoen, aangegeven.

2. Huidige toestand en waterhuishoudkundige voorgeschiedenis

Gebiedsbeschrijving

(Het volgende heeft betrekking op hoofdstuk 2 en 3):

Verwerk in de gebiedsbeschrijving en de systeembeschrijving (regionaal en lokaal) ook de maatregelen/ingrepen die in het recente verleden hebben plaatsgevonden en die de regionale en/of lokale hydrologie hebben beïnvloed. Hierbij kan gedacht worden aan ruilverkaveling of herinrichting, verandering in ontwateringsdiepte en peilaanpassing, het recht-trekken, uitdiepen, verbreden etc. van beken, aanleg nieuwe waterlopen etc. Ook dienen vermeld te worden: wateraanvoer (herkomst aangeven), beregening (vanuit grond- en/of oppervlaktewater), waterwinning (industrie, drinkwater en omvang van de winning) en bemesting.

Indien mogelijk dienen hierbij ook het jaar van invoering/uitvoering van de maatregel en/of periode waarin de ingreep plaatsvond vermeld te worden. Geef zo mogelijk aan hoe de situatie voordien was alsmede in welke gebiedsdelen de veranderingen zijn opgetreden.

2.1 Regionaal

2.1.1 Geologische opbouw ondergrond en geomorfologie:

Beschrijf de geologische afzettingen in de ondergrond en ontstaanswijze en vorm van het oppervlak voor zover relevant voor het inzicht in de geohydrologische, de geomorfologische en de bodemkundige opbouw van het gebied.

2.1.2 Geohydrologische kenmerken ondergrond:

Geef een schematisatie van de ondergrond qua ligging en dikte van goed doorlatende lagen en slecht doorlatende lagen en vermeld de geohydrologische constanten van de lagen (samenstelling, c, kD en eventueel een anisotropiefactor voor de k-waarde). Geef hierbij aan welke laag in principe mag worden beschouwd als hydrologische basis.

2.1.3 Grondwater:

Omschrijf de voorkomende grondwatertypen naar samenstelling en soortelijke dichtheid (bijvoorbeeld op basis van de indeling van Stuyfzand*). Vermeld stijghoogten van watervoerende lagen en het freatisch grondwater (gemiddelde waarden, gemiddeld hoogste en laagste waarde, grondwatertrappen, tijd-stijghoogtegegevens).

2.1.4 Oppervlaktewater:

Beschrijf het regionale stelsel van waterlopen in het gebied, namelijk de meren, kanalen, boezems, kleine rivieren en beken en hun onderlinge samenhang. Vermeld de ligging van kunstwerken en de bodemdiepte en (streef)peilen van de verschillende onderdelen van het waterstelsel.

Illustreer de gebiedsbeschrijving met kaartmateriaal (geologisch, geomorfologisch, bodem-, grondwatertrappen- en isohypsenkaarten (schaal 1:50.000 of kleiner), waterstaatskaart, watervoorzieningskaart en bodemgebruikskaart; ligging rioolwaterzuiveringsinstallaties, leidingen, drinkwaterwinningsgebieden etc.), representatieve doorsneden door het gebied en tijdstijghoogtelijnen en duurlijnen van stijghoogten etc.

2.2 Lokaal

Geomorfologie:

Beschrijf de hoogteligging met de plaatselijke verschillen in de verschillende gebiedsdelen (voorzover relevant gezien het doel van de betreffende systeembeschrijving). Voeg eventueel een hoogtekaart bij (schaal 1:10.000 of groter).

* Stuyfzand, P.J. 1986, Een nieuwe hydrochemische classificatie van watertypen, met Nederlandse voorbeelden van toepassing. H₂O 19: 562-568.

2.2.2 Bodemtype/-ontwikkeling:

Beschrijf de aanwezige bodemtypen (volgens het systeem van De Bakker en Schelling*) en (vooral bij jonge gronden) de ontwikkeling die in de bodem plaatsvindt. Sluit met de keuze van te beschrijven typen zoveel mogelijk aan bij de (hydrologische) standplaatstypen van de ecohydrologische terreinbeschrijving.

2.2.3 Bodemfysische en bodemchemische eigenschappen:

De volgende parameters spelen een belangrijke rol bij de beïnvloeding van de standplaats door de hydrologie en daarmee in de gevoeligheid van de standplaats voor waterhuishoudkundige ingrepen:

pH-KCl, vochtretentiekarakteristiek, CEC, gehalte aan calcië, gibsië en organische stof. Geef van enkele relevante bodemtypen genoemde eigenschappen (en eventueel overige chemische analyses in een bijlage) weer.

2.2.4 Bodemgebruik:

Vermeld het bodemgebruik en beschrijf het terreinbeheer (bemesting, maaien, beweiden, kappen etc., niets doen).

2.2.5 Grond- en oppervlaktewater:

Geef grondwatertrappen aan (datum kartering vermelden) alsmede tijdstijghoogtegrafieken van het freatisch grondwater. Geef aan welke stijghoogten van het diepe grondwater onder het natuurgebied worden aangetroffen in de loop van het jaar.

Beschrijf het lokale stelsel van waterlopen in het gebied (boezems, leidingen, kavelsloten, greppels) en hun onderlinge samenhang. Vermeld de ligging van gemalen en stuwen en geef eventuele afzonderlijke polderpeilen van diverse gebiedsdelen aan.

Vermeld de aanwezigheid van drains en greppels en geef aan waar inundatie, verdrassing en schijnspiegels optreden alsmede de duur van inundatie.

Vermeld van een aantal relevante plaatsen chemische eigenschappen van grond- en oppervlaktewater, waarbij vooral EGV, pH, Ca, Na, Mg, Cl, SO₄, NH₄, NO₃, PO₄, CO₂, HCO₃ en organische stofgehalte van belang zijn (aangeven welke bemonsterings- en analysetechniek is toegepast, datum geven welke bemonsterings- en analysetechniek is toegepast, datum van monstername alsmede plaats en diepte waar het monster is genomen c.q. de laag waarvoor het monster representatief is).

* Bakker, H. de en J. Schelling, 1966. Systeem van bodemclassificatie voor Nederland; de hogere niveaus. Pudoc, Wageningen.

3. Huidige toestand en waterhuishoudkundige voorgeschiedenis

Systeembeschrijving

(zie hoofdstuk 2)

3.1 Regionaal

3.1.1 Stromingspatronen

Geef de ligging van kwel- en infiltratiegebieden aan.

Welke wateren voeren grondwater af in welke tijd van het jaar, welke verliezen water aan de ondergrond? Geef de grenzen van de systemen aan alsmede de hiërarchie.

Beschrijf de regionale stromingspatronen (vertikaal en horizontaal voorzover van toepassing) van grond- en oppervlaktewater in onderlinge samenhang en in relatie met de seizoenen. Betrek hierin ook globaal het aspect van de waterkwaliteit.

3.2 Lokaal

3.2.1 Stromingspatronen

Beschrijf de relevante lokale stromingspatronen op basis van topografie, hydrografie, bodemkunde, hydrogeologie, seizoen (klimaat) en vegetatiegegevens (afwatering, ontwatering, wateraanvoer en irrigatie, kwel, wegzijging etc.) van grond- en oppervlaktewater in samenhang met omgevende gebieden en stelsels en afhankelijk van het natte en droge seizoen. Verwerk hierin ook het kwaliteitsaspect van het water.

Geef zo mogelijk de gevoeligheid van stromingspatronen voor veranderingen in grondwaterstijghoogten als gevolg van ingrepen van buiten en binnen aan. Idem voor veranderingen in peilbeheer (intern en extern).

3.2.2 Waterbalans

Geef per kenmerkend gebiedsdeel een tabel met neerslag, verdamping, afstroming naar en instroming vanuit zowel oppervlaktewater als aangrenzend gebied (grondwater), onttrekking, infiltratie, afpompen, inpompen, beregening. Bij neerslag- en verdampingsgegevens specifiek vermelden of deze berusten op plaatselijk onderzoek of op analyse van meteorologische waarnemingen uit de betreffende regio. Geef de periode aan waarop de gegevens betrekking hebben. Sommeer achtereenvolgens de aanvoerposten en de afvoerposten, indien alle posten bekend zijn. Stel zo mogelijk een waterbalans op van een droge periode en één van een natte periode.

3.2.3 Stoffenbalans

Vermeld per kenmerkend gebiedsdeel of voor de hele regio (voor zover relevant) aan- en afvoer van nutriënten en verontreinigende stoffen via natte en/of droge depositie, bemesting, mestuitspoeling en ligging (eventueel verplaatsing afhankelijk van het seizoen) van de grens tussen zout en zoet grondwater of lithoclien en atmoclien grondwater (regenwaterachtig en grondwaterachtig) etc. (Van Wirdum*).

De beschrijving dient vooral inzicht te geven in de toestand van en ontwikkelingen in de stoffenbalans van relevante standplaatstypen.

4. Conclusies

In de conclusies worden de voornaamste aspecten van het hydrologische systeem (regionaal/lokaal) genoemd:

- Belangrijkste aanvoer van water/stoffen via oppervlaktewater en grondwater.
- Belangrijkste afvoer van water/stoffen via oppervlaktewater en grondwater.
- Belangrijkste standplaatstypen.
- Stuurvariabelen in het waterbeheer, waarmee de standplaatsfactoren beïnvloed kunnen worden.

5. Toekomstige maatregelen of ingrepen

5.1 Aard maatregel/ingreep; effecten; invloedsgebied:

Geef aan welke maatregelen worden voorgenomen of reeds in uitvoering zijn, die van invloed (zullen) zijn op de hydrologie van de regio of van kleinere gebiedsdelen.

Hierbij kan gedacht worden aan herinrichting, verandering in ontwateringsdiepte en peil aanpassing, het rechte trekken, uitdiepen, verbreden etc. van beken, de aanleg van nieuwe waterlopen etc. Ook wateraanvoer en waterwinning dienen hierbij vermeld te worden.

* Wirdum, G. van, 1980. Eenvoudige beschrijving van de waterkwaliteitsverandering gedurende de hydrologische kringloop ten behoeve van de natuurbescherming. In: Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, Waterkwaliteit in grondwaterstromingsstelsels. Rapporten en nota's 5, Den Haag, 118-143.

5.2 Effect op natuurbehoudswaarde:

Beschrijf de effecten van maatregelen of ingrepen op aanwezige gebieden met natuurbehoudswaarde en vermeld zo mogelijk de voorwaarden voor het behoud van deze waarde. Voeg zo mogelijk een kaart bij, waarop is aangegeven welke gebiedsdelen - hydrologisch gezien - gevoelig zijn voor maatregelen.

5.3 Alternatieven/tegenmaatregelen:

Geef aan welke alternatieven mogelijk zijn voor de beschreven maatregel of ingreep en/of beschrijf tegenmaatregelen, die ongewenste gevolgen kunnen beperken.

6. Aanbevelingen

In dit hoofdstuk kunnen belangrijke leemten in kennis worden aangegeven. Voorts kan worden vermeld welk onderzoek (werkwijze, plaats) noodzakelijk is om deze leemten op te vullen zodat een antwoord zou kunnen worden gevonden op de problemen die zich in het gebied voordoen of mogelijk nog zullen voordoen.

7. Literatuur/referenties

Het is van belang om nauwkeurig aan te geven (in tekst verwijzen naar literatuurlijst) wat de bronnen zijn geweest van de diverse gegevens.

IIA NATUURTERREIN VEERSTALBLOKBOEZEM

Hydrologische systeembeschrijving

Samenstelling: A.J. van Ganswijk, 1 juni 1987

0. Samenvatting

Ten behoeve van een samenhangend waterbeheer van natuurterreinen is een hydrologische systeembeschrijving opgesteld, waarin de lokale en regionale watersystemen worden aangegeven, alsmede hun samenhang.

Het natuurterrein "De Veerstalblokboezem" ligt in de Krimpenerwaard aan de Hollandsche IJssel tegenover Gouda. De ondergrond van het terrein bestaat uit 6,5 m recent gevormd los veen, rustend op een kleilaag van variabele dikte, waarbeneden een watervoerende zandlaag is gelegen.

De waterbeweging in het terrein wordt beheerst door de wegzijging en door het opzetten van het oppervlaktewaterpeil in het terrein met 10 cm ten opzichte van de omringende polders.

Ten behoeve van het opzetten van het peil en de aanvulling van de wegzijgingsverliezen, wordt polderwater ingepompt. Dit water is echter eutroof en daardoor mogelijk minder geschikt voor de aanwezige vegetatie, die is ingesteld op voedselarm water. In de watergangen van het terrein treedt enige kwaliteitsverbetering op door bijmenging met voedselarm regenwater dat in het natuurgebied is gevallen en het slotenstelsel is zo ingericht, dat daarvan maximaal gebruik wordt gemaakt.

Het slootwater dringt het veen binnen. In de appendix is voor een vereenvoudigd systeem de ligging van het scheidingsvlak tussen grondwater afkomstig van slootwater enerzijds en van regenwater anderzijds berekend. De indringing van slootwater blijkt toe te nemen met het verschil van wegzijging en netto neerslag. In het droge seizoen is het verschil positief en dringt het slootwater binnen en in het natte seizoen is het verschil negatief en wordt het slootwater teruggedrongen. Indringing en terugdringing nemen beide toe met de kavelbreedte.

Gezien de variatie in de dikte van de kleilaag onder het veen is de wegzijging in het noordwestelijke deel van het terrein waarschijnlijk groter dan in het zuidoostelijke. Tengevolge hiervan is in het noordwesten de indringing van slootwater eveneens groter en de terugdringing daarentegen kleiner dan in het zuidoosten. Dit verschil wordt nog versterkt doordat de kavelbreedte in het noordwesten ook groter is. Hierdoor ligt het scheidingsvlak aan het einde van het zomerseizoen in het noordwesten waarschijnlijk verder kavelinwaarts van de sloot dan in het zuidoosten.

Ten slotte worden enige aanbevelingen gedaan voor maatregelen om de vershraling van het terrein te bevorderen door middel van stuwbeheer en voor nader onderzoek.

1. Inleiding

In 1982 is de Studiecommissie Waterbeheer Natuur Bos en Landschap ingesteld met de opdracht de betekenis van het water, de waterhuishouding en het waterbeheer voor natuur, bos en landschap te onderzoeken. Het is de commissie gebleken, dat voor het beheer van natuurterreinen een hydrologische systeembeschrijving van die terreinen gewenst is. Een dergelijke beschrijving geeft op grond van voor handen zijnde gegevens een eerste schets van het regionale systeem in de omgeving van het gebied en van de deelsystemen erbinen alsmede van hun onderlinge samenhang. De schets beschrijft de systeemprocessen zo mogelijk zowel naar kwantiteit als naar kwaliteit. De beschrijving van het regionale systeem en de samenhang daarvan met de deelsystemen binnen het gebied dient om inzicht te geven in de gevoeligheid van het gebied voor ingrepen in de waterhuishouding van de omgeving.

De beschrijving van de deelsystemen moet inzicht geven in de mogelijkheden om door ingrepen binnen het terrein het beheersdoel dichterbij te benaderen. Op grond van deze eerste schets kan worden beoordeeld of nader onderzoek nodig is en zo ja welk.

Het onderhavige rapport is een proeve van een systeembeschrijving van het natuurterrein Veerstaalblokboezem nabij Gouda om ervaring ermee op te doen en het nut ervan te leren kennen.

Het beheer van dit natuurterrein heeft tot doel het drasse en schrale hooiland op oligotroof veen in stand te houden. Ten einde het terrein dras te houden wordt het peil ervan 10 cm opgezet ten opzichte van de omringende polders, mede om de invloed van peilverlagingen in die polders tegen te gaan. Ten behoeve van het opzetten moet in het droge seizoen polderwater worden ingepompt. Dit polderwater is echter eutroof en bevordert derhalve een vegetatie die de gewenste vegetatie, aangepast aan voedselarmoede, dreigt te verdringen. Belangrijke vragen zijn hoe de aanvoer van voedingsstoffen kan worden verminderd en hoe ver het eutrofe water het veen binnendringt.

2. Gebiedsbeschrijving

2.1. Regionaal

Met terrein is gelegen in de Krimpenerwaard aan de Hollandsche IJssel tegenover Gouda. De ligging is aangegeven op de kaart van fig. 1, die is ontleend aan de Provinciale Waterstaats-kaart (1).

Geologi- De geologische opbouw kan eenvoudig worden beschreven aan de hand van
sche op- het profiel van fig. 2 waarvan de profiellijn is aangegeven op fig.
bouw 1. Op het profiel is de hydrologische schematisatie aangegeven zoals
die is opgesteld in de Grondwaterkaart (2). Deze schematisatie bestaat
Geohydro- uit een afwisseling van watervoerende pakketten en scheidende lagen,
logische afgedekt door een slecht doorlatend pakket. De watervoerende pakketten
schemati- bestaan uit goed doorlatend zand en de scheidende lagen zijn opgebouwd
satie uit slecht doorlatende klei-afzettingen. De deklaag bestaat uit klei
en veen.

Geogenese De watervoerende pakketten en scheidende lagen zijn voor het merendeel
van het rivierafzettingen. Omstreeks 10.000 jaar geleden echter drong de zee
Holocene dit gebied binnen en vormde de klei van de deklaag. Deze klei werd ge-
vormd als wadafzetting, die werd opgebouwd vanuit geulen, welke later
gedeeltelijk zijn opgevuld met zand. Ten gevolge van deze ontstaans-
wijze lopen door het onderste deel van de wadafzettingen zandbanen,
die in direct contact staan met het eerste watervoerende pakket en uit
een oogpunt van grondwaterstroming daarmee een geheel vormen. Op fig.
3 is een kaart ontleend aan (3) weergegeven, waarop de zandbanen in
deze omgeving staan aangegeven. Het blijkt dat een belangrijke baan
onder het noordwestelijke gedeelte van het terrein doorloopt.

Na verloop van tijd werden de duinen langs de kust gevormd en werd het
gebied afgesloten van de zee. Het gebied verzoette en op de klei vorm-
de zich een laag veen. In het gebied van de huidige Krimpenerwaard
vormde zich bosveen en in dat van de Zuidplaspolder mosveen. Mosveen
leent zich voor turfwinning en bosveen niet. Op de kaart van fig. 4,
eveneens ontleend aan (3), is de dikte van de deklaag aangegeven. Aan-
gezien het veen in de omgeving van het terrein 6,5 m dik is, kan hier-
uit de dikte van de klei in de deklaag worden afgeleid.

Tussen de gebieden van de Krimpenerwaard en de Zuidplaspolder stroomde
een tak van het Rijnstelsel, de huidige Hollandsche IJssel. Van deze
tak uit werd een kleidek van gemiddeld een halve meter dikte op het
veen gelegd. Dit kleidek wordt met toenemende afstand van de rivier
dunner en ontbreekt in het midden van de Krimpenerwaard.

Historische ingrepen in de geomorfologie	Ten westen van de Hollandsche IJssel werd het mosveen weggegraven voor de turfwinning, waardoor de diepe Zuidplas ontstond. In 1839 werd de plas ingepolderd, waardoor de kleiige wadafzettingen, voorzover tenminste niet met veenresten bedekt, aan de oppervlakte kwamen.
Oppervlakte water	Door de ontwatering ten behoeve van de landbouw klonken deze lagen sterk in, waardoor het maaiveld in deze polder nog verder daalde en in grote delen onder NAP -6 m is komen te liggen. In de omgeving van Gouda wordt het polderpeil 's winters op NAP -6,4 m en 's zomers op NAP -6,2 m gebracht (fig. 1). Ook het veen in de Krimpenerwaard is ten behoeve van de ontginning ontwaterd en tengevolge hiervan ingeklonken. Deze klink gaat nog steeds voort. Het maaiveld in deze waard is nu tot 1,6 à 2 m beneden NAP gedaald en het peil van de polder Stolwijk, waarin het natuurterrein gelegen is, wordt nu zomer en winter op NAP -2,0 m gehouden. Het gedeelte van de Hollandsche IJssel waaraan het natuurterrein ligt, staat in open verbinding met de Nieuwe Maas en ondervindt derhalve de invloed van het getij. Bij Gouda is de gemiddelde hoogste stand NAP +1,34 m en de gemiddelde laagste NAP -0,28 m.
Grondwater	De grondwaterspiegel in deze twee polders kan ongeveer op het jaargemiddelde van het betreffende polderpeil worden verondersteld.

2.2. Lokaal

Ligging	Het terrein wordt weergegeven op de kaart van fig. 5 die is ontleend aan de beheersrichtlijn van de Stichting "Het Zuidhollands Landschap" (4), de eigenaresse.
Historisch grondgebruik, landinrichting	Het terrein is tot 1872 als boezem gebruikt, waartoe de kaden, die de randen van het gebied vormen, ruim vier eeuwen geleden zijn opgeworpen. Het materiaal voor de kaden is verkregen door het kleidek, dat als een laag van ongeveer een halve meter dikte het terrein bedekte en in de omgeving nog aanwezig is, af te graven. In de zuidhoek heeft de molen gestaan, die het water uit de polder opmaalde tot boezempeil. In het noordwesten was in de rivierdijk een spuisluis gebouwd, waardoor de boezem bij lage rivierstanden op de Hollandsche IJssel kon lozen. Na 1872 was de boezem niet meer nodig voor de handhaving van het polderpeil en derhalve is de rivierdijk ter plaatse van de spuisluis gedicht. De boezemkaden zijn sindsdien grotendeels afgegraven, zodat zij nog slechts enkele decimeters boven het maaiveld uitsteken. Van de boezem resteerde een plas van twee meter diep met de waterspiegel op polderpeil. In deze plas trad veengroei op en daardoor verlandde de plas op den duur geheel.
Geomorfologie	

Het nieuw gevormde veen is een los trilveen met als maaiveld een horizontaal vlak ongeveer 20 cm boven het polderpeil.

Bodemtype Het bodemtype is waarschijnlijk, afgaande op de ontstaanswijze, een vlietveengrond. De bodemfysische en bodemchemische eigenschappen zijn nog niet onderzocht.

Bodem- De kaart op fig. 5 geeft het bodemgebruik aan.

gebruik Het beheer is op verschraling gericht. Een volledige beschrijving van beheer en vegetatie is te vinden in (4).

Grondwater De grondwaterspiegel kan het gehele jaar door op ongeveer het gemiddelde slootpeil worden verondersteld. Deze bevindt zich dus steeds op 5 tot 20 cm onder het maaiveld en de grondwatertrap is dus I.

Oppervlak- "Het Zuidhollands Landschap" heeft het water in de voormalige boezem
tewater in 1971 met dammen en een damwand van de polder afgesloten. In de zuidhoek wordt polderwater naar binnen gepompt tot het peil 10 cm ten opzichte van het polderpeil is opgezet. De pomp slaat aan als het peil tot 6 cm boven polderpeil is gezakt en slaat af als het peil op 10 cm boven polderpeil is gebracht. Het binnengepompte water dient niet voor doorspoeling, maar voor aanvulling van de verliezen door wegzijging en verdamping. Het binnengepompte water stroomt in de op fig. 5 aangegeven richting tot in de middensloot. Het ingelaten polderwater is eutroof (tabel 1 op bijlage 1, verstrekt door (5)), maar tijdens de stroming naar de middensloot wordt in het natuurterrein gevallen regenwater bijgemengd en worden er wellicht ook voedingsstoffen aan onttrokken, met als resultaat dat, zoals uit enkele waarnemingen is gebleken, het water in de middensloot mesotroof is.

Naast de pomp is een overlaat gesitueerd waarover water wordt afgelaten als de waterspiegel in het terrein door neerslag meer dan 10 cm boven polderpeil stijgt. Dit is het enige lozingspunt van het terrein.

3. Systeembeschrijving

3.1. Regionaal

Oppervlakte- In 2.1. is vermeld dat de polderpeilen in de Krimpenerwaard op NAP
water -1,7 à -2,0 m worden gehouden en in de Zuidplaspolder op dieper dan
Grond- NAP -6 m. De grondwaterspiegel kan op ongeveer dezelfde hoogte als het
water jaargemiddelde van de polderpeilen worden verondersteld. Ook is ver-
meld dat op de Hollandsche IJssel het gemiddelde hoogste peil NAP
+1,34 m en het gemiddelde laagste peil NAP -0,28 m bedraagt.
De kaart op fig. 6 geeft de stijghoogten in het eerste watervoerende
pakket. Deze kaart is ontleend aan (3). In het profiel van fig. 2 is
het stijghoogteverloop eveneens aangegeven. Het getij op de Holland-
sche IJssel plant zich voort in het grondwater in het eerste watervoe-
rende pakket en de op de kaart weergegeven stijghoogten zijn daarvoor
gecorrigeerd. Evenals het polderpeil is de stijghoogte in de Krimpe-
nerwaard hoger dan in de Zuidplaspolder. Daartussen daalt de stijg-
hoogte geleidelijk. Uit vergelijking met de kaart van fig. 1 blijkt,
dat in de Krimpenerwaard de stijghoogte lager is dan het polderpeil en
Grondwater- in de Zuidplaspolder hoger. Uit de ellipsvormige isohypsen in Gouda
onttrekking blijkt het effect van een onttrekking van 1,35 miljoen m³ per jaar aan
het eerste watervoerende pakket door het bedrijf Unichema. Op de kaart
van fig. 7 is de verlaging ten gevolge van deze onttrekking en de loop
der isohypsen zonder de onttrekking aangegeven (ontleend aan (3)).
Stromings - Uit de constellatie van peilen en stijghoogten blijkt, dat in het be-
patroon treffende deel van de Krimpenerwaard en in de Hollandsche IJssel weg-
zijging naar het eerste watervoerende pakket optreedt, het grondwater
door dat pakket naar de Zuidplaspolder stroomt en daar opkwelt. De
Krimpenerwaard verliest derhalve water en deze verliezen worden aange-
vuld door kwel vanuit de Lek aan de zuidrand van de waard en zonodig
ook door inlaten uit die rivier.
In (3) is gevonden dat bij Gouderak, waar de omstandigheden overeen-
komen met die in de omgeving van het natuurterrein, de verticale weer-
stand van de deklaag tegen wegzijging in de Krimpenerwaard 5600 tot
7500 dagen bedraagt. De verticale weerstand tegen inzijging van de
Hollandsche IJssel blijkt minstens 2500 dagen te zijn, maar een waarde
van 6000 tot 10.000 dagen is waarschijnlijker, aangezien de bodem van
de rivier is dichtgeslibd.

Uit deze waarden voor de weerstand en de verschillen van polder- en rivierpeil met de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket, volgt dan voor de inzijging in de Krimpenerwaard een waarde van 0,5 mm/dag en voor de Hollandsche IJssel dezelfde waarde in geval van de hoge weerstand en van 2 mm/dag in geval van de lage weerstand. Aangezien het peil in de Hollandsche IJssel enkele meters hoger staat dan het polderpeil in de Krimpenerwaard, is een grondwaterstroom van de rivier naar de polder niet uitgesloten. Deze stroom kan niet door het eerste watervoerende pakket gaan, omdat daarin de stijghoogtegradiënt de tegenovergestelde richting heeft. Indien een dergelijke stroming inderdaad optreedt, moet deze dus door de deklaag gaan en zal dan waarschijnlijk zijn weg door het veen zoeken, aangezien dat het meest doorlatende deel van die laag is. De stroom kan de vorm van dijkskwel hebben of diepere banen volgen en verder landinwaarts dringen. Het is niet waarschijnlijk dat dit water diep het land indringt, omdat reeds op geringe afstand van de dijk wegzijging naar het eerste watervoerende pakket zal optreden.

3.2. Lokaal

Stromings- Het lokale systeem van het natuurterrein onderscheidt zich van het patroon regionale, doordat het slootpeil 10 cm is opgezet ten opzichte van het peil in de omringende polder, de polder Stolwijk in de Krimpenerwaard. Ten gevolge van deze kleine peilverhoging zal de wegzijging naar het eerste watervoerende pakket in geringe mate verhoogd zijn, kan een kleine grondwaterafstroming naar de omringende polder optreden en wordt eventuele indringing uit de Hollandsche IJssel afgeremd of verhinderd.

De wegzijging naar het eerste watervoerende pakket vindt over het gehele oppervlak van het terrein plaats. Ten gevolge hiervan en van de verdamping daalt de grondwaterspiegel, zodat het slootwater zijdelings de grond kan indringen om het grondwater aan te vullen. Door regen stijgt de grondwaterspiegel, waardoor deze kan opbollen boven het slootpeil en de grondwaterstroming een component krijgt naar de sloten. Zo ontstaan de stromingspatronen geschetst in fig. 8. Tussen de sloten bevindt zich een lichaam grondwater, gevormd uit regenwater, dat al naar gelang zich natte of droge perioden voordoen, inkrimpt of uitdijt.

De wegzijging kan worden berekend uit de waterbalans. Voor een dergelijke berekening zijn nog slechts fragmentarische waarnemingen beschikbaar.

In de appendix is op grond van deze fragmentarische waarnemingen een eerste benadering van de waterbalans gemaakt. Voor de wegzijging wordt dan 1,5 mm/dag gevonden en bij een gemiddeld verschil van 1,85 m tussen de grondwaterspiegel en de stijghoogte volgt daaruit een verticale weerstand van de deklåag van 1200 dagen. Deze weerstand is veel lager dan die gevonden in (3) bij Gouderak en opgegeven in de vorige paragraaf. Deze lagere uitkomst voor de verticale weerstand wordt misschien veroorzaakt door grote fouten in de voorlopige waterbalans. Het is echter ook mogelijk dat de verticale weerstand in het terrein inderdaad veel lager is, omdat de deklaag hier dunner is. Op de kaart van fig. 4, ontleend aan (3), is de dikte van de deklaag weergegeven en voor een groot deel van het noordwesten van het terrein blijkt deze minder dan 8 m te bedragen. Aangezien het veen 6,5 m dik is, blijft dan voor de klei in de deklaag nauwelijks 1 m over. Daar de weerstand van klei waarschijnlijk veel groter is dan die van het losse veen in deze voormalige boezem, wordt de totale weerstand van de deklaag sterk verlaagd door deze reductie van de kleidikte.

Het ingelaten polderwater en daardoor ook het slootwater, is rijk aan voedingsstoffen (tabel 1 op bijlage 1). Het regenwater is evenwel oligotroof. Voor het natuurbeheer is het dus interessant te weten, waar het scheidingsvlak tussen de typen grondwater afkomstig van sloot- en regenwater zich bevindt. In werkelijkheid is het scheidingsvlak waarschijnlijk een geleidelijke overgang, een gradiënt.

In de appendix is op grond van een vergaande vereenvoudiging van het systeem een eerste benadering van de ligging van het scheidingsvlak tussen het sloot- en regenwater in het veen berekend. De resultaten zijn slechts indicatief, maar het blijkt dat de indringing van slootwater in het veen toeneemt met de kavelbreedte en de wegzijging. In het model is de indringing zelfs evenredig met de kavelbreedte, maar in werkelijkheid zal zij bij grote breedten waarschijnlijk procentueel kleiner zijn dan bij kleine breedten.

De wegzijging is waarschijnlijk niet over het terrein constant. De kaarten van fig. 3 en 4 geven aan, dat in het noordwestelijk deel een zandbaan de klei van de deklaag dunner maakt, waardoor de verticale weerstand daar wordt verminderd. Bovendien is in dit deel het verschil tussen polderpeil en stijghoogte in het eerste watervoerende pakket groter dan in het zuidoostelijk deel (fig. 6). Beide factoren versterken de wegzijging. Daarnaast is in het noordwesten de kavelbreedte tweemaal zo groot als in het zuidoosten.

De indringing is dus vermoedelijk in het noordwestelijk deel aanmerkelijk groter dan in het zuidoostelijk deel.

Zoals reeds is opgemerkt, verbetert de kwaliteit van het ingepompte water gaandeweg gedurende de stroming. Het binnengepompte polderwater komt het eerst in de karpervijver (fig. 5), waar vanwege de grotere inhoud een relatief lange verblijftijd en sterke zuivering verwacht mogen worden. Daarna komt het slootwater in het noordwestelijke deel van het terrein, waar de indringing waarschijnlijk sterker is dan in het zuidoostelijke deel. Als het slootwater in het deel met de sterkste inzijging aankomt, is het dus al enigszins gezuiverd.

Invloed	Uit de kaart van fig. 7 blijkt, dat de verlaging van de stijghoogte in
grondwater-	het eerste watervoerende pakket ten gevolge van de onttrekking van
onttrekking	Unichema in 1984 in het terrein waarschijnlijk ongeveer 0,7 m heeft
op wegzij-	bedragen. Dit was toen ongeveer een derde van het totale verschil van
ging	polderpeil en stijghoogte. Zonder de onttrekking zou de wegzijging
	derhalve een derde lager zijn geweest en zouden daarmee de benodigde
	hoeveelheid binnengepompt water en de indringing van het slootwater in
	het veen ook geringer zijn geweest. De onttrekking is de laatste jaren
	verminderd van $2,58 \times 10^6$ m ³ /jaar in 1980 tot $1,35 \times 10^6$ m ³ /jaar in 1984.

4. Conclusies

1. De belangrijkste aanvoer van water en stoffen naar het natuurgebied vindt plaats via twee wegen, te weten neerslag en suppletie met polderwater in droge perioden uit het aangrenzende poldergebied.
2. De belangrijkste afvoer van water en stoffen uit het natuurgebied vindt plaats langs drie wegen: permanente wegzijging naar de diepere ondergrond, verdamping in de zomer en overstort van slootwater in de natte perioden naar het aangrenzende poldersysteem.
3. De bodem van het natuurgebied is gevormd uit zeer drassig verlandingsveen. Het verschil tussen het niveau van het oppervlaktewater en de grondwaterstand is het gehele jaar gering.
4. Wateraanvoer naar en -afvoer van de vegetatiestandplaatsen geschiedt in zo'n veen door neerslag, verdamping en grondwaterstroming.
5. De standplaatstypen zijn:
 - trilveen met vooral atmotroof water in zones op afstand van de sloten,
 - trilveen met permanent of gedurende een deel van het jaar horizontaal indringend slootwater in zones langs de sloten.
6. In het noordwestelijk deel van het natuurgebied is de wegzijging van grondwater naar de diepere ondergrond waarschijnlijk veel groter dan in het zuidoostelijk deel. In gebieden met sterkere wegzijging is de door slootwaterkwaliteit beïnvloede zone langs de sloten breder (noordwestelijk deel).
7. Stuurvariabelen in het waterbeheer, waarmee de standplaatsfactoren beïnvloed kunnen worden, lijken vooral te zijn:
 - door een aangepast peilbeheer met een in de tijd variërend streefpeil kan het areaal met atmotroof water in de wortelzone worden vergroot of verkleind,
 - de waterkwaliteit (nutriënten) van het polderwater verbeteren (door sanering van de bronnen van vervuiling of andere maatregelen),
 - de lengte van de contactzone van bodems met inzijgend slootwater en bodems met atmotroof water kan worden vergroot door het stelsel van sloten in het natuurgebied uit te breiden met zijsloten,
 - de wegzijging naar de diepere ondergrond verminderen (b.v. tegen gaan van de lokale invloed van grondwateronttrekkingen) betekent meer atmotroof bodemwater.

5. Toekomstige maatregelen en ingrepen

Enkele mogelijkheden worden hieronder opgesomd.

Peilverlaging
omringende
polders

In de toekomst zullen waarschijnlijk in de omringende polders van tijd tot tijd peilverlagingen worden doorgevoerd. Ten gevolge van de ontwatering namelijk daalt het maaiveld van het veen 1 tot 5 cm per 10 jaar en voor een economische bedrijfsvoering is daarom een peilverlaging van minstens gelijke grootte nodig. Het streekplan en de 'relatienota' vormen geen beletsel voor deze peilverlagingen, want in het streekplan wordt de omgeving tot veenweidegebied bestemd en het is de bedoeling van de nota om in de aangewezen gebieden zoals de Krimpenerwaard landschappelijke en culturele waarden in harmonie met een economische bedrijfsvoering in stand te houden.

Bij peilhandhaving in het terrein zal door peilverlaging in de omgeving de wegzijging in het terrein enigszins toenemen. De peilhandhaving zal dan het inpompen van meer eutroof polderwater vergen, maar deze vermeerdering is waarschijnlijk niet groot.

Mogelijke
toename grond-
wateronttrekking

Indien de grondwateronttrekkingen in de omgeving toenemen, zal dit een toename van de wegzijging veroorzaken. Dit zal ook weer de voor peilhandhaving benodigde hoeveelheid in te pompen eutroof polderwater doen toenemen. Deze toename kan belangrijk zijn.

Verreweg de grootste onttrekking, die van Unichema in Gouda, is afgenomen $2,58 \times 10^6$ m³/jaar in 1980 tot $1,35 \times 10^6$ m³/jaar in 1984. Deze onttrekking lijkt op het laatst aangegeven niveau gestabiliseerd, maar vergroting van de produktie kan de onttrekking weer doen toenemen.

Vervuild
bodemslib
Hollandsche
IJssel

Het slib op de bodem van de Hollandsche IJssel is sterk vervuild en een sanering van de rivier is wenselijk. Momenteel wordt onderzocht of het mogelijk is om het slib weg te baggeren en wat de gevolgen van deze ingreep zullen zijn. Het baggeren zal de intreeweerstand van de rivierbodem tijdelijk sterk verlagen en de inzijging doen toenemen. Het ingezegen water zal gedeeltelijk in de Krimpenerwaard opkwellen, grotendeels in de vorm van dijkskwel, maar een gedeelte zal verder polderinwaarts naar boven stromen.

Hoe ver het daarbij het natuurterrein zal indringen is moeilijk te schatten. Na verloop van tijd zal de rivierbodem weer dichtslibben, maar hoeveel tijd dat zal vergen is eveneens moeilijk te zeggen.

Lozing	Het Zuiveringschap Hollandsche Eilanden en Waarden deelt mee, dat he-
ongezuiverd	den gedeelten van Gouderak en andere bewoningsconcentraties benevens
afvalwater	enkele industrieën het afvalwater nog ongezuiverd lozen op de polders,
	maar dat zij binnen twee tot drie jaar via de riolering op een zuive-
	ringsinstallatie zullen zijn aangesloten. Hoewel deze installaties nog
Overbemesting	geen defosfaterstrap omvatten, zal dit de kwaliteit van het polder-
	water in belangrijke mate ten goede komen. Het aanpakken van de over-
	bemesting, die ook een sterke invloed heeft op de kwaliteit, wacht op
	landelijke maatregelen.

6. Aanbevelingen

A. Waterbeheer De verschraling van het terrein kan op de volgende manieren worden bevorderd.

Peilverhoging vóór droge seizoenen - In het droge seizoen kan, indien een heftige bui valt op het moment dat de sloten juist op peil gebracht zijn, een gedeelte van de regen over de overlaat afstromen. Door de overlaat aan het begin van het droge seizoen twee centimeters boven het peil, waarop de pomp afslaat, te verhogen kan dit regenwater binnen het terrein gehouden worden en behoeft dus minder eutroof polderwater te worden binnengepompt. Aan het begin van het natte seizoen dient de overlaat weer verlaagd te worden tot het streefpeil om de afstroming en daarmee de terugdringing van in het veen gedrongen slootwater te bevorderen.

Extra peilverlaging in natte seizoenen Gedurende het natte seizoen kan in perioden van een groot neerslagoverschot het peil van de overlaat en van het afslaan van de pomp zelfs enkele centimeters beneden het streefpeil van 10 cm boven polderpeil worden gesteld om de terugdringing te versterken (zie fig. 8). Het is dan echter zaak tijdig, voor de grondwaterspiegel in het begin van het droge seizoen over een groot deel van het oppervlak beneden het streefpeil is gedaald, de overlaat en het afslagpunt weer op het streefpeil te brengen om te voorkomen, dat meer polderwater moet worden ingepompt dan noodzakelijk is.

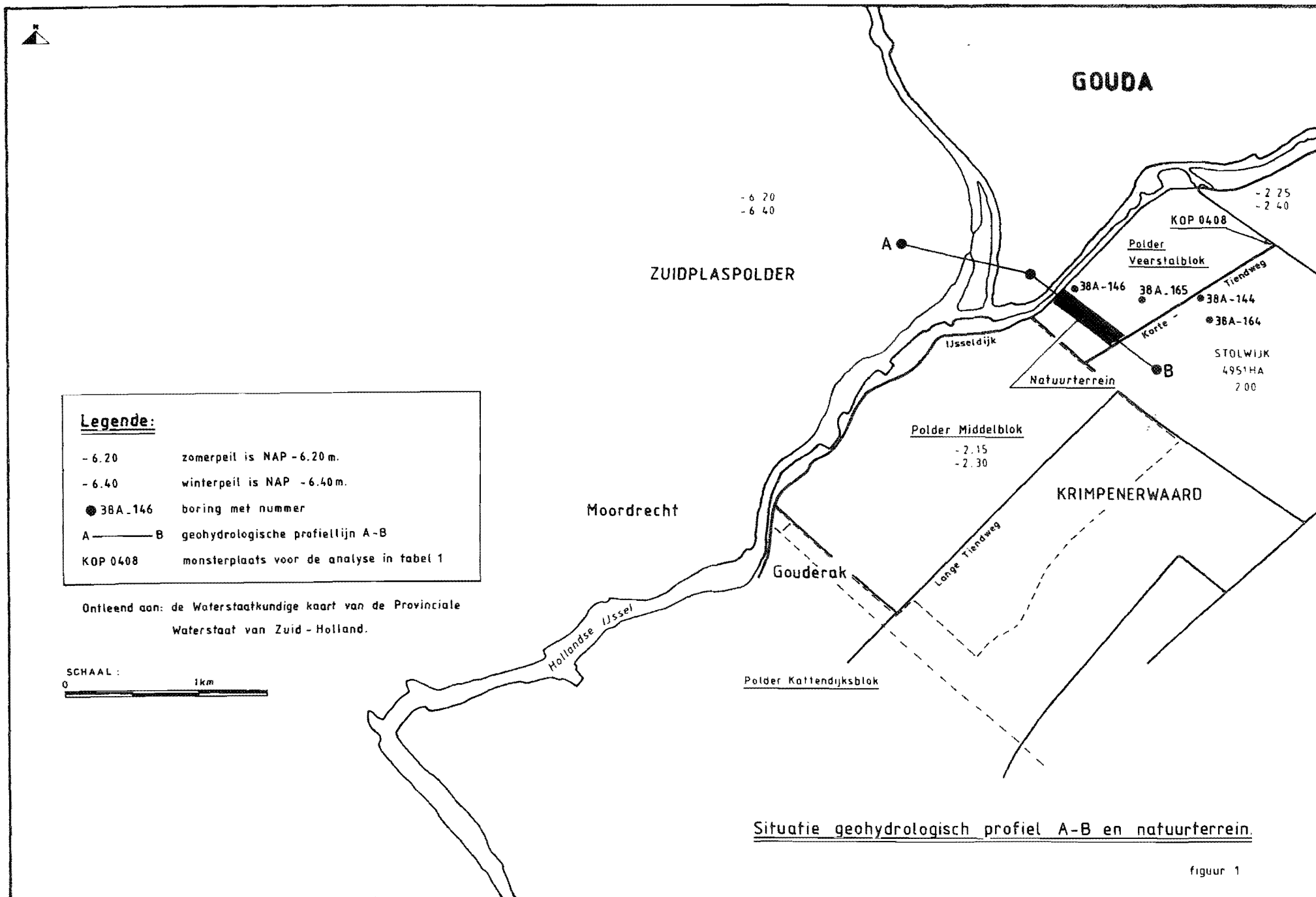
Wateraanvoer uit natuurterreinen - Het binnen te pompen water kan aan de terreinen van de stichting aan de zuidzijde van de Tiendweg worden onttrokken. Dit water zal vanwege het beheer van deze terreinen minder eutroof zijn dan het overige polderwater. Wellicht kunnen deze terreinen met enige eenvoudige ingrepen op overeenkomstige wijze als de boezem worden ingericht, zodat het doorstromende water enigszins wordt gezuiverd. Door het onttrekken van water zal in deze terreinen meer eutroof polderwater binnenstromen dan nu.

Wateraanvoer uit eerste watervoerend pakket
Chloridegehalte - Het ten behoeve van peilbeheersing op te pompen water kan mogelijk aan het eerste watervoerend pakket worden onttrokken, maar er moet worden onderzocht of het grondwater van voldoende kwaliteit is en zal blijven. Het grondwater was 30 jaar geleden op 25 m diepte ter hoogte van de Tiendweg minder eutroof dan het polderwater nu, maar vertoonde een hoger chloridegehalte.

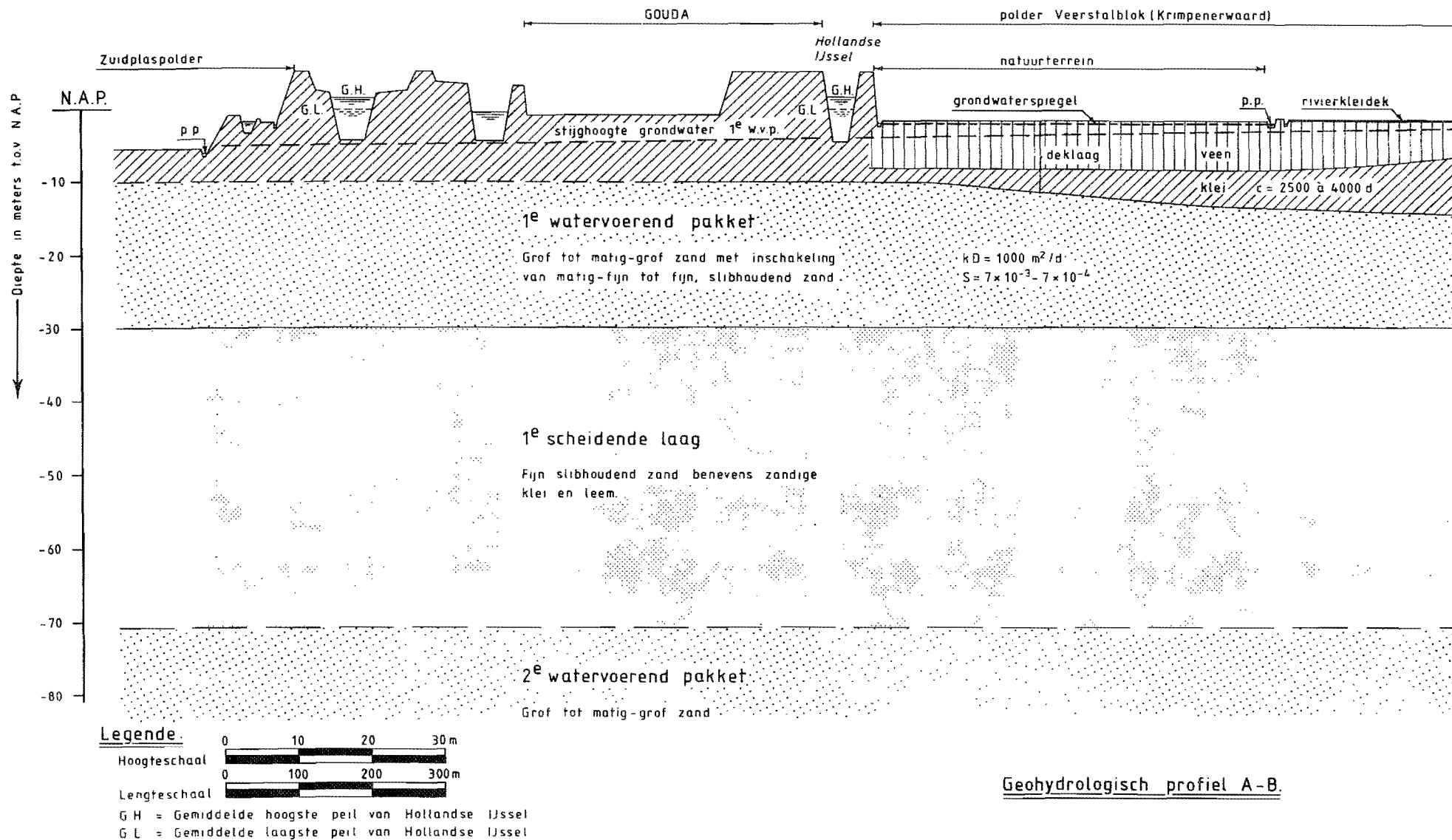
- Nutriënten
- Het chloridegehalte schommelde in het grondwater in 1945 en 1957 tussen 112 en 273 mg/l en in het polderwater in het droge seizoen van 1985 tussen 69 en 232 mg/l (tabel 1, bijlage 1). Misschien is vlak onder de deklaag op 10 m diepte het chloridegehalte lager, maar als dit water onttrokken zou worden ten behoeve van de peilbeheersing, dreigt optrekken van het zoute water en verzilting van het filter. Op 25 m diepte was het totaal fosforgehalte in het grondwater ongeveer een zesde van dat in het oppervlaktewater van nu en het totaal stikstofgehalte van beide was ongeveer gelijk met dien verstande, dat het ammoniumgehalte van het grondwater hoger was. De verschillen kunnen nu kleiner geworden zijn dan 25 jaar geleden.
- B.Onderzoek
- Onderzoek van de waterbalans kan meer inzicht geven in de waterhuishouding van het terrein.
- Metingen water-
kwantiteit
- Uit meting per decade van de neerslag, de hoeveelheid binnengepompt water en de hoeveelheid afgelaten water kan blijken of het peilbeheer beter geregeld kan worden. Gecombineerd met het gemiddelde van de verdamping te Hoek van Holland en De Bilt kan een betere benadering van de wegzijging worden gevonden.
- Metingen water-
kwaliteit
- Ten einde de invloed van de indringing van slootwater in het veen op de plantengroei te onderzoeken zou de indringing zowel in het noordwestelijk deel van het terrein, waar de afstand tussen de sloten de volle breedte van het terrein beslaat, als in het zuidoostelijk deel, waar deze afstand half zo groot is, gemeten moeten worden. De indringing is in het noordwesten waarschijnlijk groot en in zuidoosten klein. De indringing moet blijken uit de kwaliteit van grondwatermonsters. De afstand tot de sloot van de filters, waaraan de monsters onttrokken worden, kan bij de gewenste diepte afgeleid worden uit fig. a9 voor het noordwestelijk deel en uit fig. a10 voor het zuidoostelijk deel. Dit zijn figuren uit de appendix.
De afstand kan uit de figuren worden afgeleid als deel van de halve kavelbreedte.
- Berekening stroming
- Een numerieke, tweedimensionale, niet-stationaire berekening van de stroming in een verticaal vlak loodrecht op de sloot, zou de resultaten van de handmatige benadering in de appendix sterk kunnen verbeteren.

7. Literatuur/Referenties

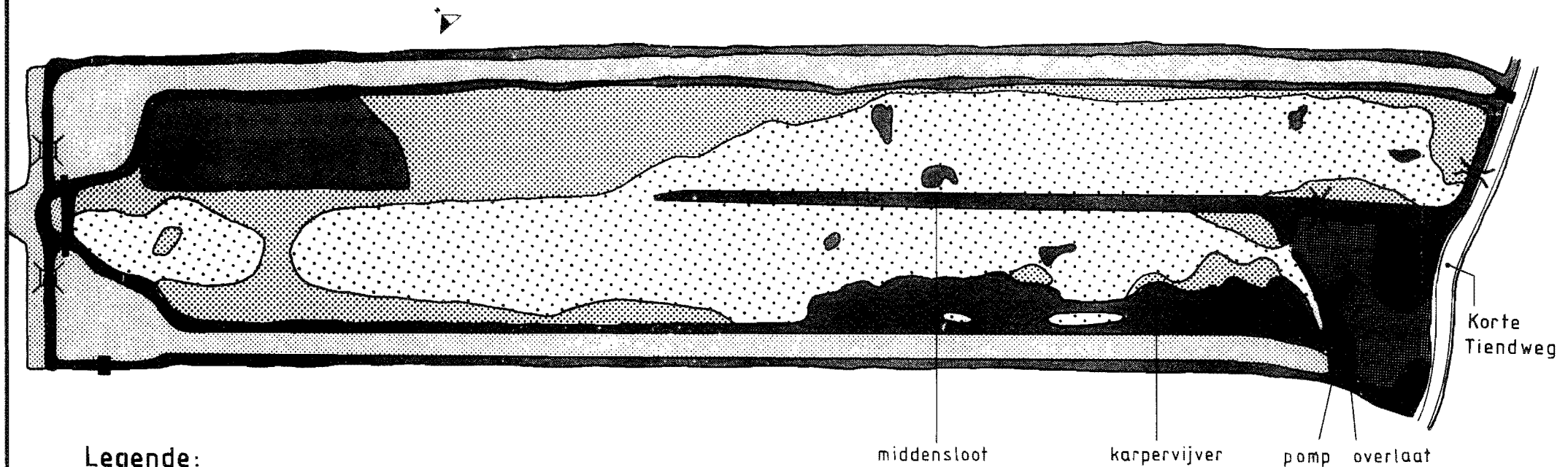
1. Provinciale Waterstaat van Zuid-Holland, Waterstaatskaart 1:25.000, blad 38A, Den Haag, 1981.
2. Grondwaterkaart van Nederland, Deel Gorinchem West, 38 West, DGV/TNO, Delft, 1979.
3. Stroet, C.W., Geohydrologisch Onderzoek Hollandsche IJssel, P.S.B. Zuid-Holland. Den Haag, 1986.
4. Stichting "Het Zuidhollands Landschap", Complex Veerstaalblokboezem, Beheersrichtlijn, Rotterdam, 1982.
5. Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden, Dordrecht.



figuur 1



figuur 2

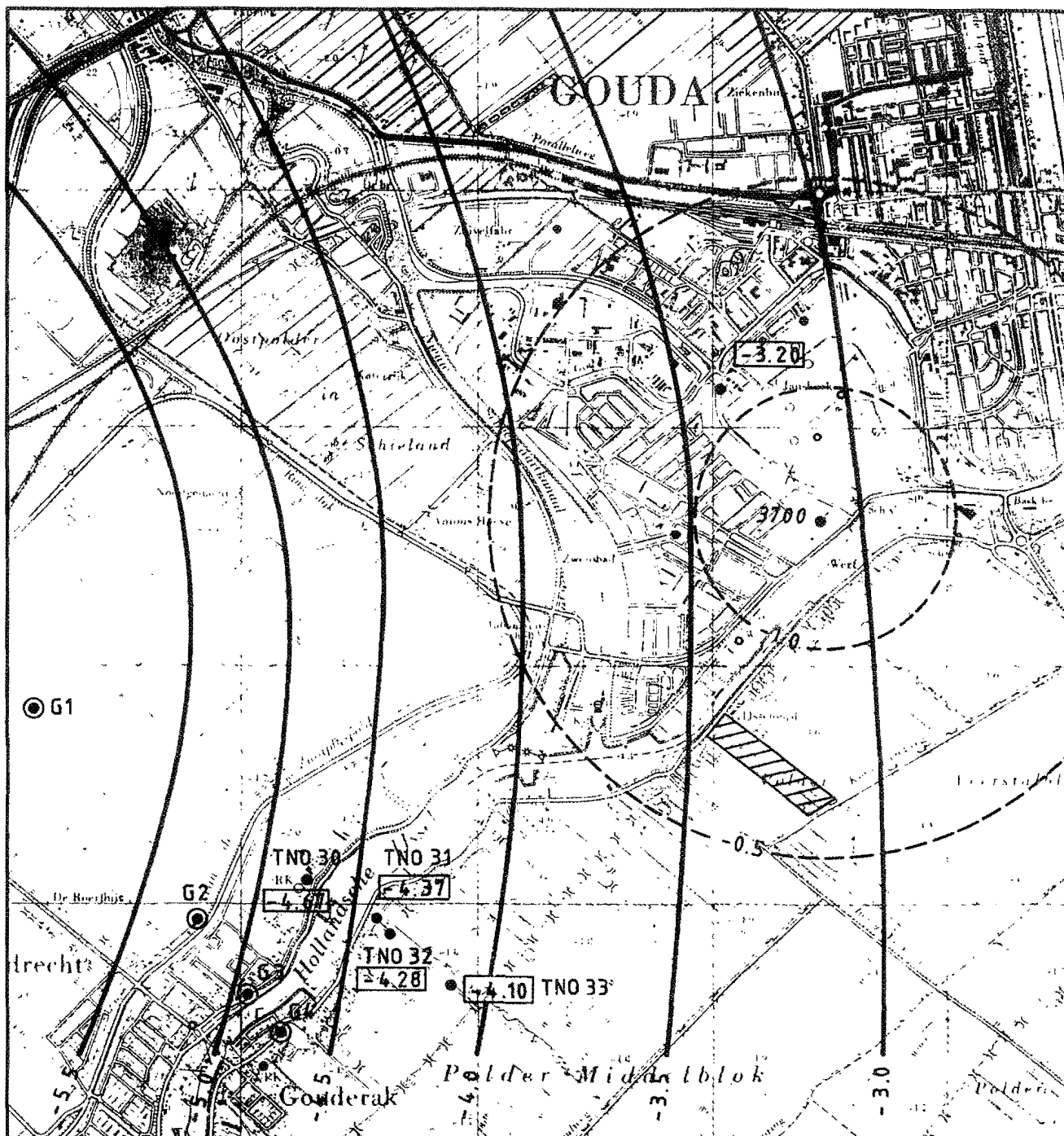


Legende:

-  moerasbos
-  hooiland
-  kaden
-  schraalland
-  water
-  vaste dam
-  vaste dam met afsluitbare doorlaat
-  damwand
-  stroomrichting
-  brug
- SCHAAL:**
0 25 50 meter

Ontleend aan: gebiedsbeschrijving van de stichting 'Het Zuidhollands Landschap'.

Kaart van het natuurterrein Veerstablokboezem.



Legende:

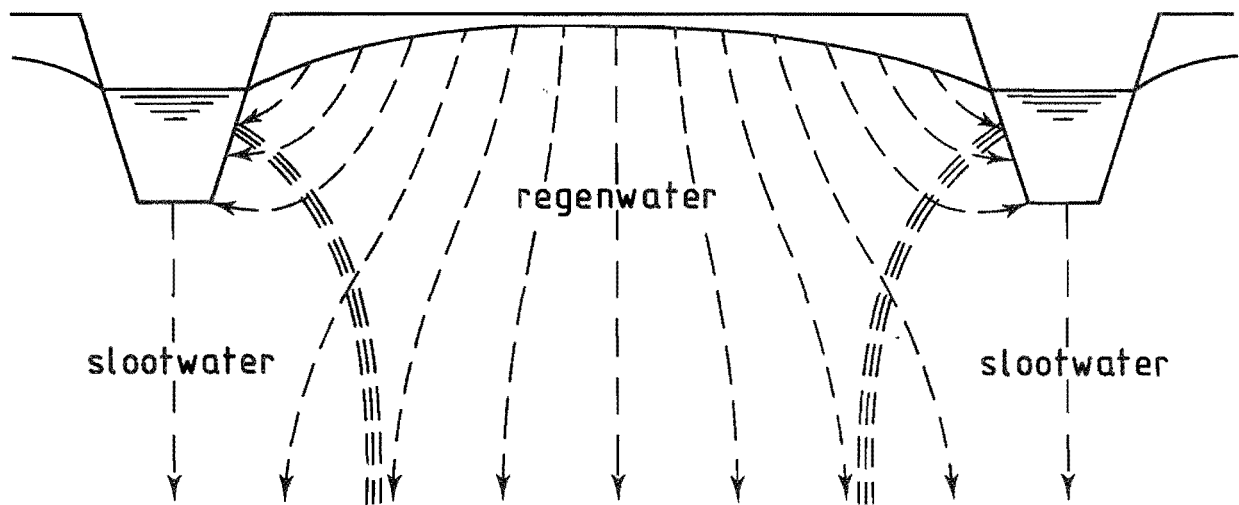
- peilbuis
- G2 peilbuis nr.
- 5.00 — isohypse (meters t.o.v. N.A.P.)
- - -0.5 — invloed Unichema onttrekking bij $Q = 3700 \text{ m}^3/\text{dag}$
- 4.37 aangepaste stijghoogte (meters t.o.v. N.A.P.)
- 3700 onttrekking: debiet $3700 \text{ m}^3/\text{dag} = 1.35 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$
- TNO 33 peilbuis nr. TNO
- boring



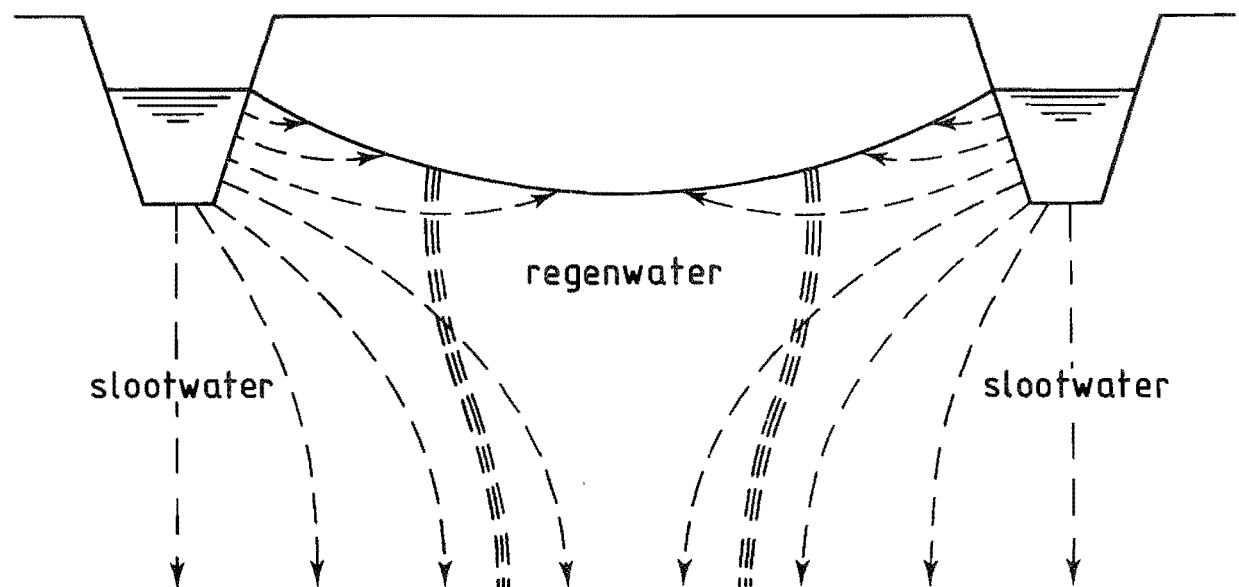
Isohyphen 1e watervoerende pakket; situatie zonder de Unichema onttrekking van 1984.

figuur 7

a. Stroompatroon na een periode van regen.



b. Stroompatroon na een periode van droogte.



Stroompatronen bij wegzijging na perioden van regen en droogte.

* * * ZUIVERINGSSCHAP HOLLANDSE EILANDEN EN WAARDEN SECTOR WATERKWALITEITSBEHEER * * *

CHEMISCH- EN FYSISCH ONDERZOEK VAN OPPERVLAKTEWATER

MONSTERPUNT KOP0408 : RINGVAART TEN N BRUG GOUDERAKSE TIENDWEG

PERIODE : JANUARI 85 - DECEMBER 85

	<u>KLASSE</u>	
GEWENSTE WATERKWALITEIT	:	3
MINIMUM ZUURSTOF WAARNEMING	:	1,7
PERCENTAGE GUNSTIGE ZUURSTOFWAARNEMINGEN	:	25 6
75 PERCENTIELWAARDE BZV	:	13 4
BEREKENDE WATERKWALITEIT	:	6

MAAND	JAN	FEB	MRT	APR	MEI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC
DATUM	14	18	20	24	20	25	23	20	12	23	18	20
TIJD	10,50	10,45	10,00	10,15	10,15	11,50	11,10	10,15	10,15	11,30	10,50	10,55

ANALYSE-RESULTATEN

													MIN	GEM	MAX
PH	7,45	7,80	8,50	8,70	8,75	7,70	7,80	7,40	7,80	7,70	7,40	7,55	7,40	7,75	8,75
TEMP	0,0	1,5	3	10	18,5	17,5	19	18,5	16,5	9,5	2,5	7,5	0,0	9,8	19,0
O2	2,2	18,0	14,3	14,6	17,2	3,0	6,4	1,7	3,9	3,6	3,8	8,4	1,7	5,2	18,0
O2 % VERZ.	15	129	106	142	182	31	68	18	40	31	28	70	15	54	182
B.Z.V.	4	14	25	20	10	5	4	4	4	4	4	8	4	5	25
N-KJELDAHL	5,3	7,0	4,9	5	4,1	3,2	3,8	4,9	3,0	3,0	4,5	5,1	3,0	4,7	7,0
NH4-N	2,6	2,7	0,2	0,1	0,1	2,1	0,8	0,9	0,6	1,8	2,1	2,8	0,1	1,4	2,8
NO2+NO3-N	1,76	1,07	0,93	0,05	2,10	2,25	1,98	1,30	2,73	4,2	1,98	1,16	0,05	1,87	4,20
P-ORTHO	1,1	1,0	0,61	0,56	0,66	0,94	0,89	1,1	0,80	0,87	0,85	0,81	0,56	0,86	1,10
P-TOTAAL	1,3	1,4	0,96	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,0	1,0	1,0	0,88	0,88	1,10	1,40
CHLORIDE	86	63	71	69	143	220	163	156	176	232	96	77	63	120	232
K-20	0,82	0,68	0,61	0,64	0,95	1,13	0,92	0,91	1,04	1,20	0,72	0,66	0,61	0,87	1,20

Appendix

Uitgaande van een vergaande vereenvoudiging is de geohydrologie van het terrein nader onderzocht.

a. Waterbalans

Uit hoofdstuk 2 kan worden afgeleid dat de waterbalans van het terrein bestaat uit de volgende posten;

inkomende hoeveelheden:

neerslag,
binnengepompt water,
kwel uit de Hollandsche IJssel door de veenlaag,

uitgaande hoeveelheden:

verdamping,
afgelaten water,
wegzijging naar het eerste watervoerende pakket,
wegzijging naar de omliggende polder met lager peil.

Het verschil tussen de inkomende en uitgaande hoeveelheden, de bergingsverandering, is over een geheel jaar genomen verwaarloosbaar, omdat het peil in het terrein steeds op ongeveer dezelfde hoogte wordt gehouden. Kwel uit de IJssel is waarschijnlijk nihil omdat de rivierbodem vermoedelijk bijna is dichtgeslibd en de kleine kwelstroom, die eventueel nog bestaat, door de buitensloot, die op het lagere polderpeil wordt gehouden, wordt afgevangen. Wegzijging naar de omringende polder is waarschijnlijk verwaarloosbaar vanwege het geringe peilverschil. Als belangrijkste posten blijven dus over neerslag, binnengepompt polderwater, verdamping, afgelaten overtollige neerslag en wegzijging naar het eerste watervoerende pakket.

De waterbalans wordt dan:

$$n + p = m + w + v$$

waarin n de neerslag,
 p de ingepompte hoeveelheid polderwater,
 m het afgelaten water,
 w de wegzijging en
 v de verdamping is. Alle posten in mm/jaar.

De beheerder heeft over 1977 een neerslagsom van 782 mm gemeten. Hij schat dat tijdens heftige buien een hoeveelheid gelijk aan 10% hiervan is afgelaten. Omdat meetgegevens niet voorhanden zijn, moet worden volstaan met deze ruwe schatting. Op grond van het elektriciteitsverbruik heeft de beheerder berekend, dat in hetzelfde jaar 27.840 m³ polderwater het terrein is binnengepompt. Aangezien de oppervlakte 52.060 m² bedraagt, komt dit overeen met een waterschijf van ca. 530 mm.

De open-waterverdamping berekend volgens Penman bedroeg voor 1977 in Hoek van Holland 729 mm en in De Bilt 645 mm. Indien voor het terrein het gemiddelde van deze waarden wordt aangenomen, levert dat ca. 690 mm op. Aangenomen wordt, dat voor dit drassige terrein geen reductiefactor op de open-waterverdamping behoeft te worden toegepast om tot de werkelijke verdamping te komen.

Voor de wegzijging naar het eerste watervoerende pakket wordt dan gevonden:

$$n - m + p - v = w$$
$$780 - 80 + 530 - 690 = 540 \text{ mm/jaar}$$

Dat betekent, dat de wegzijging ca. 1,5 mm/dag zou bedragen.

Aangezien in het terrein het verschil tussen het slootpeil en de gemiddelde stijghoogte in het eerste watervoerende pakket omstreeks 1,85 m bedraagt, zou de verticale weerstand van de deklaag dan over het terrein gemiddeld op ca. 1200 dagen komen.

In fig. a2 is het neerslagoverschot voor elke maand van 1977 weergegeven. Als neerslag is het gemiddelde neerslagverloop van Hoek van Holland en De Bilt genomen en dit is toegerekend naar het jaartotaal van 780 mm dat op het terrein is waargenomen. Voor de verdamping is voor elke maand het gemiddelde van Hoek van Holland en De Bilt genomen. Naast het neerslagoverschot is de gemiddelde wegzijging per maand aangegeven. In de 8 maanden, waarin het neerslagoverschot kleiner was dan de wegzijging, bedroeg het totale verschil van beide grootheden 610 mm. Dit verschil zou moeten zijn aangevuld met binnengepompt polderwater, maar voor deze post is voor het hele jaar 530 mm gevonden. Misschien is het verschil van wegzijging en neerslagoverschot te groot, doordat voor de wegzijging een te groot bedrag is berekend tengevolge van een te lage schatting van de afgelaten hoeveelheid. Uit fig. a2 blijkt, dat het binnenpompen in het betreffende jaar vermoedelijk alleen in de 8 droge maanden heeft plaats gehad en dat in de 4 natte maanden meer dan 80 mm is afgelaten.

b. Eerste benadering van het scheidingsvlak van de twee typen water in het veen.

Om de waterbeweging in de ondergrond in grove lijnen te benaderen worden een aantal vereenvoudigingen in de stroming aangenomen.

- 1 De wegzijging op het scheidingsvlak van veen en klei op een diepte van 6,5 m beneden maaiveld is in een lijn loodrecht op de hoofdrichting van de sloten in elk punt gelijk.
- 2 De sloot doorsnijdt het veen tot op de klei, zodat de situatie van fig. al wordt berekend.
- 3 De horizontale component van de filtersnelheid is in elk punt van een verticaal gelijk.
- 4 Alleen in het droge seizoen wordt water binnengepompt en in het natte afgelaten.

In het droge seizoen is dus $m=0$ en de balans

$$w_d + v_d - n_d = p,$$

als w_d , v_d en n_d wegzijging, verdamping en neerslag in het droge seizoen zijn.

In het natte seizoen daarentegen is $p=0$ en de balans

$$w_n + v_n - n_n = -m,$$

als w_n , v_n en n_n wegzijging, verdamping en neerslag in het natte seizoen zijn.

- 5 De berekeningen zijn uitgevoerd voor stationaire stroming zowel in het droge als in het natte seizoen.

De hoeveelheid water I_0 , die per strekkende meter sloot het veen binnendringt, kan bij deze aannamen worden berekend uit de waterbalans over het droge seizoen van een strook veen van een meter breed loodrecht op de sloot (fig. al). De balans is:

$$I_0 + B.n_d = B.(w_d + v_d)$$

$$I_0 = B.(w_d + v_d - n_d) = B.p$$

Hierin is B de halve kavelbreedte tussen twee sloten. I_0 is een volumestroom en heeft de dimensie m^3 per seizoen. Op dezelfde wijze blijkt deze volumestroom I op een afstand x van de sloot:

$$I = (B - x).p$$

De horizontale component van de filtersnelheid i (m per seizoen) wordt dan:

$$i = I/D = (B - x).p/D$$

waarin D de dikte van het veen is.

De vorm van de stroomlijnen in het droge seizoen kan worden berekend uit een balans van het deel van de strook onder een stroomlijn over een afstand x van de sloot. De balans wordt (fig. a3):

$$z_0 \cdot i_0 = z(x) \cdot i(x) + w_d \cdot x$$

$$z_0 \cdot B \cdot p/D = z \cdot (B - x) \cdot p/D + w_d \cdot x$$

Door beide leden met $B \cdot w_d$ te verminderen en daarna met D/p te vermenigvuldigen kan dit worden gebracht in de vorm

$$(z_0 - D \cdot w_d/p) \cdot B = (z - D \cdot w_d/p) \cdot (B - x)$$

Dit zijn orthogonale hyperbolen met asymptoten evenwijdig aan de assen maar op afstand $D \cdot w_d/p$ van de x -as en B van de z -as.

De stroomlijnen zijn getekend in fig. a4.

Op overeenkomstige wijze kan de hoeveelheid water J_0 , die in het natte seizoen per strekkende meter uit het veen naar de sloot afstroomt, berekend worden. De waterbalans over een hele strook veen is (fig. a5):

$$J_0 + B \cdot (w_n + v_n) = B \cdot n_n$$

$$J_0 = B \cdot (n_n - w_n - v_n) = B \cdot m$$

De volumestroom J (m^3 per seizoen), op afstand x van de sloot is weer:

$$J = (B - x) \cdot m$$

en de horizontale volumestroomdichtheid i (m per seizoen),

$$i = (B - x) \cdot m/D$$

De vorm van de stroomlijnen in het natte seizoen volgt nu uit de balans onder een stroomlijn over de afstand $B - x$ (fig. a4).

$$(B - x_0) \cdot n_n = (B - x_0) \cdot v_n + (B - x) \cdot w_n + z \cdot i$$

$$(B - x_0) \cdot (n_n - v_n) = (B - x) \cdot w_n + z \cdot (B - x) \cdot m/D$$

$$= (B - x) \cdot (z \cdot m/D + w_n)$$

Beide leden vermenigvuldigen met D/m geeft:

$$(B - x_0) \cdot (n_n - v_n) \cdot D/m = (z + D \cdot w_n/m) \cdot (B - x)$$

De stroomlijnen in het natte seizoen zijn weer orthogonale hyperbolen, maar de asymptoot voor x naar oneindig ligt nu op een afstand $-D \cdot w_n/m$ van de x -as. De stroomlijnen zijn getekend in fig. a6.

Uit de horizontale stroomdichtheid i , kan de afstand, die een waterdeeltje in horizontale richting in een seizoen aflegt, worden berekend. De effectieve horizontale grondwatersnelheid is i/u , als u het poriëngehalte is.

In het droge seizoen is de stroming in de positieve x -richting. Dus

$$(B - x) \cdot p/D/u = dx/dt$$

$$dt \cdot p/D/u = dx/(B - x)$$

$$t \cdot p/D/u = \ln(B - x) + C$$

Aan het begin van het seizoen is $t=0$ en $x=x_b$, dus

$$C = \ln(B - x_b)$$

$$t.p/D/u = \ln(B - x_b)/(B - x)$$

$$\exp(t.p/D/u) = (B - x_b)/(B - x)$$

$$(B - x) = (B - x_b) \cdot \exp(-t.p/D/u)$$

Aan het eind van het seizoen is $t=1$ en $x=x_e$.

$$(B - x_e) = (B - x_b) \cdot \exp(-p/D/u)$$

De indringing van het slootwater is dus evenredig met de kavelbreedte.

In het natte seizoen is de stroming in de negatieve x -richting en geldt dus

$$(B - x) \cdot m/D/u = -dx/dt$$

Dit leidt tot

$$(B - x_e) = (B - x_b) \cdot \exp(m/D/u)$$

Het terugdringen van het binnengedrongen slootwater verloopt dus eveneens evenredig met de kavelbreedte.

Met deze formules kan steeds de x -coördinaat van een deeltje aan het eind van de opeenvolgende seizoenen worden berekend en ingevuld worden in de formule van de betreffende stroomlijnen. Zodoende kan de weg van het deeltje worden gevonden. In fig. a7 is de weg van een deeltje op het scheidingsvlak getekend uitgaande van de veronderstelling, dat $u=1/2$ en de verschillende termen van de waterbalans elk jaar de waarden van 1977 hebben. Bovendien is verondersteld, dat in ieder punt van het gebied de wegzijging gelijk is aan de gemiddelde wegzijging van het gehele gebied. Fig. a7 geeft voor die veronderstellingen de ligging van het scheidingsvlak aan op het einde van het droge en van het natte seizoen. Omdat uitgegaan is van de gemiddelde wegzijging is dit de gemiddelde ligging in het gebied.

De wegzijging is waarschijnlijk niet over het terrein constant. De kaarten van fig. 3 en 4 geven aan, dat in het noordwestelijk deel een zandbaan de klei van de deklaag dunner maakt, waardoor de verticale weerstand wordt verminderd. Bovendien is in dit deel het verschil tussen polderpeil en stijghoogte in het eerste watervoerende pakket ($pp - f$) groter dan in het zuidoostelijk deel (fig. 5). Beide factoren versterken de wegzijging.

In het noordwestelijke deel zou de verticale weerstand plaatselijk 1100 dagen kunnen zijn en is $pp - f$ omstreeks 1,9 m. In het zuidoostelijk deel kan de verticale weerstand 6000 dagen bedragen en is $pp - f$ ongeveer 1,7 m. Dit kan plaatselijk in het noordwesten een gemiddelde wegzijging per maand van 52,5 mm geven en in het zuidoosten van 8,6 mm.

De hoeveelheid slootwater die een strook binnendringt, kan berekend worden uit de belans van die strook over een droog seizoen:

$$p = w_d + v_d - n_d$$

en de hoeveelheid grondwater die uitstroomt naar de sloot, uit de belans over een nat seizoen;

$$m = n_n - v_n - w_n$$

Met deze gegevens kan de ligging van het grensvlak van sloot en regenwater in het veen in stroken met sterke en zwakke wegzijging worden berekend.

Als voorbeeld is een berekening uitgevoerd over een verloop van jaren. Omdat van het gebied nog weinig bekend is, is hiervoor uitgegaan van de gemiddelde maandsommen van de neerslag en de verdamping te De Bilt. Het verschil van deze posten is uitgezet in fig. a8 tezamen met de gemiddelde maandelijkse wegzijging die zou kunnen optreden in een strook in het noordwestelijke en in het zuidoostelijke deel van het terrein. De hoeveelheid binnengedrongen slootwater wordt dan in de figuur weergegeven door de oppervlakte onder de wegzijgingslijn en boven de lijn voor het neerslagoverschot. De hoeveelheid afgestroomd grondwater daarentegen wordt weergegeven door het oppervlak boven de wegzijgingslijn en onder de lijn voor het neerslagoverschot.

Voor de strook in het noordwesten vinden we (zie fig. a8) $p = 584,9$ m = 27,7 $w_d = 472,8$ en $w_n = 157,6$; alle posten in mm per seizoen.

Toegepast voor de berekening van het scheidingsvlak geeft dat fig. a9.

Voor de strook in het zuidoosten vinden we (zie fig. a8) $p = 252,9$ m = 223,4, $w_d = 51,6$ en $w_n = 51,6$ eveneens in mm per seizoen. Dit levert fig. a10 op.

Het blijkt dat volgens dit model in gedeelten, waar de wegzijging zeer sterk is, het binnengedrongen slootwater in het droge seizoen tot bijna vier tiende van de halve kavelbreedte minder dan een halve meter beneden de grondwaterspiegel kan staan. In het natte seizoen is dit nog bijna drie tiende van de halve kavelbreedte.

In gedeelten, waarin de wegzijging zwak is, dringt het slootwater nauwelijks een tiende van de halve kavelbreedte het veen binnen. Het binnengedrongen slootwater is niet alleen polderwater maar een mengsel daarvan met regenwater. In de winter is de sloot voor een groot deel met regenwater gevuld en dit water dringt het eerste binnen. Bovendien treedt in de overgangszone tussen zomer- en winterstand van het scheidingsvlak menging van regen- en slootwater op. Daarnaast verbetert de kwaliteit van het binnengedrongen slootwater nog gedurende het verblijf in de grond.

Tenslotte blijkt uit fig. a8, dat in de overgangsmaanden in het deel van het terrein met zwakke wegzijging nog grondwater afstroomt naar de sloot, terwijl in het deel met sterke wegzijging reeds slootwater binnendringt.

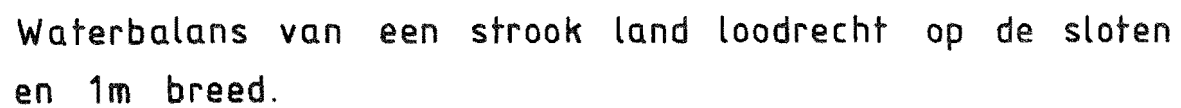
De invloed van de vereenvoudigende veronderstellingen op de berekeningen wordt als volgt geschat.

De eerste veronderstelling lijkt vrij reëel, aangezien de klei het grootste deel van de weerstand van de deklaag vormt en de wegzijging zich zoveel mogelijk gelijkmatig daarover zal verspreiden, terwijl mag worden aangenomen dat de horizontale doorlatendheid van het veen groot genoeg is om deze spreiding mogelijk te maken. Bovendien staan de lijnen op de kaarten van fig. 3, 4 en 5, die de variatie in kleidikte en stijghoogte aangeven, ook vrijwel loodrecht op de sloten. In werkelijkheid is de sloot in afwijking van de tweede aanname slechts 1,5 m diep. De heen en weer gaande stroming in het veen zal derhalve op geringe diepte sterker zijn dan in het model en in de diepte zwakker, zodat de horizontale component van de filtersnelheid anders dan in de derde aanname is verondersteld, niet over een verticaal constant is. Het scheidingsvlak zal daardoor op geringe diepte sterker heen en weer gaan dan berekend is en in het droge seizoen verder opdringen, maar in het natte zich verder terugtrekken. De vierde aanname is waarschijnlijk niet ver bezijden de werkelijkheid.

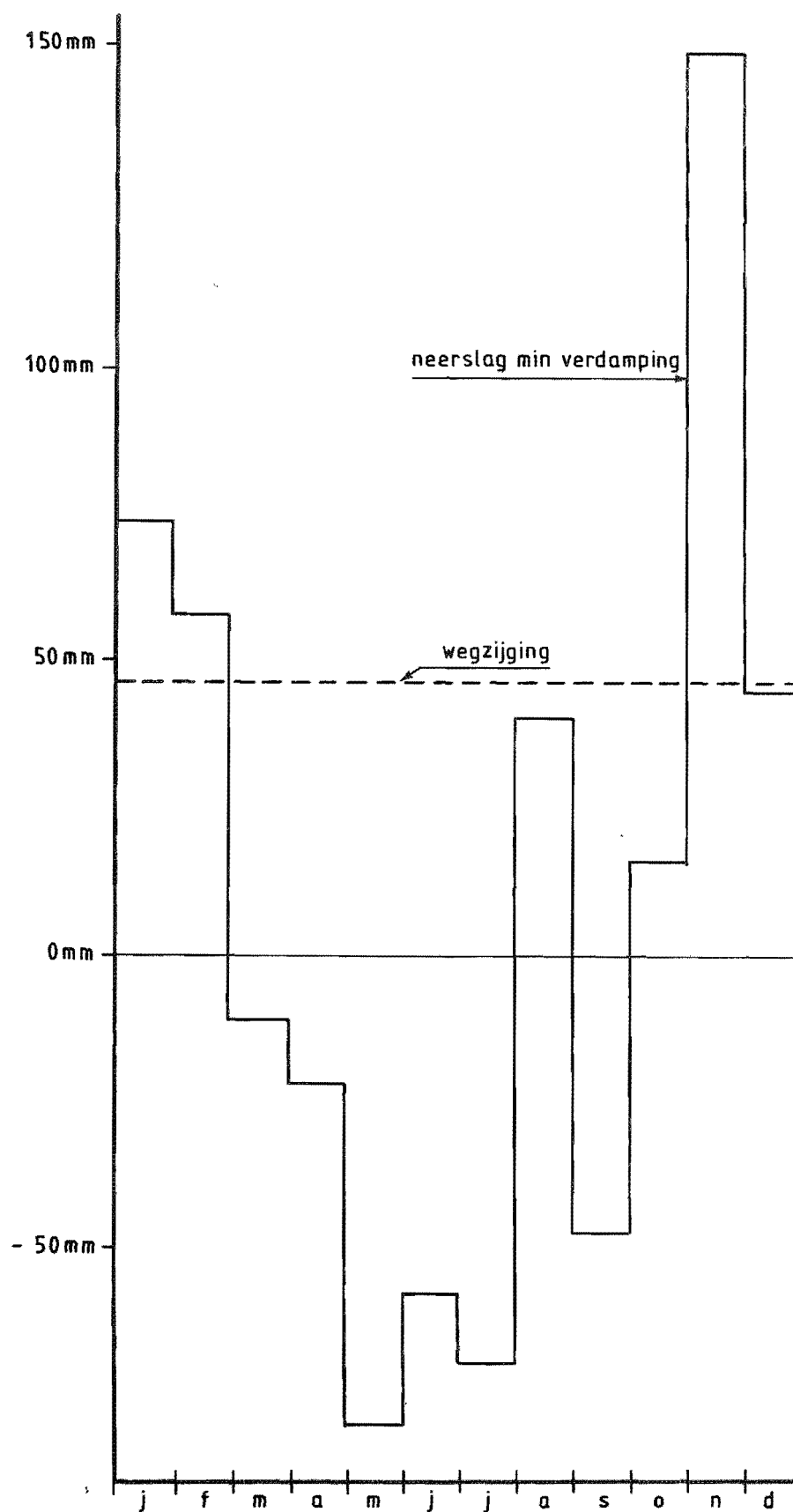
De vijfde veronderstelling, namelijk die van stationaire stroming, geeft een overschatting van de verplaatsingsafstand van de waterdeeltjes.

Een tekort van het model is voorts nog, dat het opbollen en het inzakken van de grondwaterspiegel zoals geschetst in fig. 8, niet in rekening worden gebracht.

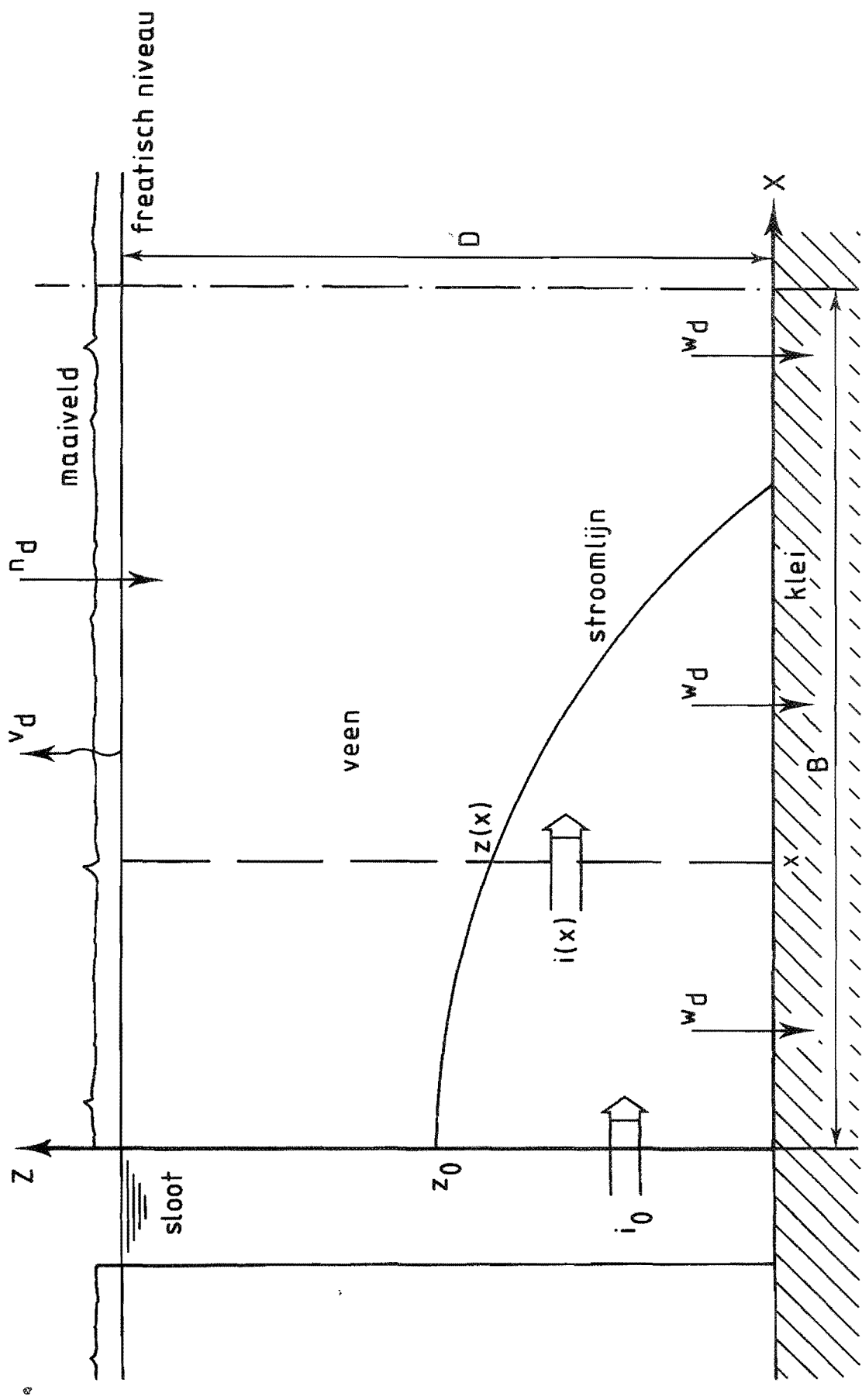
Door deze vormveranderingen zijn de bergingsveranderingen van de waterbalansen voor de droge en natte seizoenen afzonderlijk niet meer verwaarloosbaar. Deze bergingsveranderingen brengen met zich mee dat de hoeveelheid slootwater, die binnendringt, p , en de hoeveelheid grondwater, die afstroomt, m , misschien wel 100 mm per seizoen kleiner zijn dan in de berekening is aangehouden. Doordat p kleiner is, is de indringing van slootwater kleiner, maar doordat m kleiner is, is de terugdringing dat ook. Beide effecten werken elkaar dus tegen.



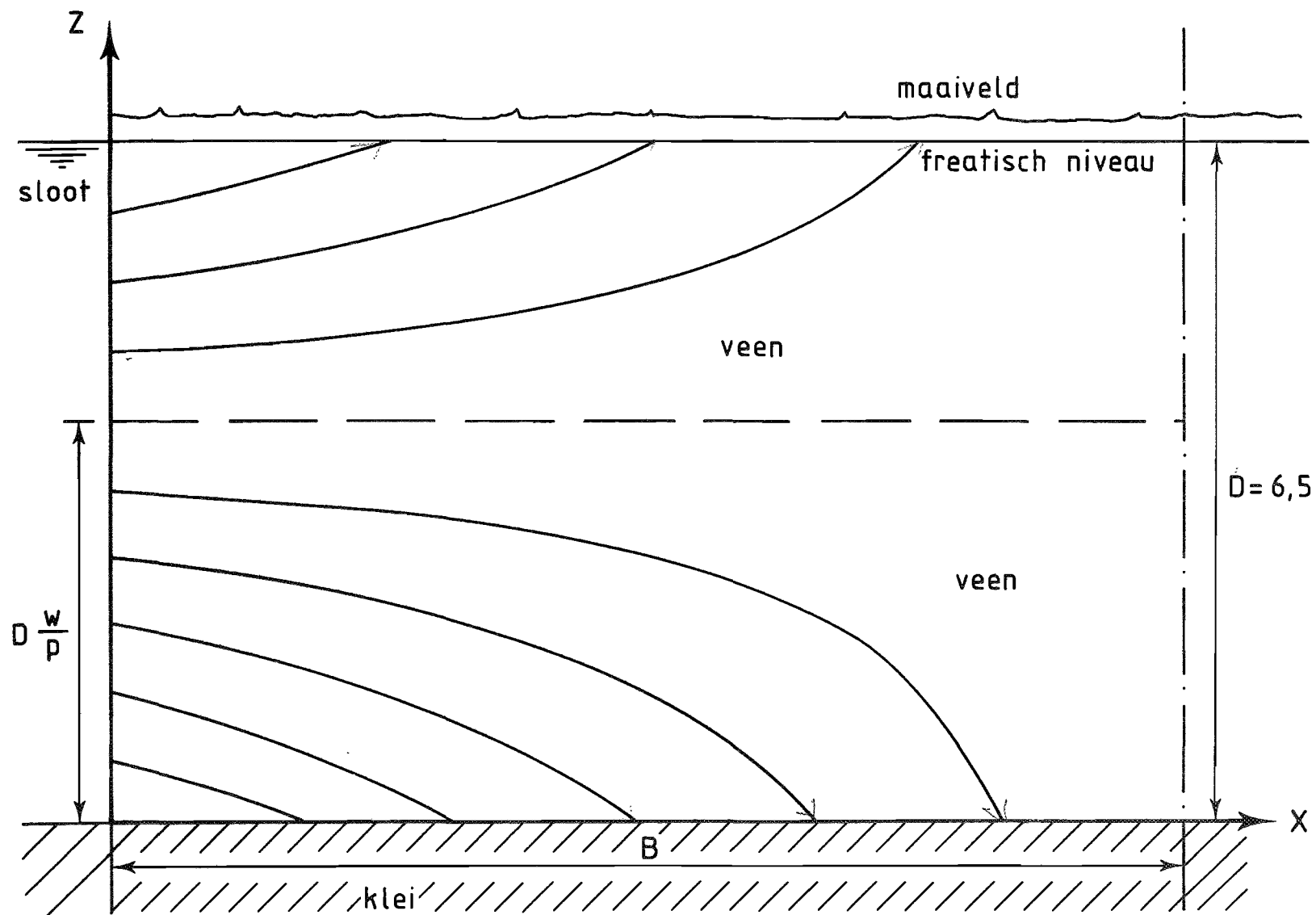
figuur A 1



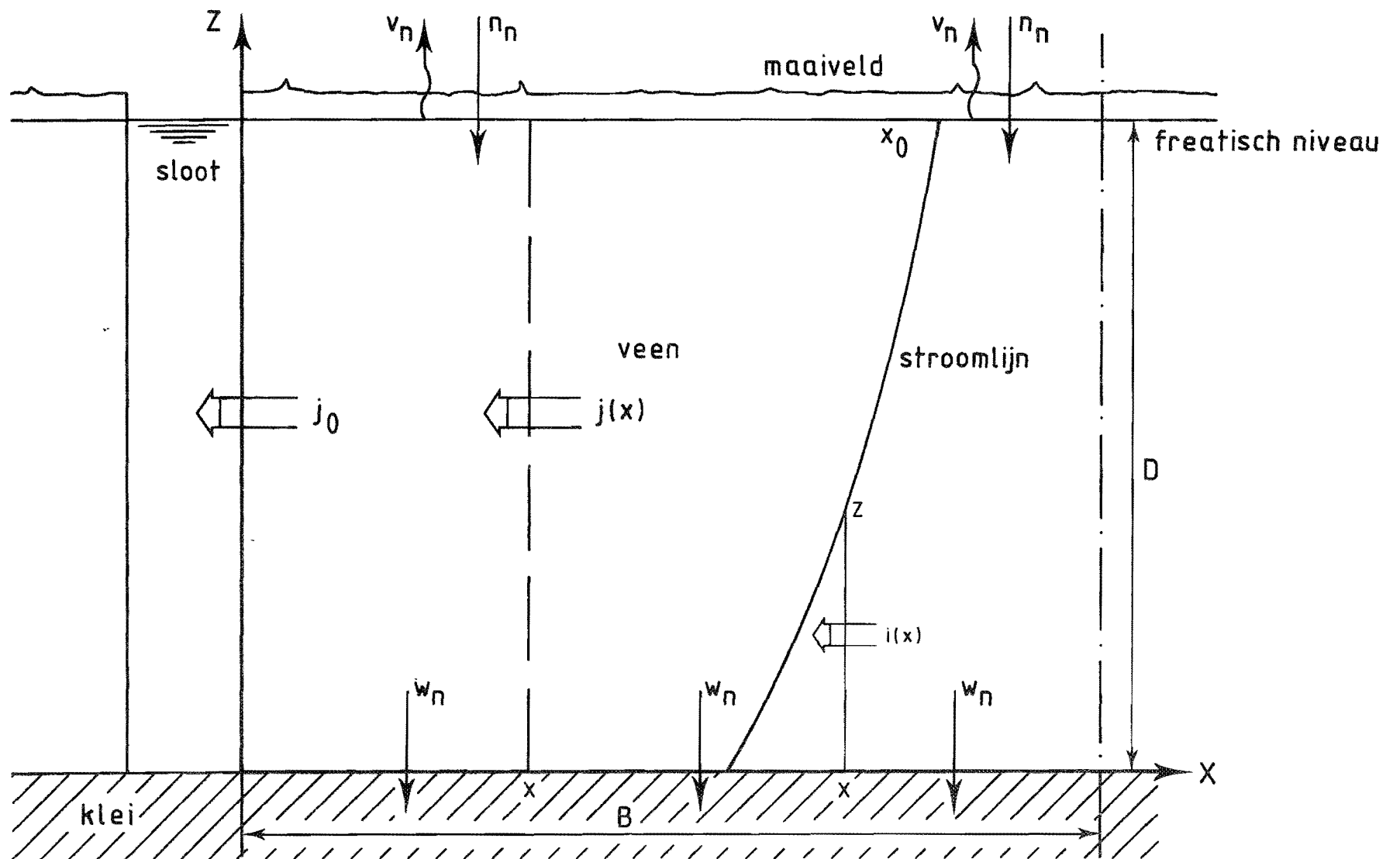
1977: Neerslag min verdamping en wegzijing in de Veerstalblokboezem.



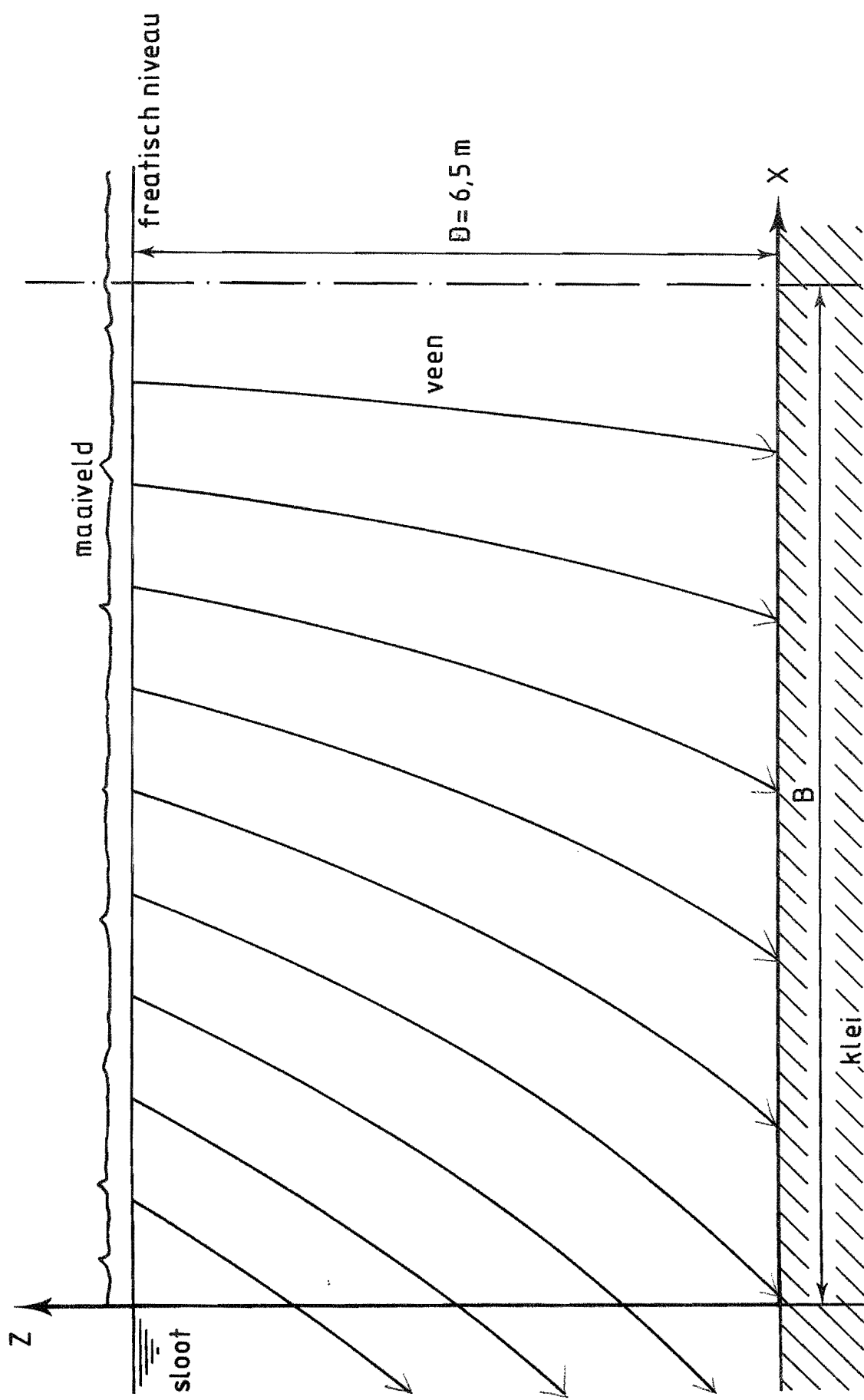
Waterbalans van een element onder een stroomlijn.
droog seizoen



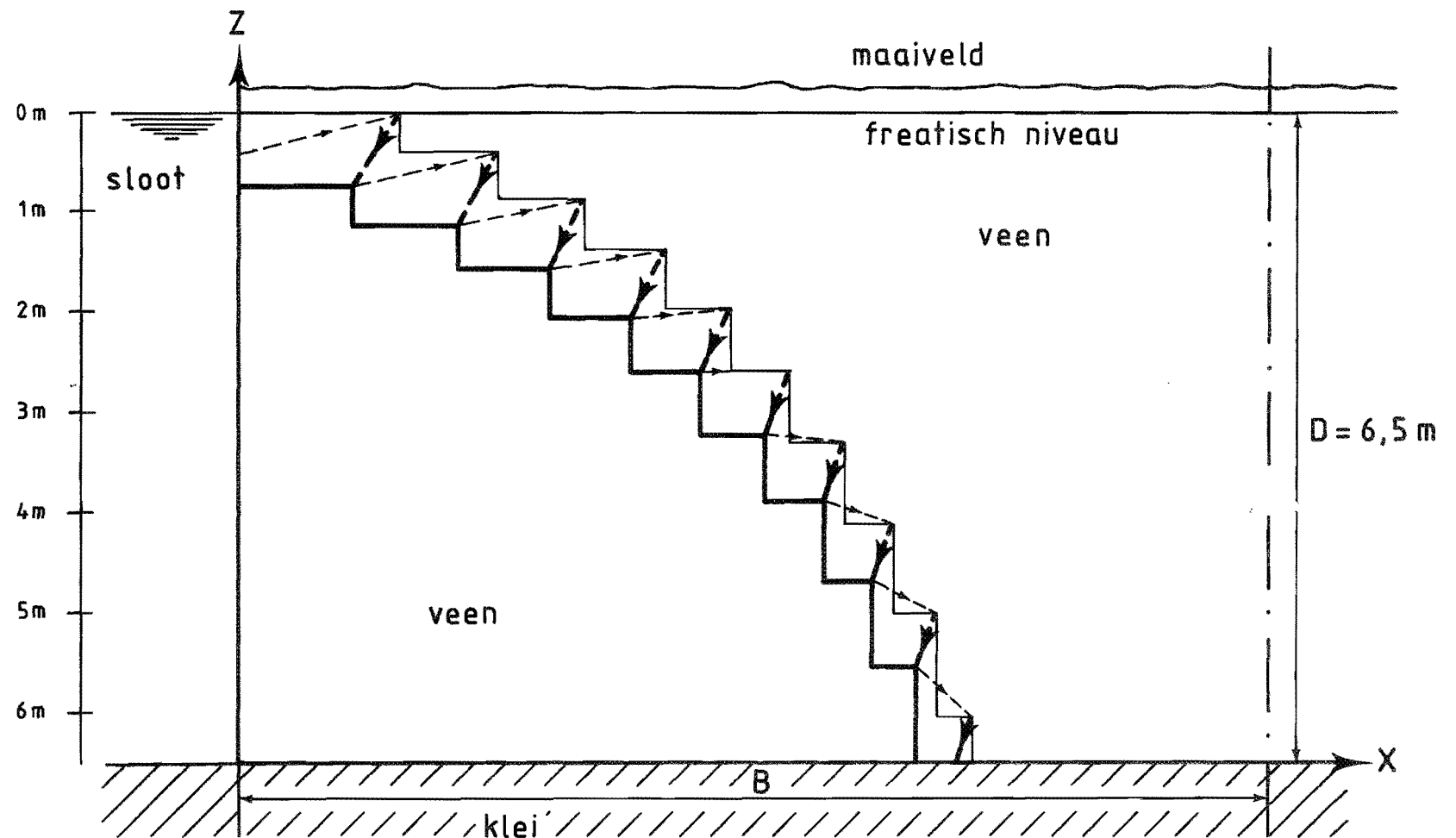
Stroomlijnen in het droge seizoen 1977.



Waterbalans onder een stroomlijn.
nat seizoen



Stroomlijnen in het natte seizoen 1977.

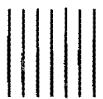
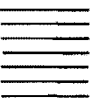
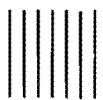


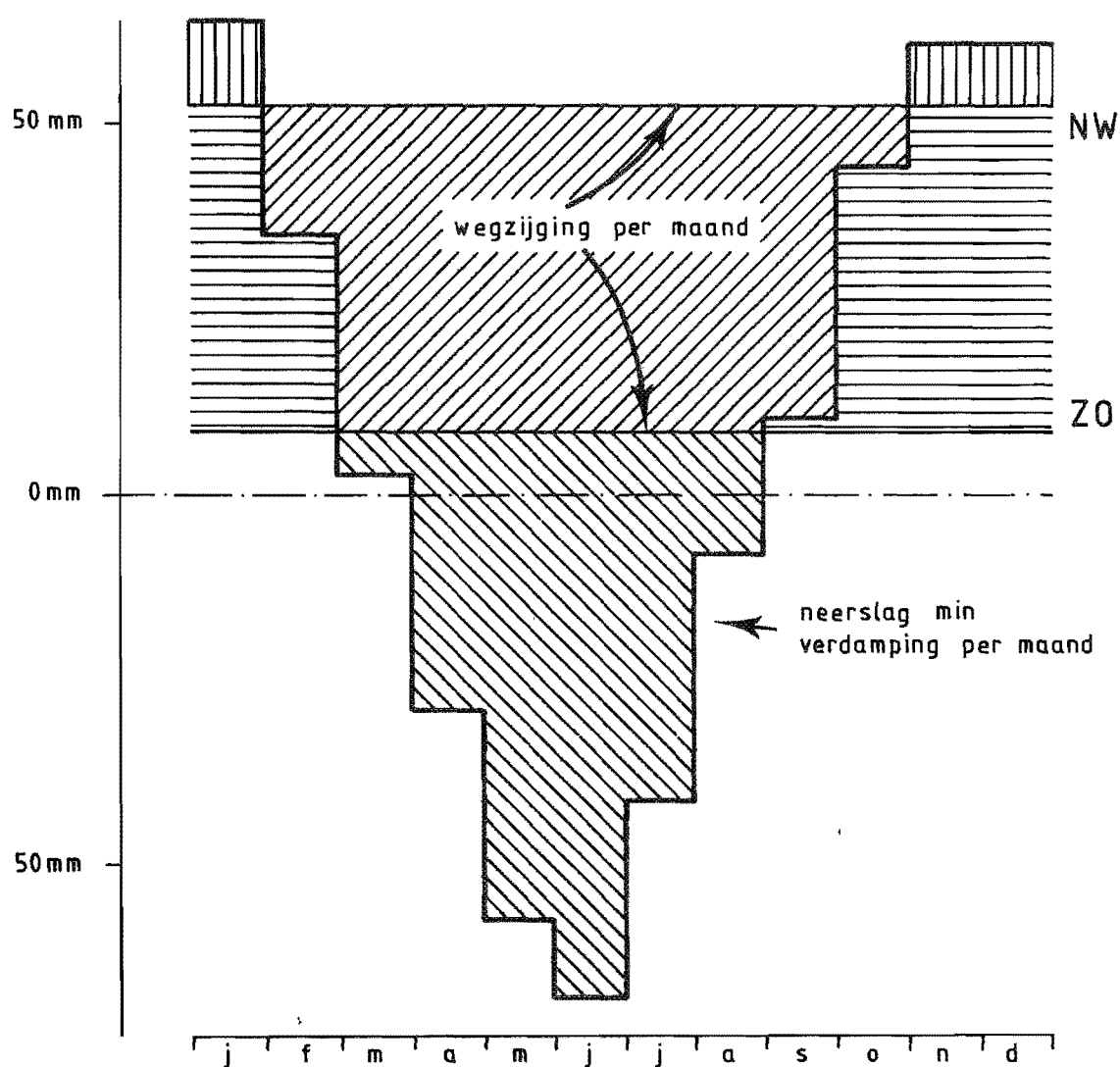
Het scheidingsvlak in het veen tussen sloot- en regenwater berekend met de gegevens voor 1977.

Legende:

-  stand na droog seizoen
-  stand na nat seizoen
-  weg van een deeltje in droog seizoen
-  weg van een deeltje in nat seizoen

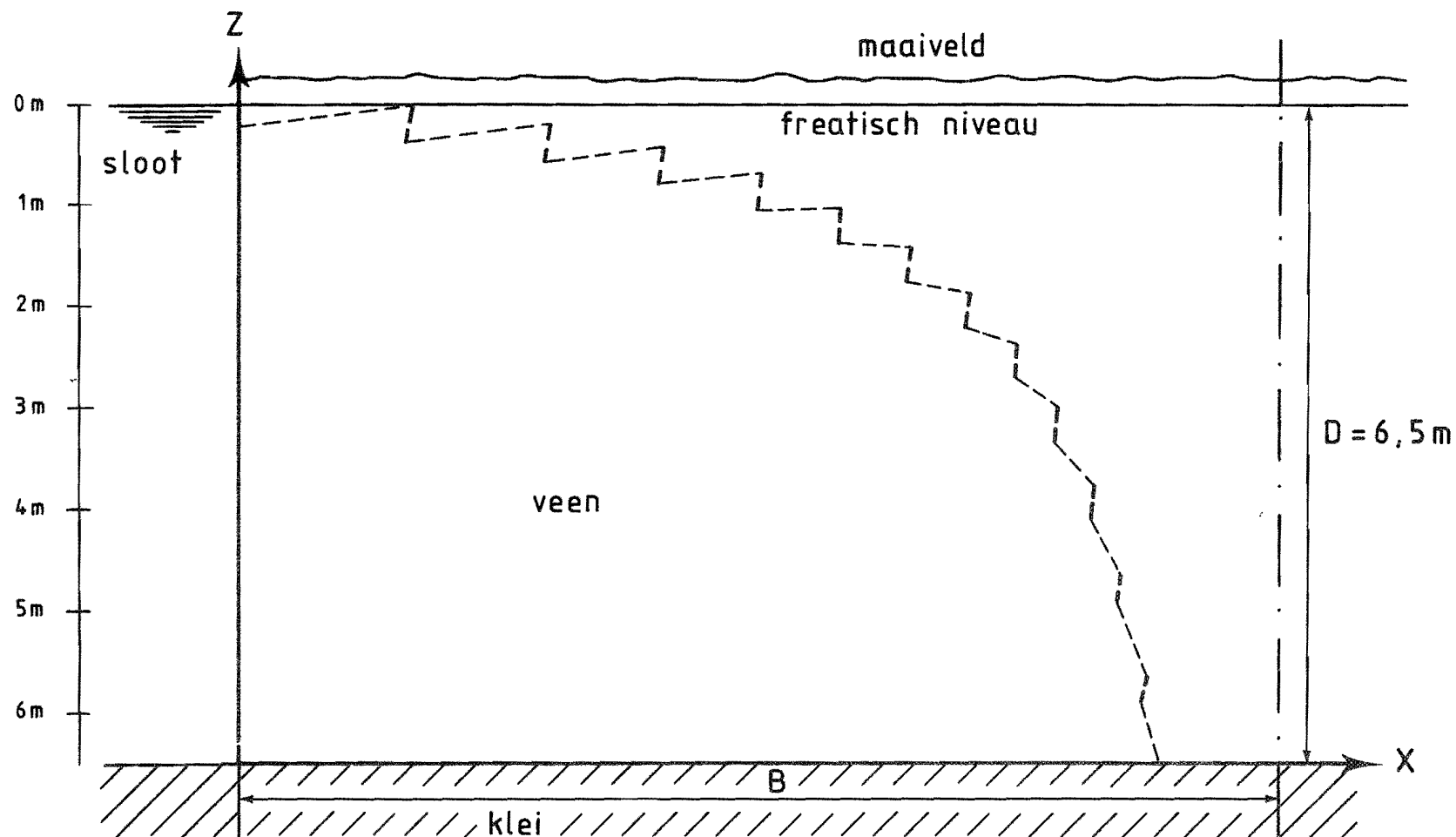
Per strook en per seizoen

afgestroomd grondwater	binnengedrongen slootwater	
	 + 	in noordwesten
 + 		in zuidoosten



Neerslag min verdamping per maand gemiddeld over de jaren 1931 tot en met 1960 in De Bilt.

Wegzijging in de Veerstalboezem.

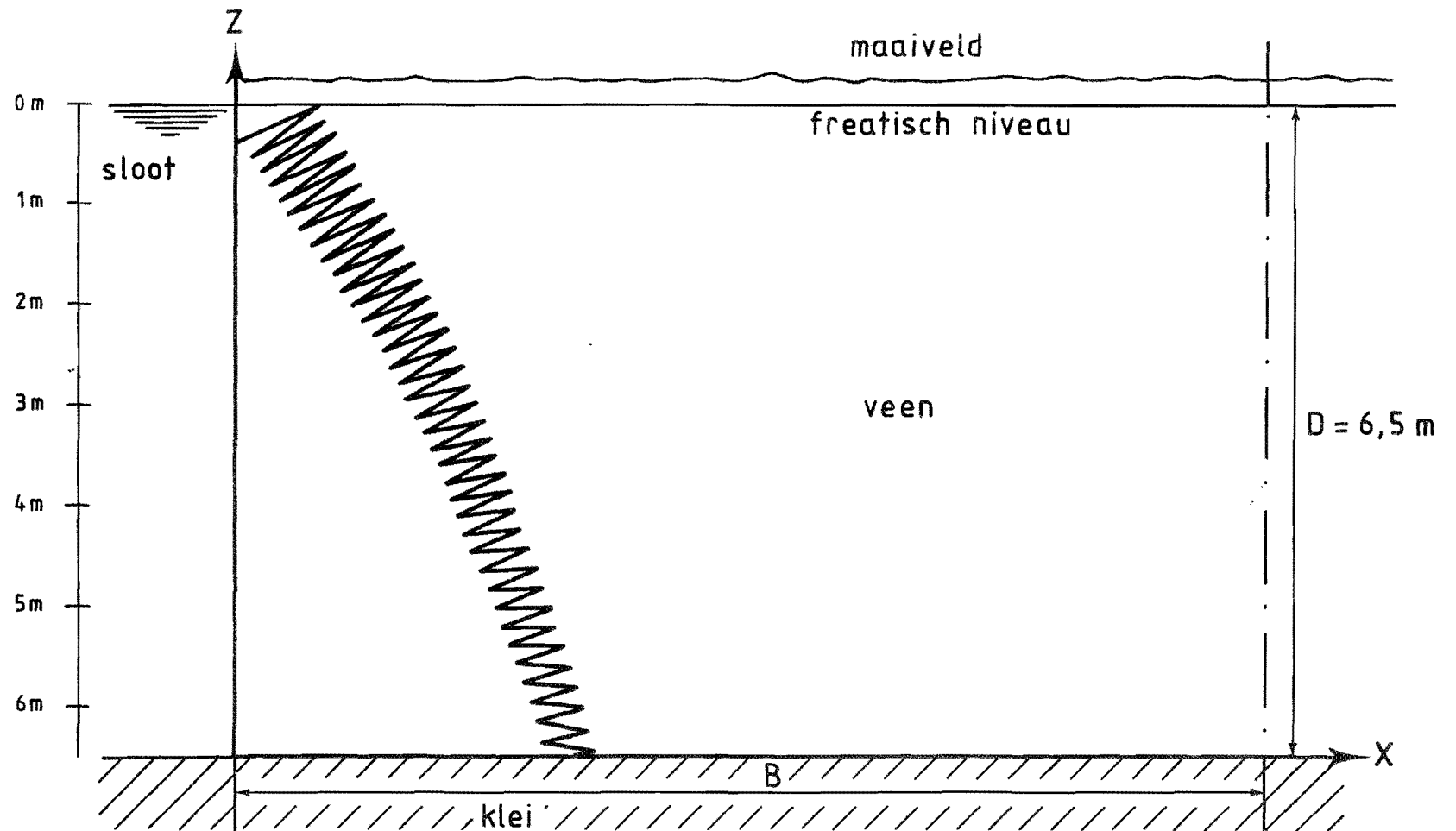


Weg van een waterdeeltje op het scheidingsvlak tussen sloot- en regenwater in het veen bij een wegzijging van 52.5 mm per maand.

Legende:

- — — — in droog seizoen
- — — — in nat seizoen

figuur A9



Weg van een waterdeeltje op het scheidingsvlak tussen sloot- en regenwater
in het veen bij een wegzijging van 8.6 mm per maand.

figuur A 10

IIB. NATUURTERREIN EMPESE EN TONDENSE HEIDE

Hydrologische systeembeschrijving

Samenstellers: A.J. van Ganswijk en F.A.M. Claessen, augustus 1987

Samenvatting

Het natuurterrein Empese en Tondense heide ligt in een dekzandgebied tussen de Veluwe-stuwwal en de IJssel, op 2 km ten oosten van het Apeldoorns Kanaal. Op een diepte van 50 m onder maaiveld bevindt zich een dikke kleilaag van grote uitgestrektheid behorend tot de formatie van Drenthe. Op 15 à 25 m onder het maaiveld komen Eemklei-afzettingen van geringere afmetingen voor. De algemene terreinhelling loopt flauw af in noordoostelijke richting, de lokale hoogteverschillen (dekzandruggen) zijn kleiner dan 2 meter.

In de laatste ruim honderd jaar hebben zich in een wijdere omgeving van het natuurterrein een aantal ontwikkelingen voorgedaan die in verschillende mate van invloed zijn geweest op de hydrologische situatie: bebossing van de Veluwe, aanleg van het Apeldoorns Kanaal, kanalisering van de watergangen en beken, in cultuur brengen van voedselarme gronden én grondwaterwinning. Uit de beschikbare gegevens is niet altijd duidelijk te traceren in hoeverre deze maatregelen de vochtvoorziening in en nabij het natuurterrein hebben beïnvloed.

Het direct omgevende gebied wordt doorsneden door een groot aantal watergangen en beken, die zorgdragen voor de afwatering. De detailontwatering vindt plaats via sloten en greppels. Door kanalisatie van de beken wordt wateroverlast in winter en voorjaar voorkomen. Onder de huidige omstandigheden wordt geen water uit het Apeldoorns Kanaal aangevoerd, evenmin wordt door stuwen het peil in de watergangen opgezet. In droge zomer staan de leidingen langs het natuurterrein langdurig droog. Vanuit het Apeldoorns Kanaal treden weliswaar grote wegzijgingsverliezen op, maar dit water zal naar diepere lagen wegstromen voor zover niet afgevoerd door nabijgelegen watergangen. Omdat de naaste omgeving van het natuurterrein wordt gekenmerkt door afwatering en wegzijging, is het hydrologisch regime in het oppervlaktewaterstelsel in deze beschrijving buiten beschouwing gebleven.

Grondwateronttrekking vindt plaats in de diepere watervoerende pakketten. Deze onttrekkingen zijn van invloed op het diepe, van de Veluwe richting IJssel afstromende grondwater: het regionale grondwatersysteem.

De hydrologische situatie binnen het natuurterrein wordt door duidelijke seizoensinvloeden gekenmerkt. 's Winters staat in de lage terreingedeelten het water geruime tijd boven maaiveld, als gevolg van een trage wegzijging naar de randsloten (bovenlaag van sterk leemhoudend fijn zand). De plassen worden gevoed door ter plaatse gevallen neerslag én door van de hogere terreingedeelten toestromend water. 's Zomers is het algemene beeld meer bepaald door wegzijging naar diepere lagen (in droge perioden voeren de randsloten niet meer af). De lokale grondwatersystemen vertonen dus een wisselende vorm.

1. Inleiding

In 1982 is de Studiecommissie Waterbeheer Natuur Bos en Landschap ingesteld met de opdracht de betekenis van het water, de waterhuishouding en het waterbeheer voor natuur, bos en landschap te onderzoeken.

Het is de commissie gebleken, dat voor het beheer van natuurterreinen een hydrologische systeembeschrijving van die terreinen gewenst is. Een dergelijke beschrijving geeft op grond van voorhanden zijnde gegevens een eerste schets van het regionale systeem in de omgeving van het gebied en van de deelsystemen erbinnen alsmede van hun onderlinge samenhang. De schets beschrijft de systeemprocessen zo mogelijk zowel naar kwantiteit als naar kwaliteit. De beschrijving van het regionale systeem en de samenhang daarvan met de deelsystemen binnen het gebied dient om inzicht te geven in de gevoeligheid van het gebied voor ingrepen in de waterhuishouding van de omgeving. De beschrijving van de deelsystemen moet inzicht geven in de mogelijkheden om door ingrepen binnen het terrein het beheersdoel dichterbij te benaderen. Op grond van deze eerste schets kan worden beoordeeld of nader onderzoek nodig is en zo ja welk.

Tot op heden is nog geen systematisch hydrologisch onderzoek van dit gebied afgerond en deze beschrijving moet daarom beperkt blijven tot het aangeven van de grote lijnen van de systemen en van de waarschijnlijkste veronderstellingen. Het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW) heeft inmiddels een diepgaand onderzoek aangevat.

Het gebied wordt bedreigd met verlaging van de voorjaars-grondwaterstanden ten gevolge van een diepere ontwatering van de omgevende landbouwgebieden en het binnendringen van vervuild IJsselwater dat in de omgeving in de zomer misschien zal worden ingelaten om verdroging te voorkomen.

2. Gebiedsbeschrijving

2.1. Regionaal

2.1.1. Geologische opbouw van de ondergrond en geomorfologie

De geologische opbouw wordt geschetst op profiel A-A' op figuur 1. De profiellijn is aangegeven op de kaart van figuur 2 en is ongeveer haaks op de isohypsen genomen.

In de omgeving van het terrein werden in het late Tertiair en het vroege Pleistoceen overwegend fijne zanden en zandige kleien afgezet, waarop gedurende het midden Pleistoceen rivieren dikke, grofzandige pakketten legden. Tijdens de voorlaatste ijstijd drong een gletsjertong het gebied van de huidige IJsselvallei binnen, die enerzijds een diep bekken uitschuurde en anderzijds de fluviatiele zanden opstuwde tot de heuvels van de Veluwe. Toen ten gevolge van de stijgende temperatuur het ijs afsmolt, vormde zich in het glaciaire bekken een meer, waarin een lacustro-glaciale klei werd afgezet. Deze klei behoort geologisch tot de Formatie van Drenthe en wordt daarom ook Drentheklei genoemd. Op deze klei ligt weer een pakket grof zand gevormd door rivieren, waarin plaatselijk een kleilaag aangetroffen wordt, de Eemklei genoemd. Het bekken wordt afgedekt door een 2 tot 10 m dik pakket fijne zanden. Dit dekzand is gedeeltelijk van eolische oorsprong en vertoont als gevolg daarvan een licht golvend oppervlak. Op verscheidene plaatsen was dit oppervlak slecht gedraineerd en daar kon zich tijdens het Holocene veenvormen.

2.1.2. Geohydrologische kenmerken van de ondergrond

Het fijne dekzand is matig doorlatend en de grove rivierzanden van de Veluwse heuvels en onder het dekzand zijn goed doorlatend. De Eemklei en de Drentheklei moeten als slecht doorlatend beschouwd worden. De fijne zanden en zandige kleien van het Pliocene en het Onder-Pleistoceen zijn matig en slecht doorlatend en hierin vindt waarschijnlijk niet veel stroming meer plaats. De diepte van de ondoorlatende hydrologische basis is niet bekend.

2.1.3. Grondwater

Figuur 2 en figuur 3 geven de isohypsen weer van het freatisch water op achtereenvolgens 28 augustus en 28 april 1978. In de heuvels daalt het freatisch vlak steil naar de IJsselvallei. In de vallei zelf is nog een flauwe helling naar de IJssel. In het profiel op figuur 1 is het freatisch vlak van 28 augustus 1978 getekend.

2.1.4. Oppervlaktewater

Het gebied watert af op de IJssel. Aan de voet van de heuvels, waar de grondwaterspiegel het maaiveld nadert, ontspringen de natuurlijke beken, die ten gevolge van min of meer noord-zuid verlopende stuifzandruggen in het dekzand sterk kronkelend hun weg door de IJsselvallei moesten zoeken naar de rivier. Zijbeken ontsprongen in de vallei zelf. De afvoer van deze beken moet oorspronkelijk zeer onregelmatig zijn geweest met overstromingen in de winter en droogvalen in de zomer. Vanaf omstreeks 1200 na Chr. heeft de mens in belangrijke mate in het natuurlijk regime van de beken ingegrepen. De afvoer is aanzienlijk vergroot door het aanleggen van sprengen: in de stuwwal ingegraven verbindingen tussen het grondwaterlichaam van de Veluwe en de beken. Hierdoor werden de beken van een meer constante afvoer verzekerd ten behoeve van het aandrijven van papier- en korenmolens. Later zijn vrijwel alle beken rechtgetrokken, uitgediept en verbreed en zijn erop aansluitende sloten gegraven om de wateroverlast in de winter te verminderen en de ontwatering in het voorjaar te versnellen.

Aan de voet van de heuvels ongeveer 2 km ten westen van het terrein is ten behoeve van de scheepvaart het Apeldoorns Kanaal aangelegd. Het eerste pand van dit kanaal, dat in dit verband een rol speelt, wordt gehouden op een peil van NAP + 13.21 m. Het kan in Dieren door middel van eenemaal met IJsselwater worden gevoed, wat tot nu toe alleen in droge zomers plaatsvindt.

2.2. Lokaal

2.2.1. Geologie en geomorfologie

Het natuurgebied ligt in de IJsselvallei zoals aangegeven in figuur 2. Het bestaat uit twee van elkaar gescheiden terreinen, een NW en een ZO terrein.

Tot voor kort was niet bekend of de Eemklei, die nogal plaatselijk ontwikkeld is, maar door zijn slechte doorlatendheid een sterke invloed op de grondwaterstroming moet hebben, onder het terrein aanwezig is. Onlangs echter heeft het ICW met boringen in het terrein de kleilaag gevonden op een diepte van ca. 10 m beneden maaiveld en vastgesteld dat de laag hier ca. 1 m dik is. Boven de kleilaag ligt een laag met daluitspoelingsmateriaal, veenlagen en dekzanden met leeminschakelingen: de Formatie van Twente. Op ca. 2,1 m -mv. ligt een laag van venige leem en veen die ten gevolge van kryoturbatie sterk is vervormd en daardoor van geringe invloed is op de grondwaterstroming. Boven de 1,2 m -mv. wordt een grindhoudende laag aangetroffen (laagje van Beuningen). Waar deze laag wordt aangesneden door sloten, vindt sterke drainage plaats. Boven deze laag ligt het Oude Dekzand II en het Jonge Dekzand I.

Figuur 4 geeft een hoogtekkaart van het ZO-terrein.

2.2.2. Bodemtype- en ontwikkeling

Het terrein is bedekt geweest met veen, maar dit is in de vorige eeuw afgegraven. Aan de oppervlakte komt nu lemig dekzand, waarin zich van hoog tot laag ontwikkeld hebben: veldpodzolen (Gt V) in zwak lemig tot leemarm matig fijn zand; gooreerdgronden; broek- en beekeerdgronden in sterk lemig tot zeer sterk lemig fijn zand (Gt III). Verder vlakvaaggronden en moerpodzolgronden. De bodems zijn gevormd in goed gesorteerd, mineralogisch vrij arm kalkloos dekzand.

2.2.3. Bodemfysische en bodemchemische eigenschappen

Hiervan is nog onvoldoende bekend (zie ook bijlage 3.3A, Witte in Dijkema et al., 1985 (6)).

2.2.4. Bodemgebruik

Vroeger zijn delen van het terrein voor de landbouw gebruikt en heeft er een boerderij op gestaan, maar die is verdwenen. Het beheer is nu gericht op behoud en herstel van de verscheidenheid aan plante- en diersoorten van blauwgraslanden, matig voedselarme moerasvegetatie en heide (zie ook "geschiedenis" (6)).

2.2.5. Grond- en oppervlaktewater

Het RIN heeft in 1977 en 1978 veel grondwaterstandsmetingen verricht en daar een overzicht van gegeven in (3). De volgende figuren van deze beschrijving zijn met uitzondering van figuur 10 aan dit rapport ontleend.

Figuur 4 is een kaart van het zuidoostelijk deel van het gebied met onder meer de plaats van de landbouwbuizen. Het terrein is aan drie zijden begrensd door de diepe hoofdwatgangen van de omgeving. Aan de vierde zijde, de zuidoostelijke, wordt de grens voor ongeveer de helft gevormd door een minder belangrijke sloot. De watergang aan de noordoost-zijde, de Veldbeek, is de diepste en heeft derhalve het meeste effect op de grondwaterstand in het terrein.

Uit figuur 5 blijkt dat in het droge jaargetijde de grondwaterstand beneden de bodem van de diepste randsloot zakt.

3. Systeembeschrijving

3.1. Regionaal

3.1.1. Stromingspatronen

Het regionaal systeem kan worden beschreven aan de hand van profiel A-A' op figuur 1. In het profiel is de grondwaterspiegel op 28 augustus 1978 ingetekend. Het systeem wordt gevormd door de Veluwe heuvels in het westen en de IJsselvallei met de IJssel zelf in het oosten. De Veluwe heuvels vormen een infiltratiegebied met een onverzadigde zone, die meestal meer dan 15 m en op de waterscheiding zelfs meer dan 40 m dik is.

De flauw naar het oosten hellende IJsselvallei is een lichtgolvend dekzandlandschap, waar de grondwaterspiegel vrijwel nergens dieper dan 2 m beneden het maaiveld ligt. Het dekzandlandschap wordt door ondiepe beekdalen doorsneden, die het ontwateren. De hoofdbeken ontspringen aan de voet van de heuvels, waar de grondwaterspiegel tot het maaiveld nadert en stromen in de oostelijke richting naar de IJssel. De zijbeken ontspringen in de IJsselvallei.

Even ten oosten van de voet van de heuvels is het eerste pand van het Apeldoorns Kanaal aangelegd, dat op een peil van NAP + 13.21 m wordt gehouden. Dit peil ligt 1 tot 2 m boven de grondwaterspiegel ter plaatse. Dit hoogteverschil veroorzaakt wegzijgingsverliezen, die voor het hele pand op ca. 5×10^6 m³/j zijn berekend. Deze hoeveelheid betekent infiltratie van een laag water van 10 m dik; ter vergelijking: het neerslagoverschot bedraagt 350 mm. In maanden, waarop de grondwaterspiegel op GHG, in casu NAP + 12.80 m ligt, bedraagt de wegzijging 200.000 m³/maand; in maanden met GLG, in casu NAP + 12 m, 600.000 m³/maand. In de omgeving van het natuurterrein komt dit neer op ongeveer 0,2 respectievelijk 0,8 m³/dag per strekkende meter. Deze cijfers zijn ontleend aan (9). Deze betrekkelijk grote hoeveelheden zullen de grondwaterstroming aanmerkelijk beïnvloeden. De stroming van het wegzijgingsverlies neemt waarschijnlijk de gehele ruimte boven de Eemklei in beslag, zodat een eventuele grondwaterstroming van de Veluwe naar het oosten zich onder deze klei een weg moet zoeken. Een beeld van de waarschijnlijke grondwaterstroming aan het eind van het droge jaargetijde is in het profiel geschetst.

Bij Kootwijk, in peilpunt 33 A-65 is de grondwaterstand in 1967 het hoogst geweest sinds het begin der waarneming, namelijk bijna NAP + 30 m. In het najaar van 1978 bereikte de stand zijn dieptepunt, namelijk enkele decimeters beneden NAP + 26 m. In 1978 was het effect van het droge jaar 1976 blijkbaar pas volledig doorgewerkt. Deze trage reactie op de neerslag is het gevolg van de grote dikte van de onverzadigde zône ter plaatse.

3.2. Lokaal

3.2.1. Stromingspatronen

Het lokale stromingspatroon blijkt uit de waarnemingen van het RIN (3) in de waterstandsbuizen, waarvan de locatie is aangegeven op figuur 4.

Bij buis 8 zijn in 1978 vier stijgbuizen geplaatst met filters op verschillende diepten, zoals aangegeven in figuur 6. In tabel 1 zijn de waargenomen stijghoogten opgenomen. Het blijkt, dat van januari tot 28 juli de stijghoogte van het grondwater met de diepte afnam en dus wegzijging is opgetreden. Waarschijnlijk gold dit ook voor de gehele rug in het oostelijk deel van het terrein, waarin buis 8 is geplaatst. Na 28 juli kon niet langer in meer dan één filter worden gemeten, zodat wegzijging niet meer kon worden vastgesteld.

De daling van het freatisch vlak, zoals die wordt weergegeven in figuur 7, waarin het niveau in buis 6 op het hoogste punt van de rug is opgenomen, zal echter niet alleen door wegzijging maar ook door capillaire opstijging en evapotranspiratie zijn veroorzaakt. In figuur 5 is te zien dat de grondwaterstanden tenslotte beneden de bodem van de diepste sloot zakten. De verdere daling is veroorzaakt door wegzijging ten gevolge van de drainerende werking van verder weg gelegen watergangen zoals de IJssel, nadat de Veldbeek is drooggevallen en door evapotranspiratie.

Het is mogelijk, dat bij de lagere grondwaterstand tijdelijk een kwelstroom is opgetreden waarbij de stroomlijnen lopen vanuit gebieden, waar de grondwaterstand hoog is, in casu de Veluwe heuvels en het Apeldoorns Kanaal. Omdat echter de daling steeds voortging moet in dat geval de evapotranspiratie groter zijn geweest dan de opwaartse grondwaterflux. Maar ook indien omstreeks 28 juli een kwelstroom is ontstaan, betekent dit nog niet dat water van andere kwaliteit omhooggestroomd is en via capillaire opstijging de wortelzône heeft kunnen bereiken.

Bij het begin van de kwelsituatie bestaat namelijk het grondwater onder de heide uit neerslag die in voorafgaande natte perioden in het gebied is geïnfilteerd en het is dit water dat dan omhoog wordt geperst.

Bij buis 13 zijn 2 stijgbuizen geplaatst met filters op verschillende diepten zoals aangegeven in figuur 8. De waargenomen stijghoogten zijn vermeld in tabel 2. De meeste waarnemingen wijzen op wegzijging, maar die op 25 en 28 juli, de laatste standen waarbij beide filters nog water bevatten, wijzen op kwel. Het stijghoogteverschil is echter klein en valt binnen de foutenmarge, zodat deze waarnemingen geen zekerheid verschaffen.

Bij de lagere stand van 21 juni treedt echter geen kwel op.

De metingen op 20 en 30 maart wijzen eveneens op kwel. Dit hoeft geen kwel te zijn afkomstig van buiten het terrein, maar kan tot de radiale toestroming naar de sloot behoren, opgeroepen door de ontwaterende werking ervan bij hoge grondwaterstanden in het terrein. Het is dan echter niet duidelijk waarom bij iets minder hoge grondwaterstanden geen kwel meer wordt waargenomen en op 15 juni bij lage standen ineens wel. Buis 13 ligt in een overgangszone van inzijging in de hoge terreindelen naar kwel bij de sloten. In deze zone is de stroming overwegend horizontaal, waardoor stijghoogteverschillen in een verticaal gering zijn en meestal in de foutenmarge vallen. Om te controleren of het beeld van tabel 2 juist is, zouden de stijghoogten nauwkeurig gemeten moeten worden.

In het voorgaande is kwel afkomstig van buiten het terrein, externe kwel, geplaatst tegenover kwel afkomstig van de hogere delen binnen het terrein, interne kwel.

In figuur 9 is eveneens een aanwijzing voor kwel naar de randsloten te vinden. In deze figuur is het isohypsenbeeld van 6 maart 1979 in het natte jaargetijde getekend op grond van standen in buizen en sloten. De grondwaterstand van buis 14 op minder dan 10 m van de noordwestelijke randsloot springt boven het getekende isohypsenvlak uit en staat ongeveer 15 cm boven het niveau van de sloot. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door interne kwel.

Volgens figuur 5 is in het natte jaargetijde de stijghoogte in peilbuis 1 meer dan 20 cm boven het maaiveld. Of deze stijghoogte ook hoger is dan de spiegel van de plassen, die dit lage deel van het terrein in de natte tijd bedekken, is niet meer te achterhalen (11).

Indien de grondwaterstand inderdaad boven de plassenpiegel uitrijst, treedt in natte situaties in de centrale laagte eveneens kwel op. Aangezien het grondwaterverval vanaf de hoge delen binnen het terrein veel groter is dan vanaf de Veluwe of het Apeldoorns Kanaal is dit waarschijnlijk ook interne kwel.

Op grond van bovenstaande redeneringen kan men tot het beeld van het grondwaterregime komen, dat in figuur 10 is geschetst. Volgens dit beeld treedt in de lage delen van het terrein en onder de watergangen in de natte periode interne kwel op en in de droge periode wegzijging. In de hoge delen heerst altijd wegzijging. Figuur 10 illustreert de stroming in natte en droge perioden. Aangezien het een niet-stationaire stroming betreft, volgt een waterdeeltje niet een stroomlijn in zijn geheel, maar stapt het, als de situatie verandert, over op de stroomlijn, die bij de nieuwe situatie behoort.

De afstand die een waterdeeltje in natte tijd kan afleggen, kan grof benaderd worden met de formule:

$$S = \frac{k}{n} \cdot \frac{h}{L} \cdot t$$

waarin S = afstand in m

k = de waterdoorlatendheid in m/per dag

n = het werkzame poriëngehalte

h = het verschil in stijghoogte in m

L = de afstand waarover h optreedt in m

t = de tijd in dagen

Uit figuur 7 blijkt dat de natte tijd 180 dagen heeft geduurd en dat h tussen buis 6 en de buizen 1 en 2 in die tijd ongeveer 0,3 m heeft bedragen.

De afstand van buis 6 tot het midden van de laagte bedraagt ongeveer 200 m. Als voor k = 10 m/dag wordt genomen en voor n = 0,25 dan geeft dat voor S:

$$S = \frac{10}{0,25} \cdot \frac{0,3}{200} \cdot 180 = 11 \text{ m}$$

Misschien is de afgelegde weg in werkelijkheid wel driemaal zo groot, maar ook dan nog bereikt slechts het grondwater uit een vrij smalle zoom de laagte. Daardoor kan de aanrijking van het grondwater in de laagte door de aanvoer van elders opgeloste stof niet groot zijn.

Behalve deze horizontale component heeft de grondwaterstroming ook een verticale component. De grondwaterspiegel daalt immers in de zomer uiteindelijk zelfs beneden de slootbodems. In de volgende winter vormt zich door inzijging een nieuwe "laag" die het oude grondwater verder naar beneden dringt. Zo gezien hebben de planten alleen te maken met grondwater, ontstaan in de afgelopen winter of het lopende seizoen.

Dit beeld moet worden gecorrigeerd met de effecten van menging van oud en nieuw grondwater en van kwel. Wanneer in de natte tijd kwel optreedt naar de centrale laagte kan een diepe kwelbaan misschien water van het vorige jaar oppikken en tot aan of dicht onder de grondwaterspiegel binnen het bereik der plantewortels brengen.

In figuur 7 zijn de tijdstijghoogtelijnen voor enkele peilbuizen getekend. Daarboven is het neerslagoverschot aangegeven. Voor de neerslag is het gemiddelde van De Bilt en Winterswijk genomen en voor de verdamping 0,7-maal de Penmanverdamping van dezelfde stations. De cijfers betreffen decaden. De grondwaterstanden reageren snel op neerslagoverschotten of -tekorten. In augustus 1977 veroorzaakte een neerslagoverschot van 74 mm een grondwaterstijging in buis 6 van 62 cm. Dit wijst op een bergingscoëfficiënt van 12%. In november 1977 was het neerslagoverschot 142 mm en de rijzing 141 cm, derhalve de bergingscoëfficiënt 10%. Misschien bevond zich nog water, afkomstig uit de neerslag in de eerste decade van oktober, in de onverzadigde zone, waardoor de bergingscoëfficiënt wat verlaagd werd. Van Wirdum en Both komen tot overeenkomstige waarden. Al deze waarden zijn in overeenstemming met het Leerinkbeekonderzoek (12).

Het bovenbeschreven verband tussen neerslagoverschot en grondwaterspiegelrijzing wijst erop, dat het grondwater geheel uit de neerslag ter plaatse wordt gevormd. Hieruit volgt weer dat de kwaliteit van het grondwater wordt bepaald door de kwaliteit van de neerslag en door de processen die het geïnfiltreerde deel van de neerslag ondergaat. In hoeverre het grondwater in de tijd dat het binnen het bereik der plantewortels is, een lithoclien karakter kan aannemen, kan met analyse van monsters worden bepaald.

De gevonden verschillen geven weinig houvast. Een sterker lithoclien karakter is mogelijk eerder het gevolg van een lange verblijftijd (langzame afwatering), dan van aanrijking tijdens toestroming (arme gronden).

Van half mei tot half september daalt de grondwaterspiegel, slechts even onderbroken door een lichte rijzing ten gevolge van een neerslagoverschot in de laatste decade van juni en de eerste van juli. In figuur 11 is een indruk gegeven hoe de daling in buis 6 zonder onderbreking zou zijn verlopen, door het eerste dalende stuk evenwijdig aan zichzelf horizontaal naar rechts te verschuiven, tot het aansluit bij het tweede (lijn I). Eind juli valt de diepste sloot droog. De snelle drainage naar de randsloten gaat dan over in de langzame drainage naar verder verwijderde, diepere watergangen, waarschijnlijk de IJssel. De IJsseldrainage is langzamer doordat het verhang naar de rivier kleiner is. In de dalingskrommen van alle buizen is de overgang naar een langzame drainage op hetzelfde tijdstip te zien. Voor beide drainagetypen geldt, dat de snelheid van dalen afneemt met de hoogte boven de drainagebasis. Voor de slootdrainage is deze basis de slootbodem en voor de IJsseldrainage het rivierpeil. Grafisch wordt een indruk gegeven van wat het effect zou zijn van het uitdiepen van de randsloten van 40 cm.

Omdat de basis van de slootdrainage met 40 cm verlaagd wordt, moet het deel van de dalingskromme, dat overwegend daardoor tot stand komt, evenwijdig met zichzelf 40 cm naar beneden geschoven worden. De basis van de IJsseldrainage is niet verlaagd en dus moet het deel van de dalingskromme, dat overwegend daardoor tot stand komt, horizontaal verschoven worden tot het bij het eerste stuk aansluit (lijn II). In het bestaande geval zou in een tijdsverloop a, ongeveer 84 dagen, in buis 6 de grondwaterspiegel dalen van 9,57 m tot 8,04 m boven NAP. In dat geval met 40 cm uitgediepte sloten zou in hetzelfde aantal dagen de grondwaterspiegel dalen van 9,57 m tot 7,93 m boven NAP.

Een verhoging van de slootbodem kan op omgekeerde wijze aangepakt worden (lijn III). Hiervoor moet de dalingskromme voor IJsseldrainage ver geëxtrapoleerd worden, wat de resultaten niet betrouwbaarder maakt. De grondwaterstand zou in dat geval dalen tot NAP + 8,20 m. Waarschijnlijk is deze uitkomst te gunstig.

Indien de randsloten niet uitgediept worden maar de sloten in de omgeving wel, zal de drainage eerst van de randsloten op de sloten in de omgeving overstappen en pas als die drooggefallen zijn zich op de IJssel richten. In de dalingskromme wordt dan tussen de delen van de randsloten en de IJssel een derde deel ingeschakeld, dat een tussenliggende steilheid heeft. Dit zal tot een kleine toename van de daling van de grondwaterstand leiden. Verdieping van de omgevingssloten kan worden gecompenseerd door verondieping van de randsloten. Verondieping van de randsloten zal wateroverlast veroorzaken in de belendende percelen voorzover die door de randsloten worden gedraineerd. De drainagebasis van de randsloten kan worden verhoogd door verondieping en stuwing. In geval van verondieping zonder verbreding van de sloten dus met overeenkomstige verkleining van het natte profiel, wordt de radiale weerstand van de sloot groter, zodat de dalingskromme minder steil wordt.

Het effect van verondieping is dus iets groter dan van stuwing bij overigens gelijk nat profiel.

Hoe verder de grondwaterstanden door de drainage gedurende de droge tijd verlaagd worden, hoe minder hoog zij gedurende de natte tijd door middel van inzijging uit de neerslag opgebouwd kunnen worden. Door de snellere drainage zullen de hoge grondwaterstanden ook minder lang duren. Het natuurterrein wordt betrekkelijk diep ontwaterd, doordat de diepe hoofdontwateringsmiddelen van de omgeving er onmiddellijk langs lopen. De ontwatering zou minder diep worden, indien deze hoofdmiddelen in het kader van de voorgenomen ruilverkaveling op enige afstand zouden worden gelegd en de tussenliggende landbouwgrond door minder diepe secundaire sloten zou worden gedraineerd. Bij de voorbereiding van de ruilverkaveling is niet gekozen voor verleggen van de hoofdwaterlopen, maar voor stuwing ervan (10). De belendende landbouwgrond, die daardoor wateroverlast zal ondervinden, zal tot natuurterrein worden bestemd. Het ICW is opgedragen dit uit te werken (13).

In (3) worden de waarnemingen in 1977 en 1978 in de buizen in het natuurterrein gecorreleerd met die in buis 33E-1-21 op 2 km afstand ervan (p175 e.v.). Zo kon worden bepaald bij welke standen in 33E-1-21 het natuurterrein gedeeltelijk dras staat. Na 1968 en vooral 1971 worden die standen in 33E-1-21 veel minder vaak bereikt en zijn ze van kortere duur (figuur 12).

Hieruit werd afgeleid, dat voordien het natuurterrein veel langer per jaar dras stond en de grondwaterstanden er gemiddeld veel hoger waren. De buis 33E-1-21 is echter in 1968 en 1971 verplaatst, de laatste maal over niet minder dan honderd meter, en daarna niet meer gewaterpast (p90, tabel 11).

De buis kan in een hoger deel van het terrein terecht gekomen zijn, waardoor de grondwaterstand veel dieper lijkt, of dichterbij een sloot waar de stand steeds dieper geweest is. Zonder het effect van de verplaatsingen in rekening te brengen kan uit de daling in 33-1-21 niet tot een daling in het natuurterrein geconcludeerd worden. De hydromorfe bodemkenmerken wijzen ook niet op een daling (figuur 13a en b). Of er omstreeks 1968 en 1971 ingrepen in de waterhuishouding zijn uitgevoerd was bij het Waterschap Oost-Veluwe niet bekend (7).

De grondwaterstanden kunnen ook verlaagd worden door grondwateronttrekkingen. Vooral onttrekkingen aan dezelfde zijde van het Apeldoorns Kanaal als het natuurterrein zullen dan effect hebben. Hoe groot dit effect is kan bepaald worden als de verschillende hydrogeologische constanten met behulp van een pompproef zijn bepaald. De nummers 8 en 4 van de literatuurlijst leveren aanvullende informatie over het regionale systeem, maar zijn te grofschalig om meer inzicht in de lokale stroming te verschaffen.

3.2.2. Waterbalans

Voor een waterbalans zijn nog niet voldoende gegevens beschikbaar.

3.2.3. Stoffenbalans

Voor een stoffenbalans geldt hetzelfde als voor de waterbalans. Voor natte of droge depositie van verontreinigende stoffen uit de omgeving moet worden gevreesd.

4. Conclusies

- Het hydrologische regime van het natuurterrein wordt bepaald door het neerslagoverschot, de ontwatering door de onmiddellijk langs de grenzen lopende beken en de grondwaterafvoer vermoedelijk naar de IJssel.
- Het graven van en verdiepen van de beken zijn, afgezien van mogelijke veenafgraving in de vorige eeuw of daarvoor (2), de belangrijkste ingrepen geweest.
- Het beheer van deze beken biedt de meeste mogelijkheden de toestand van het terrein dichterbij een meer gewenste en/of de oorspronkelijke toestand te brengen.
- De geringe hoogteverschillen binnen het terrein veroorzaken een samengesteld stromingspatroon van het grondwater. Dit patroon kan verschillen in grondwaterkwaliteit ten gevolge hebben die van belang zijn voor de plantengroei.
- Nauwkeurige beschouwing van de situatie binnen het natuurgebied Empese en Tondense Heide wijst, zover de bestaande gegevens dat toelaten, op een wegzijgingsgebied als meest waarschijnlijk beeld, zowel in natte als in droge perioden. In de in het winterhalfjaar aanwezige kwelzones -onder meer in de centrale laagte en langs de randsloten- is de herkomst van het grondwater vrijwel zeker van binnen het terrein.
- Het lijkt niet waarschijnlijk dat van buiten het gebied afkomstig grondwater naar de wortelzone stroomt, zodat ingrepen, die de grondwaterkwaliteit in de omgeving van het natuurgebied doen veranderen, binnen het gebied geen invloed hebben.
- Maatregelen die gevolgen hebben voor de afwatering en ontwatering rond het natuurgebied, hebben -in principe- wel invloed binnen het gebied. Indien bijvoorbeeld een verhoogd peilregime kan worden gehandhaafd in de randsloten zal de afwatering van het terrein trager verlopen.
- Aanvoer van water vindt vooral via (effectieve) neerslag in het winterhalfjaar plaats.
- In de winter zijn er kwellokaties van lokale stroomsystemen in laagten/beek.
- Afvoer van water treedt op door verdamping en transpiratie van planten en verder via wegzijging in het winterhalfjaar naar sloot, plas en beek en in het zomerhalfjaar naar het freatisch grondwater in de richting van het IJsseldal.

- Wataeraanvoer van buiten het natuurgebied anders dan door neerslag is niet aannemelijk. Door verhoging van het beekpeil in het droge jaargetijde (aanvoer gebiedsvreemd water, opstuwing, verhoging beekbodem) zal de wegzijging vanuit het natuurgebied naar beken en oppervlaktewater afnemen. Ook zullen de verdamping en de wegzijging naar het grondwater toenemen. De waterstanden in het natuurgebied zullen dan hoger worden of langer hoog blijven. Gebiedsvreemd water zal niet opkwellen in het natuurgebied zelf.
- Er kunnen drie standplaatstypen worden onderscheiden: broekeerd, veldpodzol en gooreerd (op basis van grondwatertrap, bodemtype, topografie en vegetatietype). In de lagere delen is het bodemwater kalkrijker, basischer dan op de hogere delen.
- Stuurvariabelen zijn:
 - . drainageniveau's in leidingen van het oppervlaktewater
 - . eventueel het diepe grondwater beneden kleilagen (onttrekkingen)
 - . aanwezige vegetatietypen (bos/struweel versus kruidachtige begroeiing)(verschillen in tot de bodem doordringende neerslag en in verdamping).

5. Toekomstige maatregelen of ingrepen

5.1. Aard maatregel/ingreep

Momenteel wordt voor de omgeving van het natuurgebied de ruilverkaveling Brummen-Voorst voorbereid. In het kader van deze ruilverkaveling zal wel worden gestreefd naar een snellere ontwatering in het voorjaar om de landbouwgronden tijdig geschikt te maken voor bewerking met zware machines en naar wateraanvoer in droge zomers (het ICW verricht onderzoek hiertoe).

5.2. Effect op natuurbehoudswaarde

Een snellere ontwatering zal kunnen worden bereikt met diepere en bredere watergangen, maar deze zullen, zoals in 3.2.4. is beredeneerd, ook de grondwaterstanden in de natuurterreinen verlagen. Eveneens in 3.2.1. is reeds opgemerkt dat om de nadelige gevolgen van snellere ontwatering voor het natuurgebied te vermijden, de beken langs de randen van het ZO-terrein zullen worden opgestuwd. Wateraanvoer zal vermoedelijk door het Apeldoorns Kanaal uit de IJssel worden uitgevoerd. Het IJsselwater is sterk vervuild en zou dus de vegetatie kunnen beïnvloeden. Indien de gestuwde beken met IJsselwater op peil worden gehouden kan zich de situatie voordoen dat de grondwaterspiegel in de terreinen door wegzijging naar de omgeving lager komt te staan dan het peil in de beken langs de rand. Het vervuilde beekwater zou dan de terreinen binnendringen. Het infiltrerende regenwater van de volgende winter komt op dat vervuilde binnengedrongen water te staan en zal het doordat het naar de sloten toestroomt, weer daarin terugdringen. Grote invloed behalve langs de slootranden behoeft daarom van een dergelijke vervuiling niet verwacht te worden.

Het WL heeft een dergelijk geval berekend.

5.3. Alternatieven/tegenmaatregelen

Niet van toepassing.

6. Aanbevelingen

Onderzoek of het geschetste beeld van de lokale stroming juist is en of dit aansluit bij de vegetatiekartering is wenselijk.

Enkele bijzondere te onderzoeken punten zijn:

- Het regionale stromingspatroon kan waarschijnlijk het beste worden geverifieerd door het te berekenen met het model Flosa van DGV-TNO, waarbij in het bijzonder moet worden onderzocht of de wegzijgingsstroom uit het Apeldoorns Kanaal zich werkelijk tot de Eemklei uitstrekt. Of het water dat uit het kanaal wegzijgt door middel van chemische analyses te onderscheiden is van het water dat rechtstreeks van de Veluwe ondergronds afstroomt is de vraag, omdat het kanaal voor het grootste deel door middel van sprengen met water van de Veluwe wordt gevoed.
- Om zekerheid te krijgen over het al of niet optreden van externe kwel bij de laagste grondwaterstanden, dient in de terreinrug, bij voorkeur op het hoogste punt, een piëzometeropstelling zoals bij buis 8 (figuur 6) heeft gestaan te worden geplaatst en de gehele droge tijd eenmaal per week te worden afgelezen. De waterkwaliteit bij eventuele kwel kan uit monsters worden bepaald.
- Indien moet worden vastgesteld of in de natte tijd inderdaad kwel optreedt in de centrale laagte, dienen daartoe in het centrum van de laagte drie stijgbuizen te worden geplaatst met de filters respectievelijk tussen maaiveld en gemiddelde grondwaterstand, tussen gemiddelde stand en GLG en beneden GLG. De bovenkant van de stijgbuizen moet boven de spiegel van de plassen, die zich hier in de natte tijd vormen, uitsteken. Behalve de stijghoogte in de buizen, moet ook het niveau van de plassen worden gemeten. Indien bovendien moet worden vastgesteld of in de droge tijd onder de centrale laagte externe kwel optreedt, dient dieper dan de genoemde drie filters nog een vierde te worden geplaatst. Indien moet worden vastgesteld of in de droge tijd ook onder de rug externe kwel optreedt, dient daarin eenzelfde stel filters te worden aangebracht.

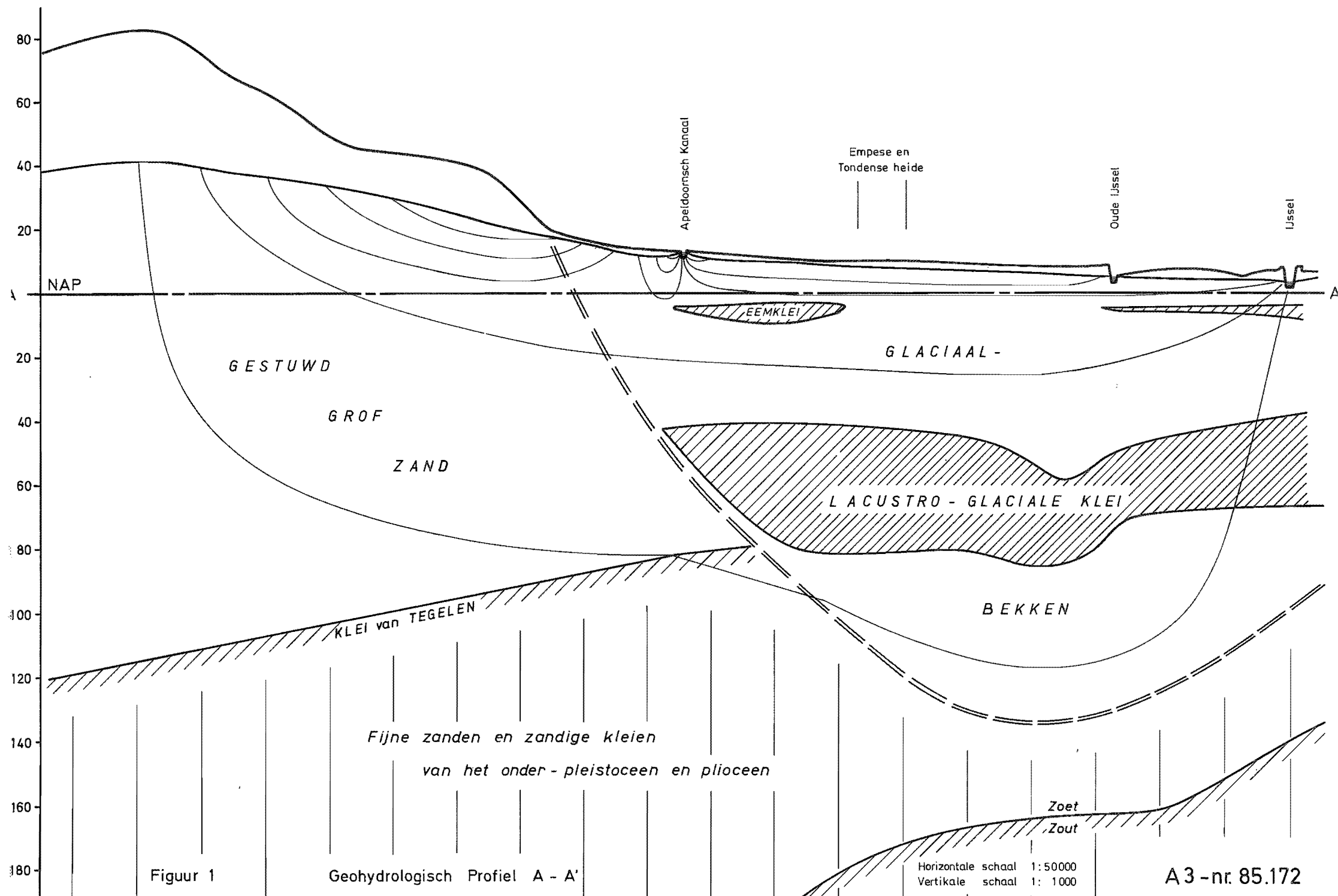
7. Literatuur/referenties

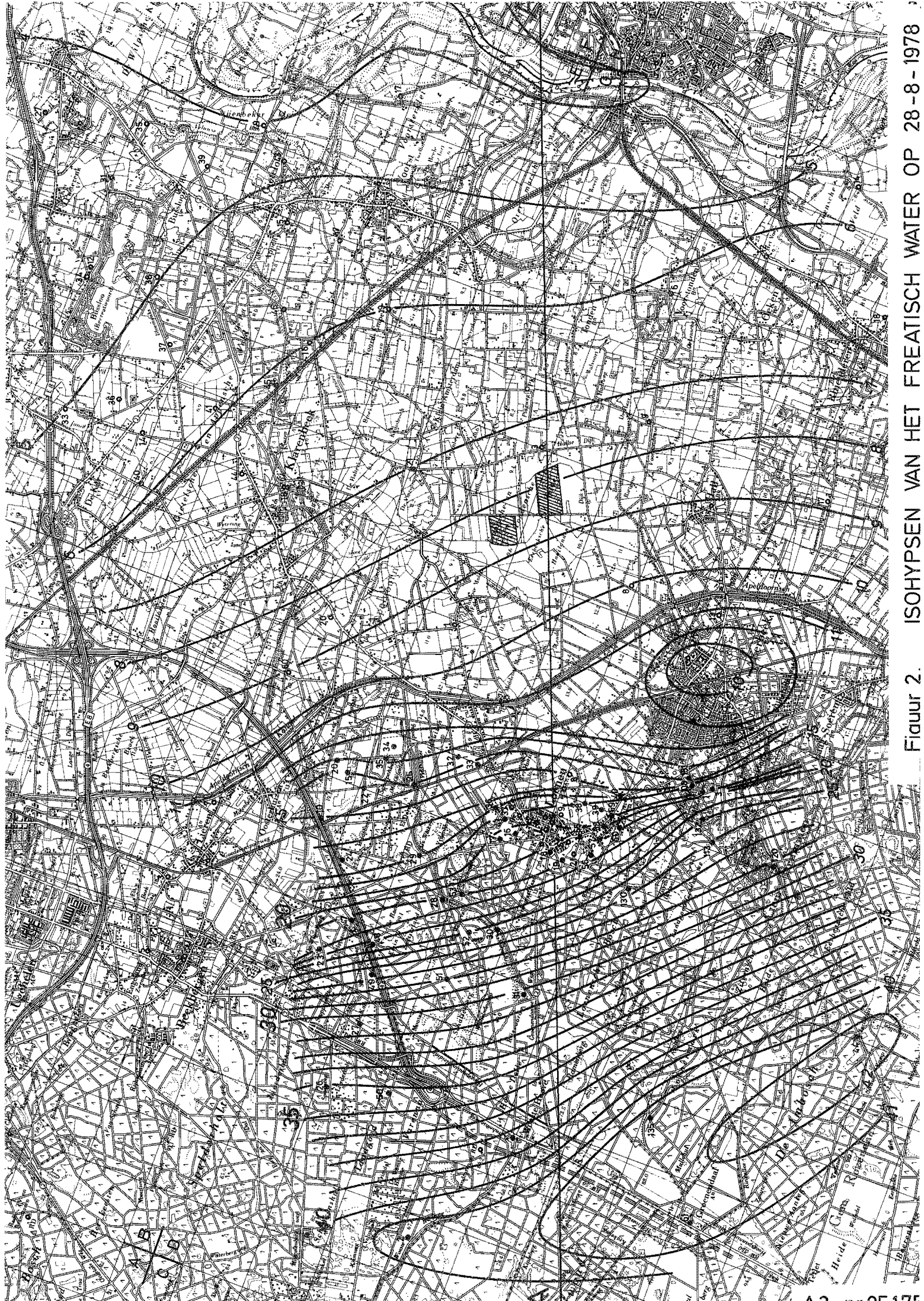
1. Aelmans, F.G., 1983. Grondwaterkaart van Nederland, blad Apeldoorn-Oost (33 Oost). Dienst Grondwaterverkenning - TNO.
2. Bannink, J.F. en J.C. Pape, 1979. Enige gegevens betreffende de bodemgesteldheid van de natuurterreinen Empese en Tondense heide, Koolmansdijk en Nijkampsheide, Stiboka.
3. Both, J.C. en G. van Wirdum, 1981. Waterhuishouding, bodem en vegetatie van enkele Gelderse natuurgebieden. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, RIN-rapport 81/18.
4. Brouwer, G.K. en J.H. Hoogendoorn, 1986. Hydrologische systeemkartering Salland/Oost Veluwe. Dienst Grondwaterverkenning - TNO.
5. Dalfsen, W. van, 1978. Geo-electrisch onderzoek IJsseldal. Dienst Grondwaterverkenning - TNO.
6. Dijkema, M.P., R.D.W. Hijdra, L. v.d. Meulen, J.Ph. Witte en G. van Wirdum, 1985. Ecohydrologische beschrijvingen en vergelijking van een tiental natuurgebieden. SWNBL-rapport 1b.
7. Persoonlijke mededeling van de heer J. Hammink.
8. Hoogendoorn, J.H., 1983. Hydrochemie Oost Nederland. Dienst Grondwaterverkenning - TNO.
9. Luggenhorst, E.J. te, 1980. De waterbalans van het 1e pand van het Apeldoorns Kanaal, nota 80, 16. District Zuidoost in de Directie W en W, RWS.
10. Persoonlijke mededeling van de heer W.N.J.G. van Waas, Landinrichtingsdienst, Dir. Gelderland.
11. Persoonlijke mededeling van Drs. G. van Wirdum, RIN.

12. Hydrologisch onderzoek in het Leerinkbeekgebied, 1970. Commissie ter bestudering van de waterbehoefte van de Gelderse landbouwgronden.

Tweede interimrapport werkgroep I.

13. Project 4b: De invloed van peilbeheersingsmaatregelen en wateraanvoer in een landbouwgebied op de grondwaterstand en waterkwaliteit in een natuurgebied.





FIGUUR 2. ISOHYPSEN VAN HET FREATISCH WATER OP 28-8-1978

Tabel 1.

Peilen (cm +NAP) in de "landbouwbuizen" (over de gehele lengte geperforeerd) en de stijgbuizen (filter van 20 cm) op punt 8 in de Empese en Tondense Heide. Maaiveldhoogte 952 cm +NAP (950-956).

nr. buis	8a	8c	"grondwater- stand"	p1	p2	p3	p4	"grondwater- stand"	
type	landb	landb		stijgbuizen					
lengte -mv	100	250		80	140	200	280cm		
mp (cm+NAP)	969	954		965	972	972	967		
datum									
+13.01.1978	946	945	946	945	941	940	929	945	
+27.01	945	945	945	945	938	933	925	945	
+14.02	913	909	913	915	909	904	897	915	
+28.02	926	922	926	929	923	918	911	929	
+15.03	940	936	940	944	936	930	920	944	
20.03	947	945	947	946	942	937	929	946	
+30.3	945	943	945	946	940	934	925	946	
+14.04	919	918	919	921	914	909	902	921	
10.5	934	930	934	935	926	919	904	935	
+16.05	933	929	933	936	928	922	-	936	
+29.05	873	870	873	878	874	870	-	878	
+15.06	d	842	842	d	848	844	-	848	
21.06	d	829	829	d	835	832	-	835	
+28.06	d	848	848	d	858	850	-	858	
29.06	d	845	845	d	854	848	-	854	
04.07	869	865	869	879	872	867	-	879	
06.07	870	866	870	910	873	869	-	910	
10.07	885	881	885	890	886	883	-	890	
12.07	873	870	873	909	875	871	-	909	
+14.07	d	860	860	d	865	862	-	865	
17.07	d	851	851	d	857	854	-	857	
19.07	d	845	845	d	851	847	-	851	
20.07	d	846	846	d	852	846	-	852	
25.07	d	837	837	d	841	837	-	841	
+28.07	d	829	829	d	834	831	-	834	
31.07	d	825	825	d	d	827	-	827	
07.08	d	817	817	d	d	819	-	819	
gemiddelden over de periodes:									
13.01/10.5	935	933	935	936	930	925	916	936	
16.05/28.07	-	857	858	-	863	858	-	869	
13.01/28.07	-	884	886	-	887	882	-	893	

Toelichting:

de "grondwaterstand" ("gws") is het peil in de kortste waterbevattende buis;

+ voor een peildatum: een halfmaandelijke peiling.

Bron: [3]

Tabel 2.

Peilen (cm +NAP) in de geheel geperforeerde ("landbouw"-)buizen en de stijgbuizen op punt 13 in de Empese en Tondense Heide. Maaiveldhoogte: 905 (903-907) cm +NAP.

nr. buis	13a	13b	p1	p2
type	landb	landb	stijgbuizen	
lengte -mv	100	200	90	180 cm
filter	-	-	20	40 cm
mp (cm +NAP)	932	942	927	926
datum:				
20.03.1978	911	910	912	915
+30.03	912	911	911	913
+14.04	908	907	908	906
10.05	907	906	905	903
+16.05	909	907	907	906
+29.05	880	877	878	873
+15.06	838	837	837	839
21.06	823	822	826	825
+28.06	854	852	854	852
+29.06	852	849	852	851
04.07	877	875	878	874
06.07	887	884	887	881
10.07	892	889	890	887
12.07	877	876	876	875
+14.07	863	862	862	861
17.07	852	851	853	852
19.07	847	845	847	847
20.07	856	854	856	854
25.07	839	837	837	839
+28.07	831	831	830	832
31.07	817	817	d	820
07.08	816	816	d	819
gemiddelde over de periode 20.03-28.07				
	871	869	870	869

+ voor de peildatum: een halfmaandelijke peiling.

Bron: [3]

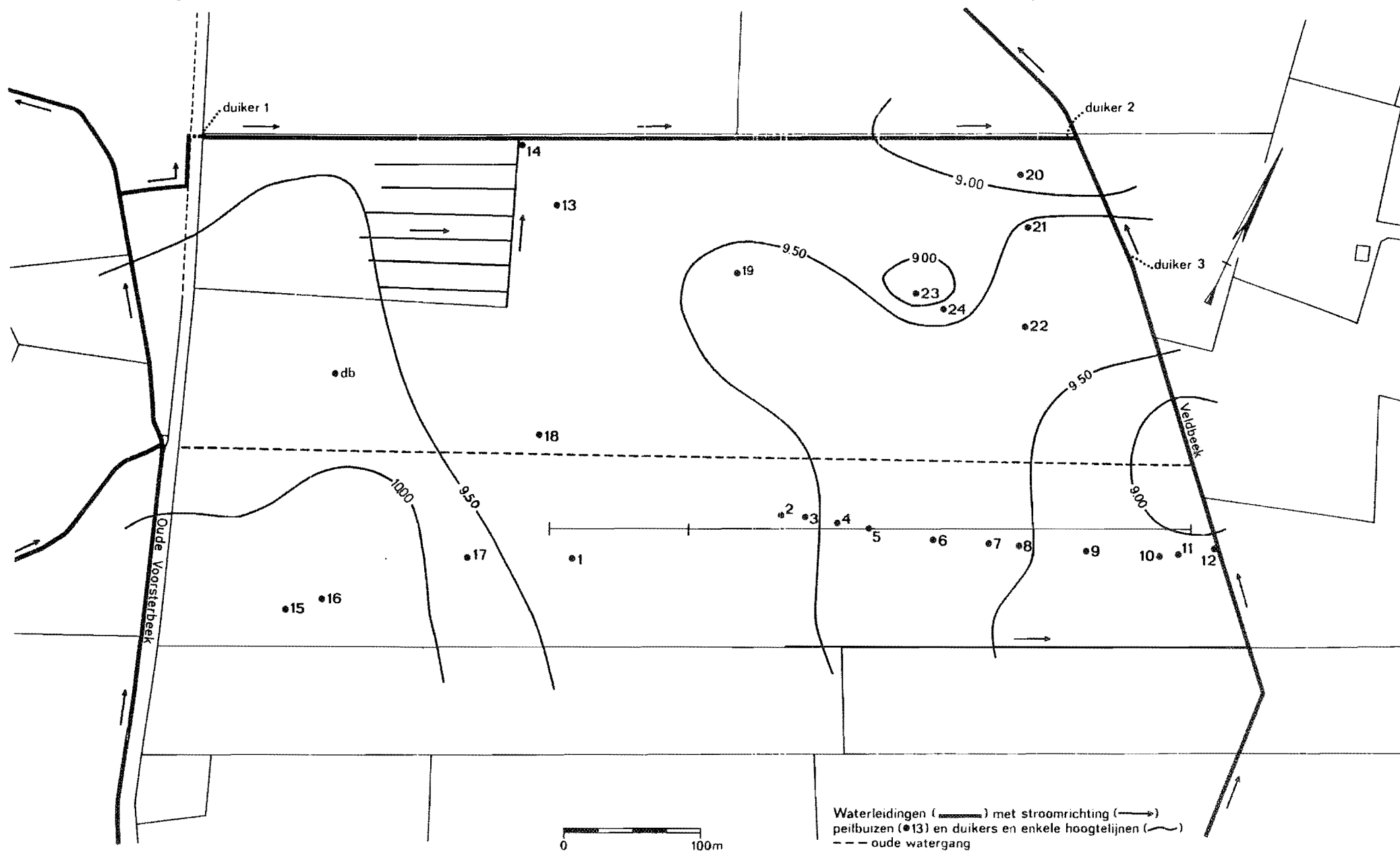


Fig. 4 Empese & Tondense heide.

Bron : [3]

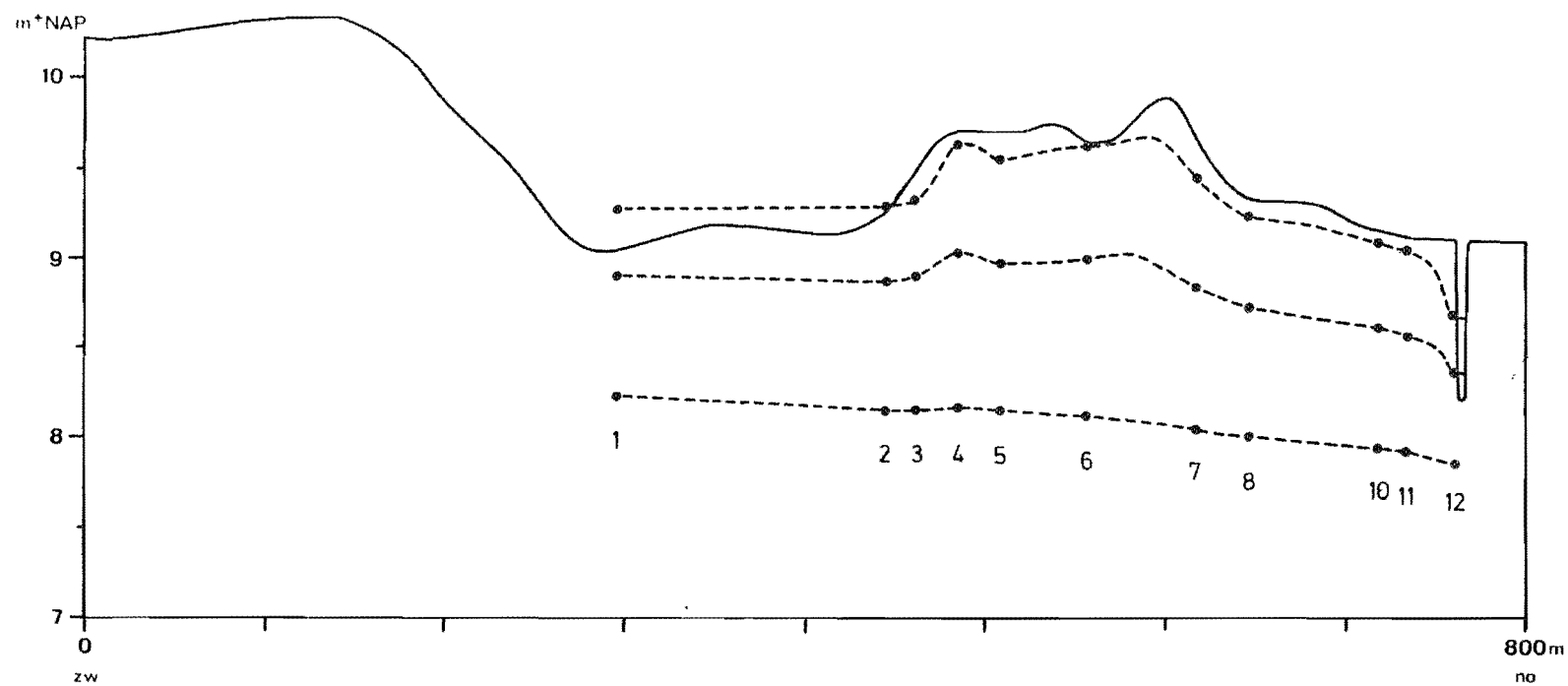


Fig. 5 Doorsnede van de Empese en IJndense heide over rasterlijn D van zuidwest (links) naar noordoost (rechts), met het niveau van de gemiddelden van de 3 hoogste grondwaterstanden (HG3's), van de gemiddelde grondwaterstanden en van de gemiddelden van de 3 laagste grondwaterstanden (LG3's), berekend over de periode 14 augustus 1977 t/m 28 juli 1978 (14-daagse peilgegevens, minus 28 april 1978, dus n=23).

Bron : [3]

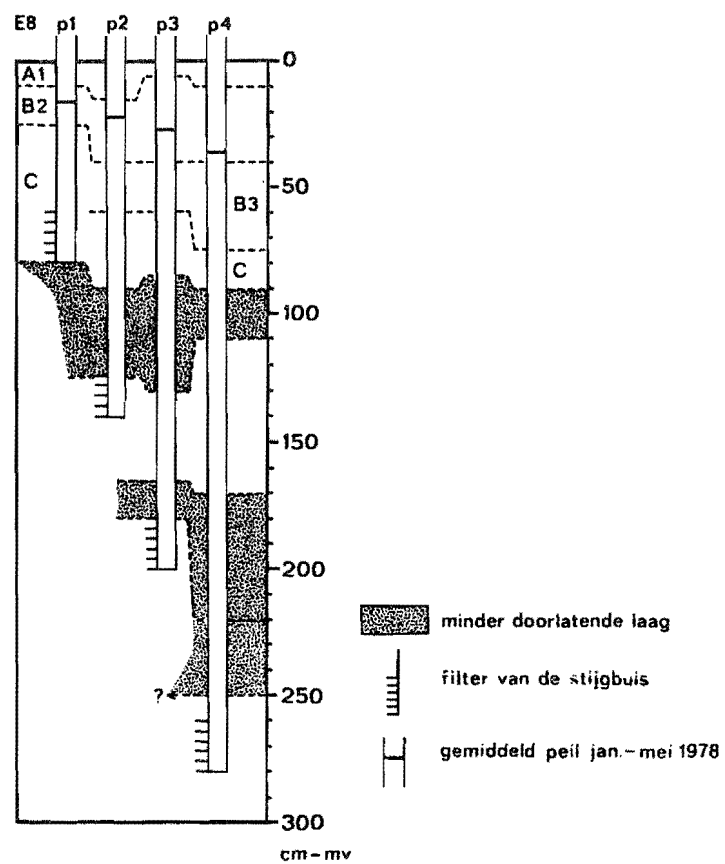


Fig.6 Bodemopbouw en situering van de stijgbuizen op punt 8.

Bron: [3]

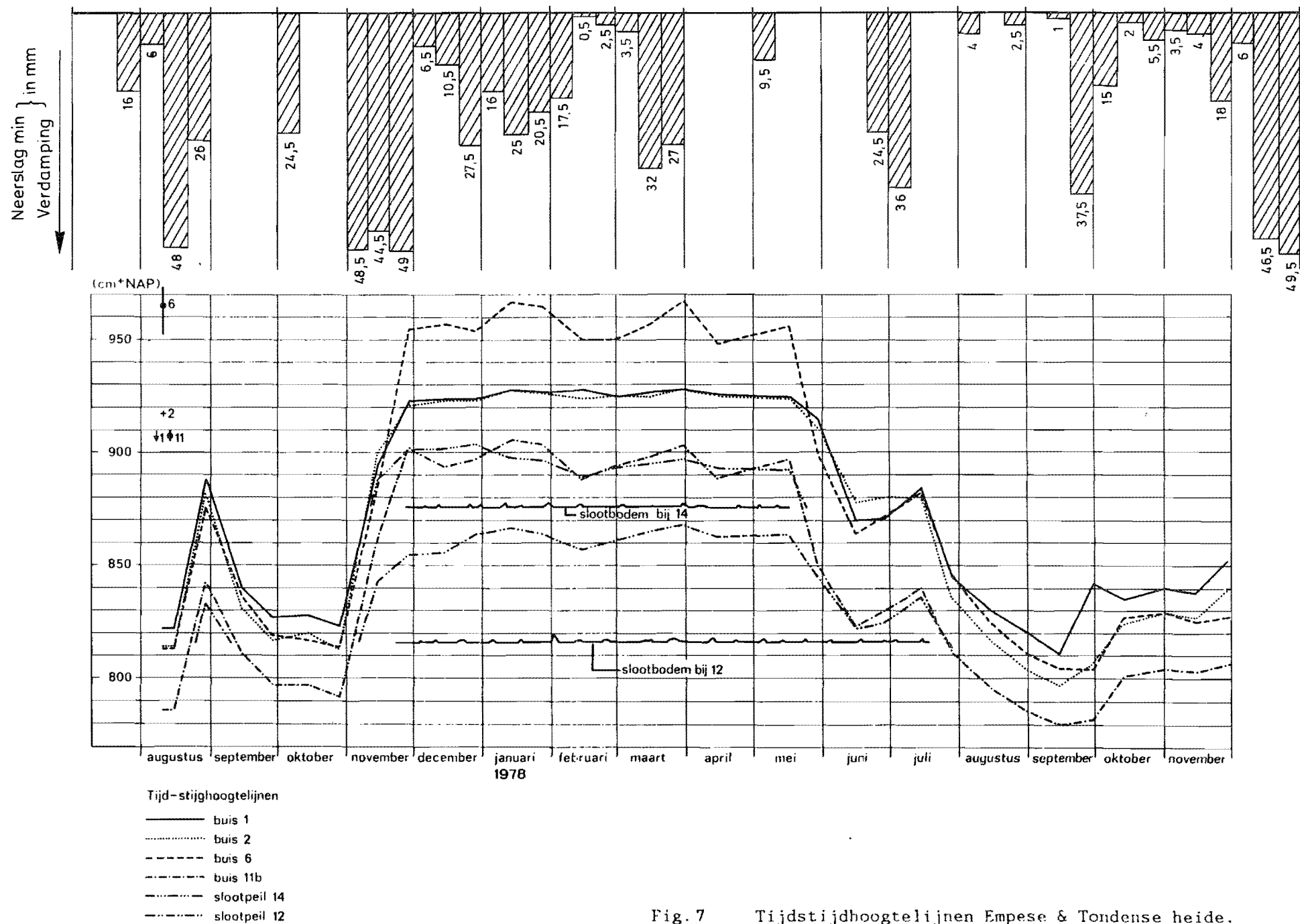


Fig. 7 Tijdstijghoogtelijnen Empese & Tondense heide.

Bron: [3]

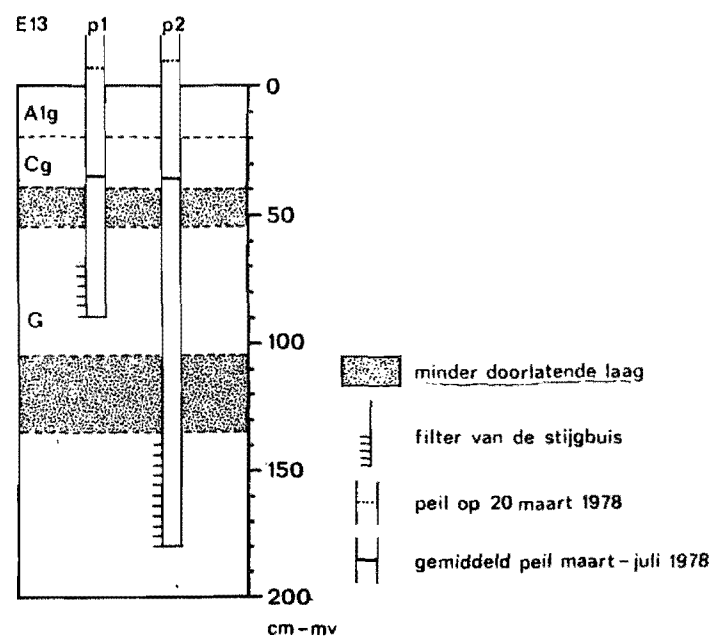


Fig. 8 Bodemopbouw en situering van de stijgbuizen op punt 13.

Bron: [3]

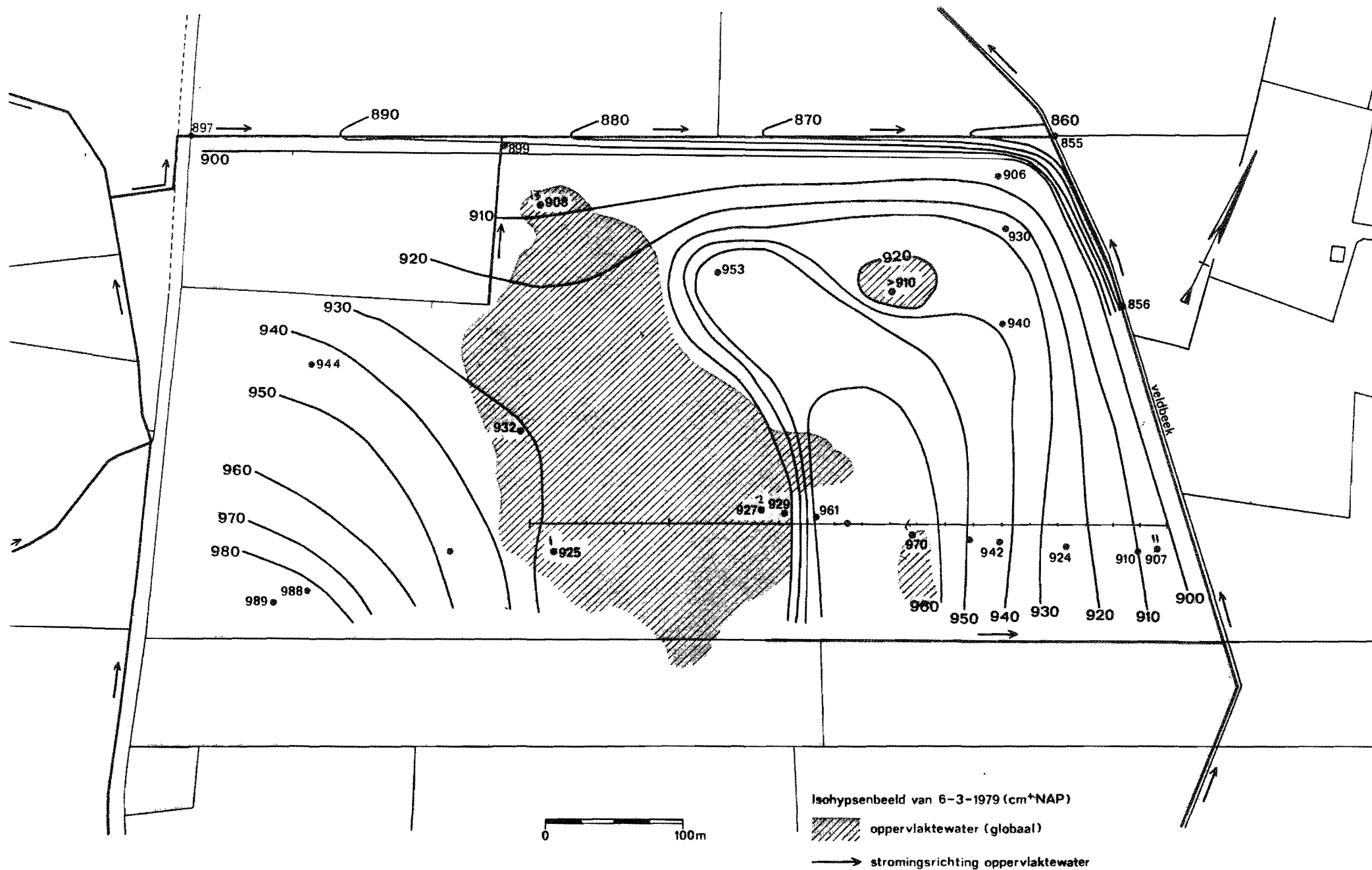
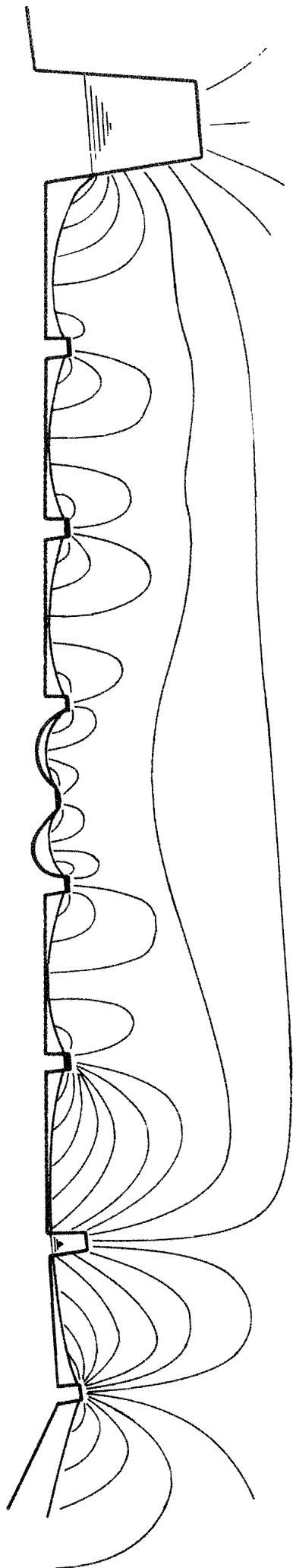


Fig. 9 Empese en Tondense Heide.

Bron: [3]

Natte tijd

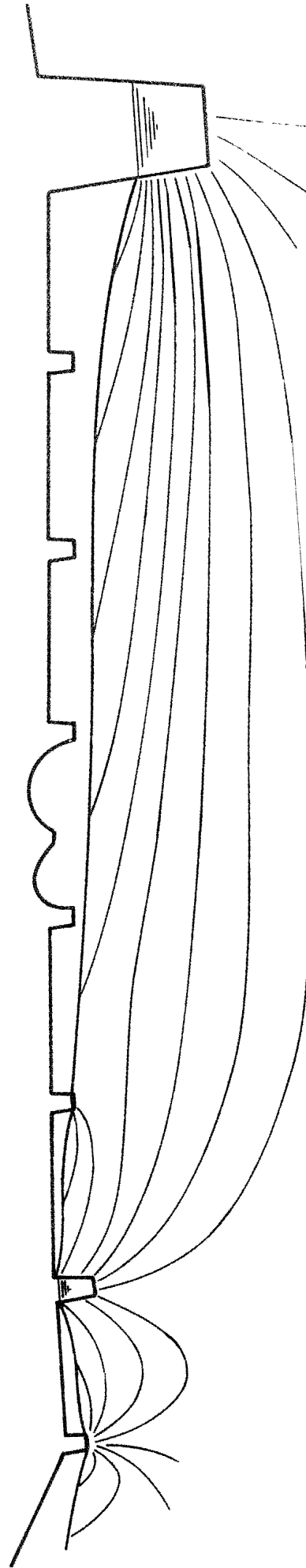


Apeldoornsch Kanaal

Empese en
Tondense heide

IJssel

Droge tijd



Schetsmatige stromingsbeelden

fig. 10

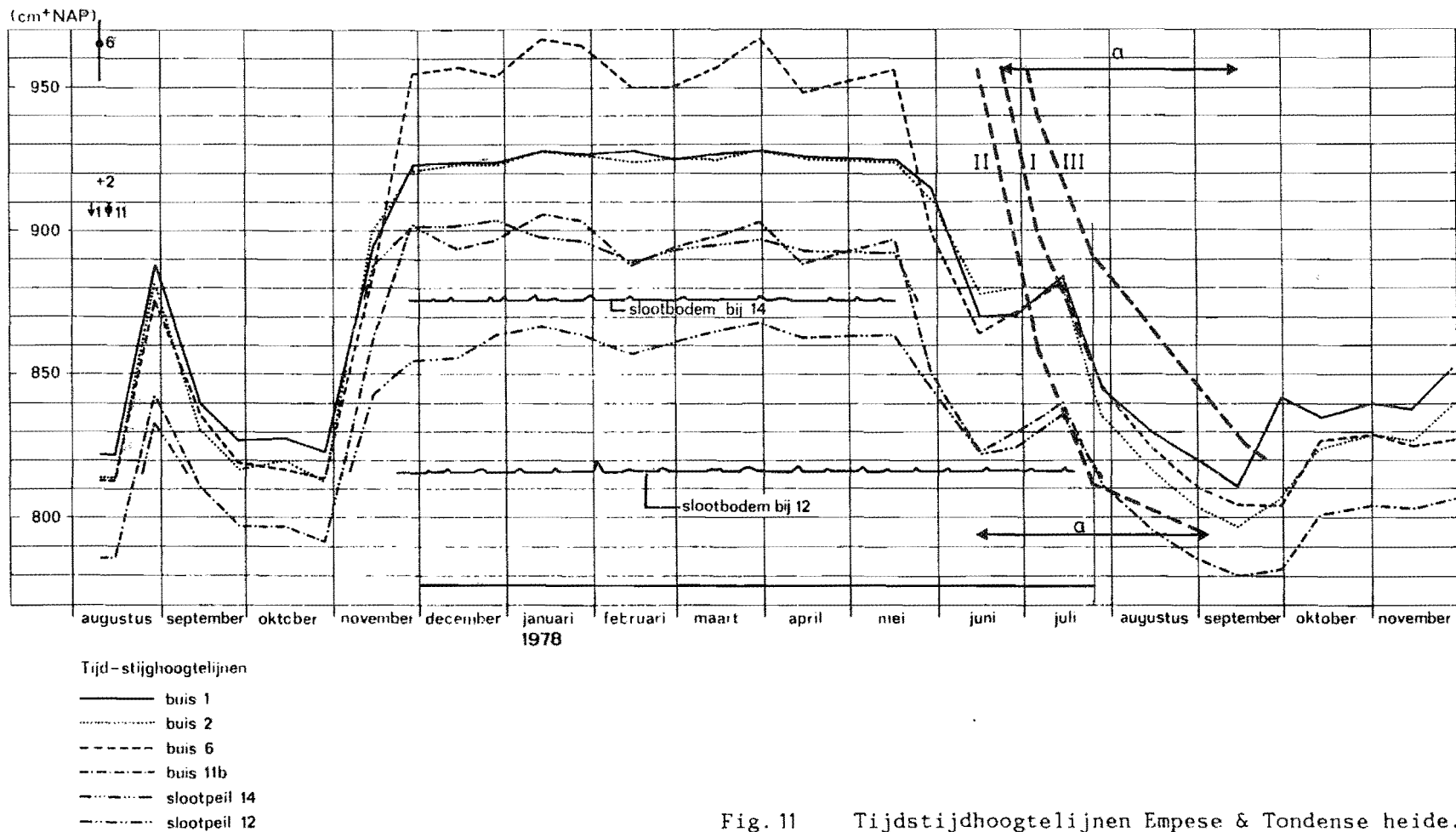


Fig. 11 Tijdstijghoogtelijnen Empese & Tondense heide.

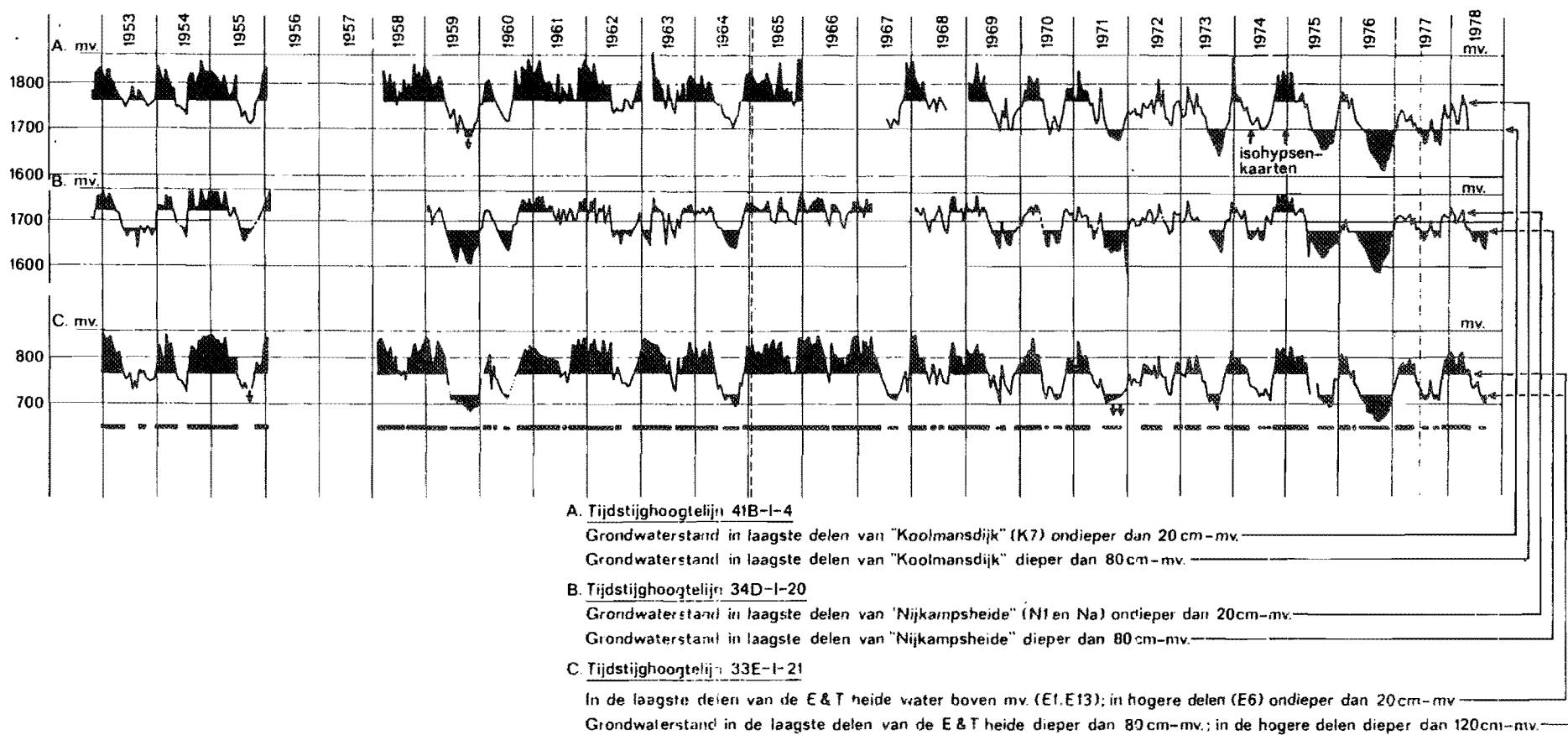


Fig. 12 Tijdstijghoogtelijnen TNO-buizen.

Bron : [3]

Geschatte GHG (cm - mv)
(Stiboka, 1979)

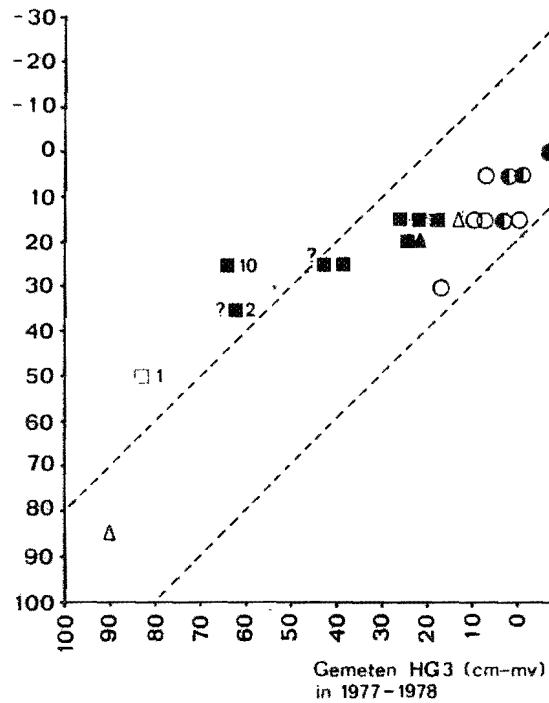


Fig. 13a Extreme peilen en profiel kenmerken

Bron : [3]

Geschatte GLG (cm - mv)
(Stiboka, 1979)

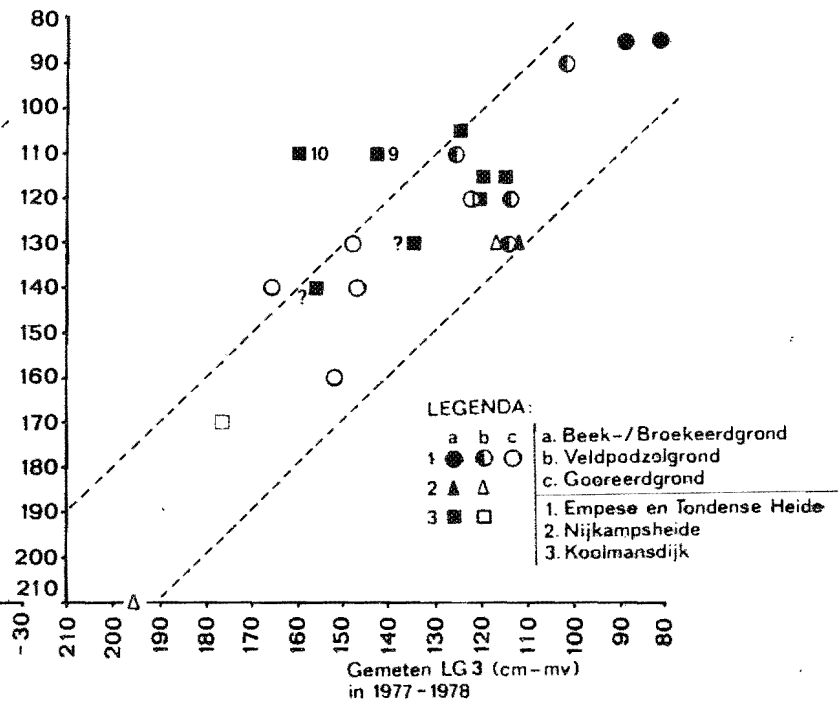


Fig. 13 b Extreme peilen en profiel kenmerken.