Beoordeling kwelonderzoek Ketelmeer

Onderzoek naar het oorzakelijk verband tussen de in 1997 in de Noordoostpolder opgetreden landbouwschade en de aanleg van het speciedepot IJsseloog in het Ketelmeer

F.J.E. van der Bolt
M.F.P. Bierkens
H. Kleijer

Rapport 636

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1999

REFERAAT

F.J.E. van der Bolt, M.F.P. Bierkens en H. Kleijer, 1999. Beoordeling kwelonderzoek Ketelmeer, Onderzoek naar het oorzakelijk verband tussen de in 1997 in de Noordoostpolder opgetreden landbouwschade en de aanleg van het speciedepot IJsseloog in het Ketelmeer. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport-636. 64 blz.; 3 tab.; 3 fig.; 15 ref.; 1 aanh.

Trefwoorden: Landbouwschade, kwel, Noordoostpolder, Ketelmeer, IJsseloog

ISSN 0927-4499

© 1999 DLO Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO),
Postbus 125, NL-6700 AC Wageningen.
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO-Staring Centrum.

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Projectnummer 87721 [Rapport-636/31/03-99]

Inhoud

1	Inleiding	9
2	Beoordeling tussenrapportage kwelonderzoek NOP (maart 1997).	11
3	Beoordeling tussenrapportage kwelonderzoek NOP (november 1997)	13
3.1	Het bodemkundig onderzoek	13
3.2	Het hydrologisch onderzoek	15
3.3	Het gewasonderzoek	16
3.4	Samenhang tussen de deelonderzoeken	16
3.5	Conclusies	17
4	Veldbezoek onder leiding van DLV–bodemadvies 12 maart 1998	19
5	Analyse van het topsysteem (april 1998)	23
6	Beoordeling schade voor een aantal kavels (april en september 1998)	31
6.1	Kavel E102	33
6.2	Kavel E137	36
6.3	Kavel E152	37
6.4	Kavel E164	38
6.5	Kavel P72	39
6.6	Kavel E165	41
7	Advies Concept-rapportage Hydrologie 1997-1999 (juli 1999)	43
7.1	Causaliteit	43
7.2	Naijleffecten	44
8	De concept-eindrapportage kwelonderzoek Ketelmeer (december 1999)	47
8.1	Het bodemkundig onderzoek	47
8.2	Het bodemstructuuronderzoek	47
8.3	Het hydrologisch onderzoek	48
8.4	Chemische samenstelling van water en grond	48
8.5	Het gewasonderzoek	48
8.6	Samenhang tussen de deelonderzoeken	49
9	Discussie	51
10	Conclusies	55

Woord vooraf

In september 1997 is door Rijkswaterstaat directie IJsselmeergebied aan SC-DLO gevraagd of het mogelijk is om op basis van profielkenmerken een verandering in de grondwaterstand vast te stellen. Dit omdat moest worden vastgesteld of door de aanleg van een slibdepot in het Ketelmeer de grondwaterstanden in de omringende polders zijn verhoogd en of daardoor bij agrarisch grondgebruik schade optreedt. Onze reactie op deze vraag heeft in oktober 1997 geleid tot het verzoek offerte uit te brengen voor een onafhankelijke beoordeling van de DLV-rapportage inzake het kwelonderzoek in de Noordoostpolder en voor een second-opinion in maximaal een tiental schadegevallen. De concept-eindrapportage van het onderzoek van DLV is in december 1998 verschenen. In de tussentijd is verschillende malen verslag uitgebracht. Dit rapport bevat de gebundelde en geredigeerde verslagen.

Omdat de inzichten in het functioneren van het hydrologisch systeem door de steeds nieuw beschikbaar komende data en de daarop volgende discussies voortdurend is toegenomen is eerder sprake geweest van begeleiding dan van beoordeling. Indien het mogelijk is zouden we bij een volgende gelegenheid liever bij de opzet van de studie worden betrokken dan deze achteraf te moeten beoordelen. Dat werkt prettiger en leidt door vroege bundeling van expertise en vaardigheden tot een optimaal resultaat.

Ik wil Aad Beemster, Arnold Hebbink van RIZA en Andries de Zeeuw, Arne Bac en Jan van Berkum van DLV-bodemadvies bedanken voor de bereidheid waarmee ze steeds onze vragen hebben beantwoord, data hebben opgestuurd en voor de prettige discussies die we hebben mogen voeren. Ook Klaas Groen (RIZA) en de leden van de FLTO/Kwelcommissie J. Kuijper, I. Geschiere, J. van Hoeve en J. Riedstra hebben hun inzichten en kennis met ons gedeeld.

Namens SC-DLO hebben ook Philip Hamaker en Harrie Massop bijgedragen aan deze studie.

Frank van der Bolt

Samenvatting

De bodem van het Ketelmeer is ernstig verontreinigd en wordt gesaneerd door het slib te verwijderen. Voor de opslag van dit verontreinigde slib is het depot IJsseloog in het Ketelmeer aangelegd. Bij de aanleg van het depot is het afdekkende (holocene) pakket afgegraven waardoor het water van het Ketelmeer in direct contact is komen te staan met het (pleistocene) watervoerende pakket. De stijghoogten in dit eerste watervoerende pakket zijn door de aanleg van het depot gestegen. De agrariërs binnen het studiegebied constateerden tegelijkertijd duidelijk nattere omstandigheden op hun kavels. Op basis van een vooraf uitgevoerde modelstudie werd dit effect niet verwacht. DLV heeft een bodemkartering uitgevoerd, heeft een monitoringnetwerk ingericht en heeft de gewasschade geïnventariseerd om te onderzoeken of er een samenhang tussen de toegenomen stijghoogten in het freatisch pakket en de hogere waargenomen grondwaterstanden bestaat. De uitgevoerde studie moet naast een inventarisatie van de gevolgen ook een antwoord op de causaliteitsvraag geven.

SC-DLO is gevraagd de wetenschappelijke merites van het bodemkundig onderzoek, het hydrologisch onderzoek, en de samenhang tussen bodemkundig -, hydrologisch - en gewasonderzoek te beoordelen. Centraal stond daarbij de vraag of met de gevolgde onderzoeksopzet de causaliteit onomstotelijk kan worden aangetoond. Omdat de inzichten in het functioneren van het hydrologisch systeem door de steeds nieuw beschikbaar komende data en de daarop volgende discussies voortdurend is toegenomen is eerder sprake geweest van begeleiding dan van beoordeling.

Het hydrologisch deelonderzoek toont door de grote opgetreden veranderingen na de afronding van de baggerwerkzaamheden via de gemeten stijghoogten de causaliteit voor een aantal locaties aan. Voor locaties met minder grote veranderingen kan de causaliteit op basis van de meetreeksen worden aangetoond via tijdreeksanalyse. Ook het kwaliteitsdeel heeft de potentie de causaliteit aan te tonen. De bodemkartering en het bodemstructuuronderzoek geven een ruimtelijk beeld van de locaties waar vernatting als gevolg van de aanleg van het depot kan optreden. De bodemkartering maakt duidelijk waarom de voorspellingen van de eerder door Rijkswaterstaat uitgevoerde modelstudie niet kloppen. Het structuuronderzoek, de gewasbeoordeling en het kwaliteitsonderzoek beschrijven de opgetreden gevolgen.

Het ontbreken van met name gegevens over doorlatendheden en diktes van de veenlagen maken de beoordeling van de locale schadegevallen speculatief. Het meetprogramma had kunnen worden verfijnd. Tegelijkertijd meten van de potentiaal van het watervoerende pakket op dezelfde meetlocaties waar de grondwaterstanden worden gemeten maakt een betere analyse van het systeem mogelijk. Daarbij meten van afvoeren van drains of kavelssloten maakt het mogelijk een waterbalans op te stellen waardoor de weerstanden van het afdekkend (veen)pakket kunnen worden bepaald. Karteren van de diepte waarop het pleistocene zand voorkomt, de dikte en het voorkomen van de verschillende veensoorten en het bepalen van de doorlatendheden voor de onderscheiden veensoorten had tot een ruimtelijk beeld van de weerstanden geleid.

Het DLV-onderzoek heeft een sterk inventariserend karakter: er wordt veel gemeten. De samenhang tussen de verschillende deelonderzoeken kan worden verbeterd. Met name ontbreekt een ruimtelijk beeld van de opgetreden effecten op basis van de meetgegevens en beschikbare andere informatie. In dit rapport is een dergelijk beeld vervaardigd op basis van de bodemkaart. Daarnaast is via literatuuronderzoek een kwelkaart voor het gebied gevonden. De beide kaarten leiden tot een vergelijkbaar beeld. Samen met de door DLV uitgevoerde gedetailleerde bodemkartering en de resultaten van het structuuronderzoek, de hydrologische meetresultaten en de geïnventariseerde schades kunnen betere ruimtelijke beelden van de kwelzones en van de als gevolg van de aanleg van IJsseloog opgetreden verhogingen van de grondwaterstanden worden verkregen. Met deze informatie kunnen ook de schadeclaims op kavels waar niet is gemeten op een verantwoorde manier worden onderbouwd.

1 Inleiding

De bodem van het Ketelmeer is ernstig verontreinigd. De bodem wordt gesaneerd door het slib te verwijderen. Voor de opslag van dit verontreinigde slib is het depot IJsseloog in het Ketelmeer aangelegd. De werkzaamheden zijn gestart in juli 1996 en zijn afgerond in 1998. Bij de aanleg van het depot is het afdekkende (holocene) pakket afgegraven waardoor het water van het Ketelmeer in direct contact is komen te staan met het (pleistocene) watervoerende pakket.

Door RIZA is een vooronderzoek verricht om de mogelijke effecten in kaart te brengen (het rapport Hydrologische effecten aanleg speciedepot IJsseloog"). Uit de verrichtte modelberekeningen is de conclusie getrokken dat de verhoogde potentiaal in het watervoerende pakket geen effect zou hebben op het freatisch pakket. Op basis van deze conclusie is met de aanleg van het depot begonnen zonder dat een intensief monitoringnetwerk in het freatisch pakket was ingericht. Uit stijghoogtemetingen van het RIZA blijkt dat de stijghoogten in het eerste watervoerende pakket door de aanleg van het depot zijn gestegen, (ca 1.5 m dicht bij het depot, ca 0.75 m onder respectievelijk de zuidrand van de Noordoostpolder en de noordrand van Oostelijk Flevoland grenzend aan het Ketelmeer). De agrariërs binnen het studiegebied constateerden in dezelfde periode echter ook duidelijk nattere omstandigheden op hun kavels. Zij poneerden de hypothese dat de aanleg van het depot wel in effecten in het freatische pakket resulteerde. Zo is geconstateerd dat op kavels met zandopduikingen de drain-afvoeren zijn toegenomen, ook in perioden waarin geen neerslag is gevallen. Dit wijst op een toename van de kwelflux als gevolg van de toegenomen stijghoogten in het watervoerend pakket.

Deze constatering leidt tot de volgende twee vragen:
1. Leiden de toegenomen stijghoogten en de daardoor toegenomen kwelflux op kavels waarop het pleistoceen zand ondiep zit tot hogere grondwaterstanden?
2. Wat is de eventuele schade (door een verminderde gewasopbrengst en/of een verminderde bewerkbaarheid) die hierdoor wordt veroorzaakt?

Om deze vragen te beantwoorden is door De Landbouw Voorlichting (DLV) voor een aantal kavels in de Noordoostpolder onderzoek uitgevoerd naar: grondwaterstanden, profielkenmerken (profielopbouw en structuuronderzoek), de chemische samenstelling van de grond en de gewasopbrengst.

DLO-Staring Centrum is door RWS directie IJsselmeerpolders gevraagd het bodemkundig onderzoek, het hydrologisch onderzoek, en de samenhang tussen het bodemkundig-, hydrologisch– en het gewasonderzoek van DLV inhoudelijk te beoordelen. In maart en november 1997 is daartoe de Concept Tussenrapportage Kwelonderzoek Ketelmeer (Bac et. al. 1997) beoordeeld (resp. hoofdstuk 2 en hoofdstuk 3). Dit heeft geresulteerd in een gezamenlijk veldbezoek (DLV, SC-DLO, RIZA en de kwelcommissie) om beter inzicht in het studiegebied te krijgen (hoofdstuk 4).

Daarnaast is SC-DLO gevraagd voor enkele schadegevallen de samenhang met de aanleg van het slibdepot 'IJsseloog' aan te geven. Daartoe is eerst een analyse van de waterhuishouding van het topsysteem in het studiegebied gemaakt (hoofdstuk 5). Op basis van deze analyse is een algemene werkwijze voor de beoordeling van het optreden van natschade geformuleerd. Daarna zijn de specifieke schadegevallen beschreven en beoordeeld (hoofdstuk 6).

Hoofdstuk 7 bevat de beoordeling van de concept-eindrapportage (Bac et al., 1998). Daarbij is de later geschreven oplegnotie beschouwd als deel van deze concept-eindrapportage. Getoetst is aan de vraag of met de verzamelde gegevens en de gevolgde methoden een verandering van de grondwaterstanden als gevolg van de aanleg van het depot IJsseloog kan worden aangetoond (causaliteit).

Hoofdstuk 8 bevat de discussie, hier wordt aangegeven hoe de meetresultaten met andere gegevens kunnen worden gecombineerd om tot een gebiedsdekkend beeld van de stijging van de grondwaterstanden en de landbouwschade te komen. In hoofdstuk 9 staan de conclusies.

2 Beoordeling tussenrapportage kwelonderzoek NOP (maart 1997).

Algemeen
Uit het rapport "Hydrologische effecten aanleg speciedepot IJsseloog" en stijghoogtemetingen van het RIZA blijkt duidelijk dat de stijghoogten in het eerste watervoerende pakket (terraszanden) zijn gestegen, (ca 1.5 m dicht bij het depot, ca 0.75 m onder respectievelijk de zuidrand van de Noordoostpolder en de noordrand van Oostelijk Flevoland grenzend aan het Ketelmeer.

Op kavels met zandopduikingen zijn er meldingen gedaan van toegenomen drain-afvoeren, ook in perioden waarin geen neerslag is gevallen. Dit wijst op een toegenomen kwelflux ten gevolge van de toegenomen stijghoogten in het watervoerend pakket. Voor kavels in de Noordoostpolder leidt dit tot de volgende twee vragen:

1. Leiden de toegenomen stijghoogten en toegenomen kwelflux op kavels waarop het pleistoceen zand ondiep zit tot hogere grondwaterstanden?
2. Wat is de schade die hierdoor wordt veroorzaakt? Te denken valt aan schade ten gevolge van
   - transpiratiereductie door verminderde aëratie;
   - structuurbederf
   - verliezen t.g.v. beperkte bedrijfsvoering.

Om deze vragen te beantwoorden is door DLV onderzoek uitgevoerd voor een groot aantal kavels in de Noordoostpolder. Dit betrof onderzoek naar de grondwaterstand, bodemonderzoek (bodemkartering en structuuronderzoek), onderzoek naar de chemische samenstelling van de grond en een gewasbeoordeling. De tussenrapportage die op 30 oktober in de stuurgroep voor het DLV-onderzoek is besproken betreft de periode vanaf het begin van de graafwerkzaamheden in juli 1996 tot 30 september 1997. Op basis van het DLV-onderzoek tot nu toe is het mogelijk om aan te geven op welke kavels hoge grondwaterstanden en natschade in 1997 zijn opgetreden. Het geeft echter geen uitsluitsel of de hoge grondwaterstanden en schade het gevolg zijn van de aanleg van het depot. Het onderzoek tot op dit moment levert dus alleen informatie over actuele natte omstandigheden en niet over vernatting. Hiervoor zou de situatie voor de aanvang van de werkzaamheden ook moeten zijn meegenomen. Omdat dit helaas niet is gedaan is het van het grootste belang dat doorgegaan wordt met het meten van grondwaterstanden tot een aanzienlijke tijd na het gereedkomen van het depot. Ook het structuuronderzoek en de gewasopnamen dienen bij voorkeur een jaar na het gereedkomen van het depot herhaald te worden.

Specifieke opmerkingen

1. Het vaststellen dat de grondwaterstand hoger is dan normaal op basis van roestverschijnselen in de bodem blijft een moeilijk punt. Volgens H. Kleijer (Afdeling Veldbodemkunde SC-DLO) is het niet mogelijk om grondwaterstandverhogingen te relateren aan profielkenmerken omdat in veel gevallen het niet duidelijk is hoe snel geoxideerde ijzerverbindingen bij vernatting in gereduceerde toestand geraken.

2. De vergelijking van de actuele grondwaterstand met de GHG en GLG die zijn geschat op basis van profielkenmerken heeft weinig zin:
   - De GHG en de GLG kunnen niet absoluut geschat worden uit profielkenmerken alleen. Zij dienen gekalibreerd te worden aan een reeks grondwaterstandmetingen van minstens 8 jaar. De GHG en GLG die alleen uit profielkenmerken zijn geschat kunnen decimeters afwijken van de werkelijke GHG en GLG.
   - De GHG en de GLG zijn langjarige gemiddelden van de drie hoogste en drie laagste grondwaterstanden op basis van een meetfrequentie van twee maal per maand. Het kan dus binnen de natuurlijke variatie best zo zijn dat gedurende een periode van het jaar de grondwaterstand boven de GHG uitkomt. Dit betekent geenszins dat het regime van de grondwaterstand is veranderd.
3. Het is duidelijk dat het wenselijk is dat de grondwaterstand gemeten wordt tot minstens een jaar na het gereedkomen van het depot. Ook zal dan nog een opname van de bodemstructuur en het gewas nodig zijn. Om het effect van de aanleg van het depot op de grondwaterstand vast te stellen zal het nodig zijn om de reeksen tijdens en na de aanleg te corrigeren voor het neerslagoverschot. Dit kan door middel van tijdreeksanalyse. De geringe lengte van de reeksen blijft hierbij een probleem. Dit probleem kan wellicht enigszins worden opgeheven door met een hogere frequentie dan tweemaal per maand te meten. De correctie van de gewasopnamen en de structuuropnamen voor het neerslagoverschot blijft echter een probleem. Hoe corrigeer je de gewastoestand en -opbrengst tijdens en na de aanleg van het depot voor verschillen in neerslagoverschot? Hoe doe je dit voor de bodemstructuur? Dit laatste is nog veel moeilijker omdat structuurbederf iets is van de langere termijn en een eventuele structuurverbetering door lagere grondwaterstanden na gereedkomen van het depot waarschijnlijk zeer geleidelijk gaat. Het is dus wenselijk dat DLV aangeeft hoe het haar waarnemingen denkt te corrigeren voor het neerslagoverschot gedurende de waarnemingsperiode.

3 Beoordeling tussenrapportage kwelonderzoek NOP (november 1997)

3.1 Het bodemkundig onderzoek

In dit deelonderzoek zijn via boringen profielkenmerken beschreven en is de grondwaterstand gemeten. Veel aandacht in de profielbeschrijvingen gaat uit naar het voorkomen van 'fletse roest'. Gesteld wordt dat dit wordt veroorzaakt door een stijging van het grondwaterpeil.

Het vaststellen van een grondwaterstandregime op basis van roestverschijnselen in de bodem is een heikel punt. Het is niet mogelijk om grondwaterstandverhogingen te relateren aan gley-verschijnselen omdat niet duidelijk is hoe snel geoxideerde ijzerverbindingen bij vernatting in de bodem in gereduceerde toestand geraken. Driewaardig ijzer kan in een situatie met een continue of periodieke verzadiging met water en de aanwezigheid van organisch stof reduceren tot tweewaardig ijzer. Tweewaardig ijzer is goed oploshaar en verplaatst zich. De zone met permanente waterverzadiging is homogeen donkergrijs, de periodiek verzadigde zone bestaat uit een laag met een grijze matrix met bruine roestvlekken langs wortelgangen en scheuren. Deze roestvlekken worden gley-verschijnselen genoemd. Deze vlekken worden veroorzaakt doordat lucht (en daarmee zuurstof) langs scheuren en gangen in de bodem is doorgedrongen die het mobiele tweewaardig ijzer heeft geoxideerd waardoor dit is neergeslagen. Gley-verschijnselen komen voor in de zone van de bodem waarin het grondwater fluctueert (of in het verleden heeft gefluctueerd; fossiele gley).

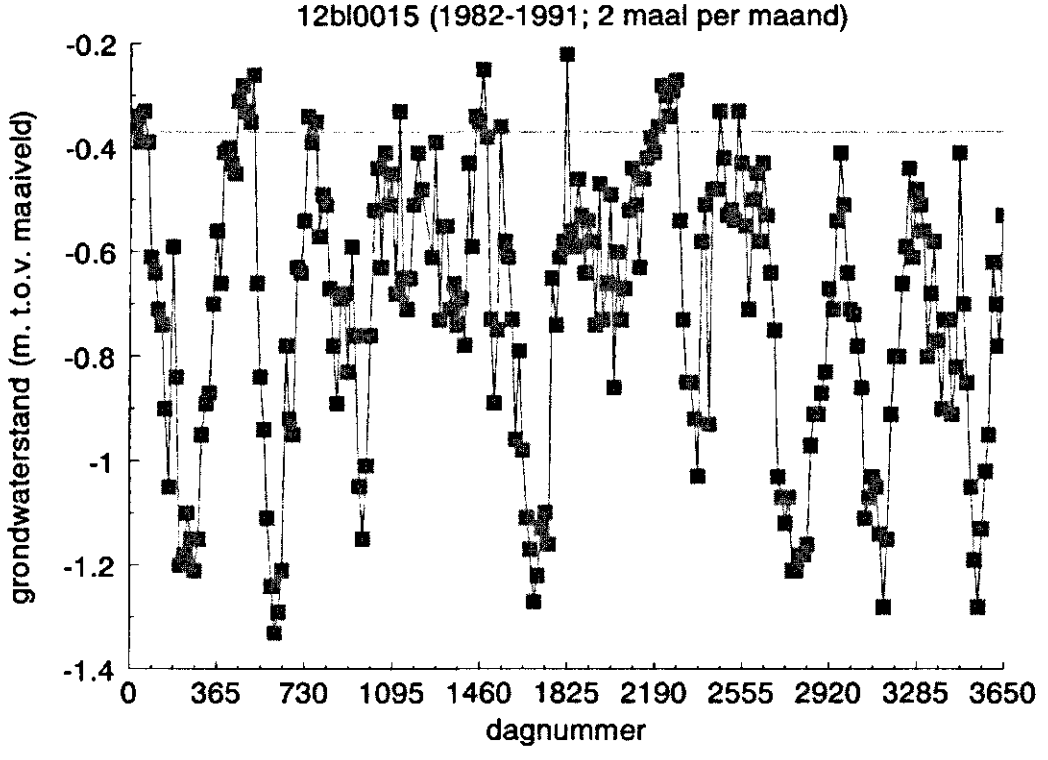
In het algemeen reduceert ijzer langzaam, dwz dat het evenwicht sterk naar het geoxideerde driewaardig ijzer is verschoven. Dat betekent dat gedurende langere tijd anaërobe omstandigheden vereist zijn om een dergelijke verschuiving te realiseren. De zuurstofbeschikbaarheid is sturend voor het optreden van oxidatie en reductieprocessen van ijzer. Dat betekent dat structuur, bodemfysische eigenschappen (moedermateriaal) en grondwaterstand sterk sturend zijn. Daarnaast zijn het organische stofgehalte, de pH, andere (zuurstof verbruikende of producerende) chemische processen en biologische processen mede bepalend. Derhalve:

- Is er altijd sprake van een overgangszone omdat er ook een geleidelijke overgang van vochtgehaltes en luchtgehaltes boven de grondwaterspiegel optreedt;
- Is de afstand van dergelijke roestplekken tot de grondwaterspiegel niet eenduidig maar afhankelijk van met name moedermateriaal en structuur (Locher en de Bakker, 1993);
- Zijn in (sterk) gestructureerde gronden op een zelfde diepte verschillen mogelijk omdat binnen de structuurelementen de beluchting langzamer of minder is dan in de macroporiën tussen de structuurelementen.

Bij een daling van de grondwaterstand zuilen de gley-verschijnselen de grondwaterstanden volgen doordat via de betere beluchting roestplekken ontstaan langs scheuren en wortelgangen (rijping van kleigronden). De grootte van de optredende verandering is niet te bepalen omdat de fossiele en de actuele kenmerken niet gemakkelijk zijn te onderscheiden. Bij een structurele verhoging van de grondwaterstand kan op basis van deze profielkenmerken geen uitspraak worden gedaan omdat de historische situatie niet meer is te herkennen (driewaardig ijzer is omgezet in tweewaardig ijzer dat daarna uitspoelt).

Deze profielkenmerken kunnen in combinatie met Langjarige peilbuisgegevens gebruikt worden voor het schatten van een (langjarig gemiddelde) GHG en een GLG, niet voor een verandering in (langjarig gemiddelde) GLG of GHG (Ten Cate et al., 1995). Dat impliceert dat deze profielkenmerken zeker niet geschikt zijn voor het vaststellen van een verandering in grondwaterstanden binnen de periode van een jaar.

Het verschijnsel fletse roest' is voor ons nieuw. Hoe kan deze worden bepaald (Munsell) en is het mogelijk om de relatie met veranderingen in grondwaterstanden op korte termijn te leggen? Voorgesteld wordt deze tekst op dit punt aan te vullen na uitleg van DLV en een gezamenlijk veldbezoek.



Figuur 1 In buis 12bl0015 gedurende 1982 tot en met 1991 gemeten grondwaterstanden en de hieruit berekende GHG en GLG.

3.2 Het hydrologisch onderzoek

In dit deelonderzoek wordt de actuele in peilbuizen gemeten grondwaterstand vergeleken met de op basis van profielkenmerken geschatte GHG en GLG. Deze werkwijze leidt niet tot het gewenste resultaat omdat:

- De GHG en (1c GLG niet kunnen worden geschat uit a11een profielkenmerken. Zij dienen gekalibreerd te worden aan een reeks grondwaterstandmetingen van minstens 8 jaar. De GHG en GLG die alleen uit profielkenmerken zijn geschat kunnen decimeters afwijken van de werkelijke GHG en GLG (Te Riele en Brus, 1996, Locher en de Bakker, 1993).
- De GHG en de GLG langjarige gemiddelden zijn van resp. de drie hoogste en drie laagste grondwaterstanden binnen een jaar op basis van een meetfrequentie van twee maal per maand. Het zal dus binnen de natuurlijke variatie altijd zo zijn dat in natte jaren de grondwaterstand langere tijd boven de GHG uitkomt (in kan dit 2,5 maand zijn). Dit betekent geenszins dat het regime van de grondwaterstand is veranderd.

De GHG en de GLG vormen dan ook geen geschikte maat om veranderingen in grondwaterstanden binnen een periode van een jaar aan te tonen. Om een eventuele toename van de grondwaterstanden als gevolg van de aanleg van depot IJsseloog aan te kunnen tonen moeten andere toetsingsgrootheden en een andere toetsingsmethode worden gebruikt.

Gedurende de eerste helft van 1997 is meer neerslag dan normaal gevallen (KNMI, 1997). Deze van het langjarig gemiddelde afwijkende neerslaghoeveelheid kan ook tot hogere grondwaterstanden hebben geleid. Om het effect van de aanleg van het depot op de grondwaterstand vast te stellen zal het nodig zijn om de reeksen tijdens en na de aanleg te corrigeren voor het neerslagoverschot. Dit kan b.v. door middel van tijdreeks-analyse. De geringe lengte van de waarnemingsreeksen vormt hierbij een probleem. Dit probleem kan enigszins worden opgeheven door met een hogere frequentie te meten (minstens een maal per week).

Om het effect van de aanleg van het depot op de grondwaterstand op kavelsniveau vast te stellen is het (omdat de uitgangssituatie niet is gemeten) noodzakelijk dat de grondwaterstanden ook gedurende een lange periode na het gereedkomen van het depot worden geineten (er wordt vanuit gegaan dat het oorspronkelijk systeem dan weer hersteld is). Analyses van de huizen die ruim voor de aanleg van het depot zijn geplaatst en die nok nog langere tijd worden bemonsterd moeten daarbij uitwijzen of de hydrologische situatie na voltooien van het depot daadwerkelijk gelijk wordt aan de situatie voor de aanleg van het depot.

Omdat uit het structuuronderzoek en uit de gewasbeoordeling volgt dat de verschillen binnen de kavels groot kunnen zijn is het daarnaast aan te bevelen op zowel droge(re) ais natte plekken op de kavels te meten. Alleen daardoor kan uiteindelijk een causaal verband tussen de aanleg van het depot en een verandering in grondwaterstanden en gewasopbrengsten worden aangetoond.

3.3 Het gewasonderzoek

Om de schadebeelden die optreden te kunnen kwantificeren zijn gewasbeoordelingen uitgevoerd. Het schadebeeld verschilt voor de verschillende gewassen en kavels en varieert binnen de gewassen en kavels.

De gewasbeoordeling zegt uitsluitend iets over de toestand van het gewas tijdens de periode van de opname. Uit deze opname kan niet worden afgeleid wat de oorzaken van de schadebeelden zijn en wat de verschillen in opbrengst zijn en hoe die situatie zich verhoudt tot andere jaren. Verschillen in de gewastoestand tussen verschillende jaren worden mede veroorzaakt door verschillen in neerslagoverschot (natschade), luchtvochtigheid en temperatuur (ziektes). Veranderingen in de bodemstructuur ten gevolge van verschillen in het neerslagoverschot zijn nog moeilijker aan de weerjaren te relateren omdat verbetering van de bodemstructuur een traag proces is waardoor de structuur een afspiegeling vormt van een langere periode (opeenvolging van weerjaren). Omdat de relaties tussen de weerjaren en de opbrengst voor de verschillende gewassen niet bekend zijn vormt de benodigde correctie van de gewasopnamen en de structuuropnamen voor de effecten van de weerjaren een interessante onderzoeksvraag. Cm een relatie tussen met name het neerslagoverschot en de gewastoestand af te leiden om een dergelijke correctie uit te kunnen voeren lijkt het in ieder geval noodzakelijk gedurende meer jaren opnames van de bodemstructuur en de gewastoestand te maken.

Cm het verschil in schade te bepalen als gevolg van veranderingen in de grondwaterstanden is het echter onontkoombaar om simulatiemodellen te gebruiken. De opnames van de gewassen kunnen daarbij worden gebruikt om de berekende opbrengstdepressies te toetsen of te kalibreren.

3.4 Samenhang tussen de deelonderzoeken

In het onderzoek van DLV zijn veel waarnemingen verricht. In de rapportage is niet beschreven hoe met deze meetresultaten de vraagstelling kan worden beantwoord Ben relatie tussen de grootte van het neerslagoverschot, de gemeten grondwaterstanden, de waargenomen bodemstructuur en de waargenomen schadebeelden wordt in het onderzoek van DLV niet gelegd

Om de eventuele verhoging van de grondwaterstanden door de aanleg van het depot te vertalen naar verschillen in de gewasopbrengst is het noodzakelijk om:

- Een verandering in de grondwaterstanden als gevolg van de aanleg van het depot aan te tonen. Daartoe moeten de effecten van verschillen in weerjaren worden weggefilterde
- Relaties tussen gewasopbrengst en grondwaterstand en tussen bewerkbaarheid en grondwaterstand af te leiden.
- Kan met behulp van de resultaten van deze twee onderzoeksvragen het effect van de mogelijk optredende verandering in de grondwaterstand als gevolg van de aanleg van het depot op de gewasopbrengst worden bepaald.

3.5 Conclusies

Op basis van het DLV-onderzoek tot nu toe kan worden aangegeven op welke kavels in 1997 hoge grondwaterstanden en (nat)schade zijn opgetreden. Het onderzoek kan geen uitsluitset geven of de waargenomen hoge grondwaterstanden en de waargenomen schade het gevolg zijn van de aanleg van het depot IJsseloog: het onderzoek levert tot nu toe alleen informatie over actuele natte omstandigheden en niet over vernatting.

Het is niet mogelijk om op basis van profielkenmerken verhogingen in grondwaterstanden te constateren.

Het hydrologisch onderdeel heeft wel de potentie de vraagstelling te beantwoorden. Daartoe moeten de metingen worden gecontinueerd en geïntensiveerd en moet de methode worden aangepast.

De gewasbeoordeling dient een aantal jaren te worden herhaald om relaties tussen grondwaterstanden en gewasopbrengst te kunnen afleiden.

Het onderzoek heeft tot nu toe een sterk inventariserend karakter; er wordt veel gemeten. De samenhang tussen de verschillende delen is niet duidelijk. Evenmin is duidelijk hoe met behulp van de gemeten inventarisaties aangetoond kan worden of de aanleg van het depot tot een stijging van de grondwaterstanden heeft geleid en hoe groot in dat geval de hierdoor veroorzaakte verandering in de opbrengst is

Het is zinvol op korte termijn het doel van het onderzoek scherper te formuleren, de methode om dat doel te bereiken vast te leggen en vervolgens het meetprogramma hierop af te stemmen.

4 Veldbezoek onder leiding van DLV-bodemadvies 12 maart 1998

In de stuurgroep `Kwelonderzoek Ketelmeer` is naar aanleiding van de beoordeling van het DLV-onderzoek discussie gevoerd over het gebruik van roest- en reductieverschijnselen bij het beoordelen van de waterhuishoudkundige toestand van de bodem. Met name het verschijnsel fletse roest riep nogal wat discussie op omdat dit bij het Staring Centrum niet wordt gehanteerd. Ook is het bij het Staring Centrum niet bekend dat roestverschijnselen kunnen worden gebruikt om een recente structurele verhoging in de grondwaterstand vast te stellen. Om aan deze discussie een einde te maken is voorgesteld om met de stuurgroep en de kwelcommissie een bezoek te brengen aan een aantal kavels in het onderzoeksgebied om daar het verschijnsel fletse roest met eigen ogen waar te nemen.

DLV heeft profielkuilen laten zien op drie verschillende locaties: een relatief droge locatie, een matig natte locatie en een erg natte locatie. Dit gaf een zeer illustratief beeld van de verschillende bodemprofielen die worden aangetroffen bij verschillende dieptes van de grondwaterspiegel. In het volgende worden eerst kort de drie locaties en onze indrukken hiervan beschreven. Vervolgens volgen een aantal algemene conclusies die we uit onderlinge discussie en onze ervaringen tijdens de excursie menen te mogen trekken.

Locatie E99
Het betreft een goed ontwaterd kavel. Ligging: ca 2000 m van het depot, 1000 m van de dijk. Drainage is aanwezig met een drainafstand van 10 m en een drain-diepte van ca 110 cm –mv. De actuele grondwaterstand is circa 1.0 m – mv. Het bodemprofiel bestaat uit goed doorlatende (gerijpte) kalkrijke zavels. Het profiel: sterk gelaagde zavels (afwisselingen lutum, silt en zand en verschillende mate van organische stof), een bouwvoor van 30-40 cm, vanaf 50 cm sterke roodbruine roestvlekken met vanaf 70 cm ook zwartgrijze kleuren duidend op reductie, geschatte GHG circa 70 cm. Het naast elkaar voorkomen van roest en reductie duidt op afwisselend natte en droge omstandigheden. Uit een discussie ter plekke volgt dat het leggen van een verband tussen de gley-verschijnselen en de fluctuatie van de grondwaterstand in dit soort gronden ernstig wordt bemoeilijkt door fijne gelaagdheid van lichtere en zwaardere afzettingen. De zwaarder ontwikkelde laagjes houden namelijk het water beter vast en hebben dus meer de neiging om gereduceerd en dus grijs te blijven, terwijl de roestvlekken eerder in de zandige laagjes zitten. Ook de verschillen in organischestofgehalte tussen de laagjes en wortelgangen spelen een verstorende rol.

Locatie E102
Ligging: ca 1500 m van het depot, 600 m van de dijk. De bovengrond is hier iets lichter ontwikkeld dan in het vorige kavel (meer silt). Dit is ook te zien aan de slempverschijnselen, die zijn ontstaan bij een recente hevige neerslaggebeurtenis (50 mm in 2 dagen). De grondwaterstand zit op ca 1 m –mv. De drains liggen om de 5 m en circa 90 cm diep. In de eerste kuil komt circa 70 cm zavel op veen voor (GHG ca 40 cm) en in de tweede kuil wordt ca 60 cm zavel op matig grof zand aangetroffen

(GHG ca 60 cm). De reductievlekken zijn sterker aanwezig dan op kavel E99, hetgeen erop duidt dat de grondwaterspiegel gemiddeld een langere tijd in de bovengrond aanwezig is. Dit is met name het geval voor de locatie met het veen. Deze locatie is dus natter dan E99. De meer geleidelijke overgangen van roest naar reductie zijn ook bij dit veldbezoek waargenomen (fletse roest). Omdat de medewerkers van DLV de roestverschijnselen op één locatie op meerdere tijdstippen in het jaar waarnemen wordt aangenomen dat, overeenkomstig de waarnemingen van de medewerkers van DLV, het oplossen van roest onder natte zuurstofloze omstandigheden zo snel kan gaan dat deze in een paar maanden flets wordt. Echter, bij navraag bleek dat de fletse roest in de zomer geheel verdwenen kan zijn en dat het profiel dan veel meer geprononceerde roestplekken kan vertonen. Wanneer er zulke verschillen tussen de zomer en de winterperiode optreden is er geen enkele aanleiding om aan het voorkomen van fletse roest een structurele verhoging van de grondwaterstand te koppelen anders dan de seizoensfluctuatie die optreedt ten gevolge van het neerslagoverschot. De fletse roest is dan ook geen indicatie voor een structurele verhoging van de grondwaterstand ten opzichte van het voorgaande jaar.

Het veen dat op ca 70 cm wordt aangetroffen is volgens ons slecht doorlatend. De zwarte kleur duidt op oxidatie en dus aëratie. De compactie van het veen en de droge plekken die erin voorkomen (ook van veen dat onder de grondwaterspiegel ligt) duiden erop dat het veen slecht water doorlaat. Hydrofobie van irreversibel droog veen kan dit effect nog versterken (zie Hooghoudt e.a., 1960). Dit veen kan een belangrijke rol spelen bij wateroverlast ten gevolge van neerslag. Bij hevige buien kan op licht ontwikkelde gronden door verslemping oppervlakkige afstroming plaatsvinden. Dit water zal zich verzamelen op de lagere plekken. Als op deze lage plekken het veen ondiep voorkomt (hetgeen hier waarschijnlijk is omdat de ondergrond een dekzandlandschap vormt) stagneert het water dat zich in de laagtes verzameld heeft op de veenlaag zodat er langere tijd een ondiepe (schijn)grondwaterstand optreedt welke ter plekke natschade en structuurbederf kan veroorzaken. Met de drainage kan de grondwaterstand dan niet lager worden gesteld dan de bovenkant van de veenlaag. Verder geldt dat als het veen overal in de ondergrond aanwezig is, dit als een sterk weerstandbiedende laag tegen kwel fungeert en het dus veel waarschijnlijker is dat de natschade het gevolg is van het neerslagoverschot en de veenlaag. Op kavel E102 komt het veen echter niet overal voor zodat natschade kan optreden ten gevolge van zowel het neerslagoverschot als verhoogde grondwaterspiegels ten gevolge van toegenomen kwel. Het laatste treedt echter alleen op wanneer de drainage onvoldoende is: te geringe capaciteit, diepte en afstand of slecht onderhoud.

Locatie E147

Ligging: ca 500 m van het depot, 300 m van de dijk. De situatie op kavel E147 lijkt op die van E102. Ook hier worden zavels op dekzand of zavels op compact broek- en riet-zeggeveen aangetroffen. Grondwaterstanden zitten iets ondieper, tussen de 60 en 90 cm -mv, afhankelijk van de Maaiveldhoogte, maar de drain-afstanden zijn ook groter: 12 m. Ook hier geldt dat regenwater zich via oppervlakkige afstroming in de laagtes kan verzamelen en daar voor stagnatie (op het veen) en natschade kan zorgen. Omdat het veen niet overal voorkomt kan er kwel optreden.

Het optreden van kwel is duidelijk te zien in de kavelsloten: lopende drains, wellen, kleine delta's van zand, flinke stroming en bruinkleuring van het water. Waar de sloten een dekzandrug aansnijden fungeert de dekzandrug als een grote drain die het kwelwater afvoert op de kavelsloten. Precies op deze plekken is dan ook te zien dat de drains zelf geen water meer afvoeren: waarschijnlijk functioneren de drains in de dekzandrug alleen tijdens en vlak na perioden met neerslag. In tegenstelling tot kavel E102 zijn hier wel concrete aanwijzingen dat de kwel hoger is dan normaal. Kavelsloten die normaal geen water voeren (te zien aan grasgroei in de sloot) voeren dit nu wel. De rode kleur in de sloten duidt erop dat dit voornamelijk kwelwater is.

Een aantal ondiepe drains (40 cm –mv) die er liggen geven aan dat deze de laatste jaren niet structureel voor ontwatering hebben moeten zorgen. Ook de grotere drainafstanden (12 m) duiden erop dat de grondwaterstanden tot voor kort dieper zaten. Dit alles duidt erop dat de grondwaterstanden ten gevolge van toenemende kwelsterkte onder dit kavel zijn toegenomen. De boer gaf zelf toe dat dit tot vermindering van de droogteschade op de hogere plekken heeft geleid. Op de lage plekken heeft dit niet tot veel schade aan het gewas geleid. De boer is echter wel bang voor blijvende structuurschade.

Op basis van het veldbezoek en onderlinge discussies kunnen de volgende algemene opmerkingen worden gemaakt:

- De roest- en reductieverschijnselen in de bodem laten goed zien of de ene plek gemiddeld natter is dan de andere. Echter, of er sprake is van een structurele verhoging van de grondwaterstand (anders dan veroorzaakt door fluctuaties in het neerslagoverschot) die kort geleden heeft plaatsgevonden, is door ons niet aan deze verschijnselen te zien. De roest- en reductieverschijnselen zijn naar onze mening slechts geschikt om kavels te selecteren die extra aandacht behoeven.
- Een betere indicatie van een structurele verhoging van de grondwaterstand die kort geleden heeft plaatsgevonden wordt gegeven door hydrologische waarnemingen, zoals voorheen droge sloten die ineens water gaan voeren en drains die voortdurend met een constant debiet lopen in perioden zonder neerslagoverschot, terwijl ze dat voorheen niet deden.
- Een belangrijke factor is de diepte van het zand en de aanwezigheid en diepte van de slecht doorlatende veenlaag in combinatie met de Maaiveldhoogteverdeling en het functioneren van de drains. Over het optreden van wateroverlast en de oorzaak ervan kan onder andere het volgende worden gezegd:
- Als de veenlaag overal aanwezig is dan is het onwaarschijnlijk dat natschade optreedt anders dan door zich op lage plekken verzamelend neerslagwater.
- Als de veenlaag ontbreekt, het Pleistocene zand ondiep zit en het kavel ligt in het gebied met een aanzienlijke verhoging van de stijghoogte is het aannemelijk dat er extra wateroverlast ten gevolge van de toegenomen stijghoogte optreedt, mits de drainage onvoldoende is: te geringe capaciteit, diepte en afstand of slecht onderhoud.
- Als de veenlaag slechts op bepaalde plekken (meestal de lage plekken) aanwezig is dan kan het wateroverlast twee oorzaken hebben.
- Wateroverlast kan het gevolg zijn van neerslagwater dat zich op lage plekken verzameld en stagneert op de veenlaag.

- Als waar het veen niet voorkomt het Pleistocene zand ondiep zit en het kavel in het gebied met een aanzienlijke verhoging van de stijghoogte ligt, is het aannemelijk dat er extra wateroverlast ten gevolge van de verhoging van de stijghoogte optreedt. Ook hier geldt weer dat dit alleen het geval zal zijn indien de drainage onvoldoende is.

Bij het verder onderzoek naar causaliteit en schade zou men bijvoorbeeld als volgt te werk kunnen gaan:

- Selecteer op basis van de bodemkartering (zie punt 3) en hydrologische waarnemingen (zie punt 2) de kavels waarvoor geldt dat het aannemelijk is dat er een grondwaterstandverhoging of een vernatting *is opgetreden* ten gevolge van een verhoging van de stijghoogte in het watervoerend pakket: geologisch/bodemkundig mogelijk (punt 3) en hydrologisch sterke aanwijzingen (punt 2) of waarvoor het aannemelijk is dat een grondwaterstandverhoging of een vernatting *kan optreden* ten gevolge van een verhoging van de stijghoogte in het watervoerend pakket: geologisch/bodemkundig mogelijk (punt 3).
- Doe op deze kavels waarnemingen van de stijghoogte, de grondwaterstand, de drain- en slootafvoer, de bodemstructuur en het gewas tijdens en na de bouw van het depot. Op basis van deze waarnemingen kan de tijdelijke en permanente schade ten gevolge van het wateroverlast worden vastgesteld. Voor de korte opnameperioden is het alleen mogelijk om de invloed van het neerslagoverschot op de schade door wateroverlast te scheiden van de invloed van toegenomen kwel door modelberekeningen. Er moet dus gekozen worden: het doen van deze berekeningen na afsluiting van de bouw van het depot of de vastgestelde schade voor de geselecteerde gevallen uit te keren.

5 Analyse van het topsysteem (april 1998)

Door RIZA directie IJsselmeergebied is gevraagd op basis van de beschikbare gegevens op korte termijn voor een aantal schadegevallen aan te geven of de aanleg van het slibdepot 'IJsseloog' kan hebben geleid tot een (tijdelijke) stijging van de grondwaterstand. Daartoe is een analyse van de waterhuishouding van het topsysteem in het studiegebied gemaakt. Op basis van deze analyse is een algemene werkwijze voor de beoordeling van het optreden van natschade gedefinieerd.

Geohydrologie
De geohydrologische opbouw bestaat in het studiegebied uit een tweede watervoerend pakket (bestaand uit afzettingen behorend tot de formatie van Harderwijk, Enschede, Urk en Drenthe; pleistoceen), een scheidende laag (Eem-formatie; pleistoceen) die rond Schokkerhaven en onder het Ketelmeer ontbreekt, een eerste watervoerend pakket (formaties van Kreftenheye en Twente; pleistoceen), en een afdekkend pakket met klei en veen (Westlandformatie; holoceen). Waar de scheidende laag ontbreekt vormen het eerste en tweede watervoerende pakket samen één dik watervoerend pakket. De bovenste pleistocene afzetting bestaat uit dekzand (formatie van Twente). In de ondergrond van Schokland komt keileem voor. Schokland bestaat uit een kalkrijke kleilaag dikker dan 1.5 m die in het holoceen is afgezet boven op een pakket (rietzegge)veen. Rond Schokland komt dit veenpakket tot vlak onder Maaiveld.

De holocene klei- en (niet-ingedroogde) veenlagen zijn matig tot slecht doorlatend. Als gevolg van de geringe doorlatendheid van deze afzettingen treedt langs het Ketelmeer weinig kwel op. Volgens de kwelkaart van de Noordoostpolder traden in 1954 op kavels direct achter de dijk kwelfluxen van 0.2 tot 0.5 $mm.d^{-1}$ op. Plaatselijk konden deze fluxen echter 5 $mm.d^{-1}$ zijn. De potentialen van het freatisch pakket en het pleistocene grondwater verschillen dan ook in de uitgangssituatie. De potentialen in het pleistocene watervoerende pakket fluctueren ongeveer 30 cm. De grondwaterstanden in de polder worden gestuurd door het polderpeil, de drainagemiddelen en het neerslagoverschot (neerslag – verdamping) en fluctueren ongeveer 80 tot 100 centimeter.

Verandering door aanleg depot
Bij de aanleg van het depot is de holocene deklaag onder het Ketelmeer afgegraven waardoor de potentiaal in het pleistocene watervoerende pakket onder het depot sterk is toegenomen. Deze toename in de potentiaal werkt door in zijn omgeving. In een aantal peilbuizen in de Noordoostpolder is een verhoging van de potentiaal in dit pakket waargenomen. De maximale toename van de potentiaal in het pleistocene watervoerende pakket bedraagt 60 cm ter hoogte van Schokkerhaven , 1000 m verder is deze toename minder dan 10 cm.

Bodem

In het studiegebied komen goed gerijpte kalrijke zavelgronden voor. Deze zijn goed ontwaterd (overwegend Gt VI). Het gebied heeft van oorsprong een reliëfrijk dekzandlandschap. Bovenop het dekzand kunnen veenafzettingen voorkomen en langs de oude waterlopen kan (bovenop het dekzand of veen) klei zijn afgezet. Daarboven komen mariene afzettingen voor. De dekzandruggen en de laagtes zijn nog steeds aan Maaiveld te herkennen aan de hand van de hoogteverschillen. De kavels zijn intensief gedraineerd (om de 5 tot 10 m, gemiddelde diepte 90 cm - mv). De grondwaterstand varieert begin april (GVG) van 60 tot 100 cm – mv. In de zomerperiode zakken de grondwaterstanden tot beneden het drainniveau. In deze periode worden de grondwaterstanden bepaald door de waterpeilen in de tochten en de capillaire opstijging. De zwaarder ontwikkelde gronden hebben een zeer groot (> 200 mm/jaar) vochtleverend vermogen (bodemkaart 1:50.000). De lichter ontwikkelde bodems zijn slempgevoelig: bij hoge vochtgehalten treedt oppervlakkige slemp op. Bij neerslag verslempt op dit soort bodems de bodemlaag aan het Maaiveld. Theoretisch kan op dit soort gronden (door verslemping en hoogteverschillen) binnen kavels oppervlakkige afstroming van de hogere plekken (dekzandruggen) naar lokale depressies plaatsvinden. Dit proces is door RIZA herhaaldelijk genoemd als verklaring voor hogere grondwaterstanden in depressies waar veen in de ondergrond voorkomt. Tijdens veldbezoeken zijn echter geen verschijnselen waargenomen die hierop duiden. Ook de agrariërs uit het gebied hebben dit nooit gesignaleerd. Derhalve wordt er van uitgegaan dat de oppervlakkige afstroming beperkt blijft tot afstanden van maximaal enkele decimeters (waarvan de verschijnselen wel kunnen worden waargenomen) en nauwelijks invloed heeft op de verdeling van de neerslag over de kavels. Er is geen aanleiding om te veronderstellen dat dit proces in het studiegebied een rol van betekenis speelt.

Het topsysteem binnen het gebied wordt door drie bodemprofielen gekenmerkt:

Profiel 1: De meest voorkomende situatie is die waarin de holocene zavel en kleiafzettingen een dikte van enkele meters hebben. Dit bodemprofiel is geschematiseerd tot een rekeneenheid die is opgebouwd uit een 2 m dikke holocene zavel boven op pleistoceen zand.

Profiel 2: Plaatselijk komt rond Schokkerhaven het goed doorlatende pleistocene zand tot in de bovenste meter van de bodem voor. De toegenomen potentiaal kan in dit bodemprofiel leiden tot hogere grondwaterspiegels. Met name op vochthoudende bodems (zware zavels, klei) kunnen daardoor bij extreme neerslaggebeurtenissen problemen ontstaan. Dit bodemprofiel is geschematiseerd als een 0.5 m dikke holocene zavel boven op pleistoceen zand.

Profiel 3: In een zone ten westen van Schokland komt boven op het pleistocene zand een veenlaag voor die wordt afgedekt door de zavel- en kleiafzettingen. Deze veenlaag is het dikst aan de westkant van Schokland. Volgens de bodemkaart 1:50.000 komt deze veenlaag in grote delen van het studiegebied voor. Dit bodemprofiel is geschematiseerd als een 1 m dikke holocene zavel boven een 1 m dikke veenlaag met daaronder pleistoceen zand. Voor de berekeningen is ervan uitgegaan dat de veenlaag een kleine doorlatendheid heeft waardoor de kwelfluxen klein zijn en bij een groot neerslagoverschot gedurende langere tijd een ondiepe (schijn)grondwaterstand kan optreden.

Gevoeligheid
Door voor de drie rekeneenheden de waarden van de grootheden te variëren (Aanhangsel 1) is een indruk van de gevoeligheid van het systeem voor deze grootheden verkregen:

- Minder goed functionerende drains leiden tot een afname van de drainagefluxen en (daardoor) tot stijgen van de grondwaterspiegel.
- Een groot neerslagoverschot leidt tot een sterke stijging van de grondwaterspiegel.
- De grondwaterstand is weinig gevoelig voor de doorlatendheid van de bovengrond in het traject waarbinnen de waarde van de bovengrond in het studiegebied moet worden gezocht (0.25-1.00 $m.d^{-1}$).
- Om de effecten van de aanleg van het depot op een goede manier te bepalen is het nodig de weerstand van de laag tussen het drainniveau en het pleistocene pakket te kennen. Op basis van de gemeten potentialen in het freatisch pakket en in het pleistocene watervoerende pakket kan de orde van grootte van de weerstand van de tussen de filters liggende laag voor deze meetpunten worden geschat. De doorlatendheid van de veenlaag kan ook met behulp van ringen worden gemeten.

Als gevolg van de aanleg van het depot is een verandering in de potentiaal van het watervoerende pleistocene pakket opgetreden. Hoeveel en hoe snel deze verandering doorwerkt in de grondwaterstanden is afhankelijk van de weerstand van de laag tussen het pleistoceen en het drainniveau. Bij lage weerstanden kan dit relatief snel (dagen) gebeuren, bij hoge weerstanden duurt dit langer (maanden tot jaren). Hevige regenval leidt bij hoge weerstanden van de ondergrond (bij het bestaande ontwateringsysteem) tot sterke stijgingen van de grondwaterstand. Het neerslagwater stagneert boven de slecht doorlatende laag en moet in dat geval voornamelijk via de drains en sloten worden afgevoerd. Deze situatie geldt vooral voor bodemprofiel 3; daarin kunnen ook in de uitgangssituatie ondiepe grondwaterstanden voorkomen. Vaak is geprobeerd deze landbouwkundig ongunstige situatie te veranderen door de ontwatering te intensiveren; meestal door de drainafstand te halveren van (meestal) 10 naar 5 m.

Geprobeerd is de interpretatie zo eenvoudig mogelijk te houden door niet meer dan 3 bodemprofielen te definiëren. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat met name het voorkomen van veenlagen en de weerstand van deze veenlagen bepalend is. Omdat bekend is dat de doorlatendheden in veenlagen sterk kunnen verschillen is het gewenst de analyse verder te nuanceren. Dit maakt het totaal complexer en speculatiever waardoor hogere eisen gesteld worden aan de beschikbare gegevens t.b.v. de beoordeling van de schadegevallen. De gegevens hiervoor (m.n. de doorlatendheden) zijn niet beschikbaar. Daarom zijn ook voor de veenlagen een aantal situaties onderscheiden die met behulp van de bodemkaart en bodemprofielbeschrijvingen van DLV als handvat gebruikt kunnen worden om een ruimtelijk beeld te kunnen genereren van de plekken waar de grootste effecten als gevolg van de aanleg van het depot mogen worden verwacht.
In de Algemene begrippen en indelingen behorende bij de bodemkaart 1:50.000 wordt een overzicht gegeven van de doorlatendheid van veensoorten in niet geoxideerde toestand (Tabel 1).

Tabel 1 Doorlatendheid (m.d-1) van veensoorten in niet geoxideerde toestand

Veensoort	Doorlatendheid
Bosveen/eutroof broekveen	0.05 tot >1.00 *
Zeggeveen	< 0.05 – 0.40
Rietzeggeveen/mesotroof broekveen	0.05 – 0.40 (soms tot 1.0) *
Zeggerietveen/rietveen	> 1.00 (soms > 0.05)
Veenmosveen	< 0.05 – 0.40

* sterk afhankelijk van de hoeveelheid houtresten

De doorlatendheden van de veensoorten lopen nogal uiteen, de ranges zijn groot. Bekend is dat de doorlatendheid van veen als gevolg van fysische rijping (veroorzaakt door ontwatering) kan afnemen. Tegelijkertijd ontstaan bij dit proces scheuren in het veen. In het randgebied van de Noordoostpolder zijn doorlatendheden van de veenlagen bepaald (Veenenbos 1950) om de effecten van de verdroging als gevolg van de aanleg van de Noordoostpolder te bepalen (!). De gemiddelde doorlatendheden bedragen voor veenmosveen 0.05 m.d-1, voor zeggeveen 0.5 m.d-1 en voor riet(zegge)veen 1.2 m.d-1. De ranges variëren van 0.01 tot 0.1 m.d-1 , van 0.1 tot 1.0 en van 0.5 tot 3.5 voor respectievelijk het veenmosveen, het zeggeveen en het riet(zegge)veen. Voor mosveen en zeggeveen is de doorlatendheid van verdroogd veenkleiner dan de doorlatendheid van niet verdroogd veen. Dit is niet het geval voor rietzeggeveen. De (meet)methode, de grond- en oppervlaktewaterstanden, de meetresultaten en de uitgevoerde berekeningen zijn helaas niet gepresenteerd. De in dit onderzoek gepresenteerde resultaten kunnen niet zonder meer worden gebruikt in de Noordoostpolder omdat de dikte van de veenpakketten in het randgebied groter is en omdat de verdroging niet langer dan 5 jaar heeft geduurd voordat het onderzoek van Veenenbos (in 1947) is uitgevoerd. De opbouw van de bodems en de ontstaansgeschiedenis zijn gelijk. Veenenbos beschrijft de scheurvorming in veen als gevolg van de verdroging na een korte periode. De waargenomen scheurvorming is het sterkst langs de hellingen van de zandopduikingen. Het effect van scheurvorming op de doorlatendheid van veenlagen na een lange periode van diepe ontwatering op de doorlatendheid van deze veenlagen valt niet uit de gegevens van Veenenbos af te leiden. Door de verdergaande scheurvorming kan de doorlatendheid in een dergelijke situatie sterk toenemen.

Bierkens (1994) geeft de doorlatendheden voor broekveen/rietveen in het rivierengebied: de doorlatendheid (ringen) varieert van 0.025 tot 2.50 $m.d^{-1}$. De gemiddelde doorlatendheid is 0.15 $m.d^{-1}$. Door deze doorlatendheden op te schalen naar doorlatendheden van blokken van 50 bij 50 m en 0.5 m dik wordt voor deze blokken een doorlatendheid van 0.20 $m.d^{-1}$ berekend. De bijbehorende variatie voor de opgeschaalde doorlatendheden is te verwaarlozen klein.

Om in de huidige situatie in de Noordoostpolder verschillen in weerstanden tussen veensoorten weer te geven is op basis van deze informatie de doorlatendheid voor de veensoorten bij verschillende mate van verdroging (bepaald door de dikte van het veenpakket, de diepte van het veenpakket ten opzichte van maaiveld, de ontwateringbasis en de ligging ten opzichte van de zandopduikingen) geschat (Tabel 2).

Tabel 2 Geschatte doorlatendheden (m.d-1) voor in verschillende mate verdroogde veensoorten.

	Oligotroof veen	Mesotroof veen	Eutroof veen
Sterk verdroogd	> 1	>1	>1
Verdroogd	0.01	0.10	1
Niet verdroogd	0.05	0.20	1

Een veenlaag wordt verdroogd genoemd wanneer het onderste (niet te dikke) deel van deze veenlaag niet verdroogd is volgens de bodemkartering; in dit geval zullen de scheuren de veenlaag niet doorsnijden. Een veenlaag wordt als sterk verdroogd beschouwd wanneer de volledige veenlaag is belucht en de scheuren de veenlaag geheel doorsnijden. Dit laatste impliceert dat dit voorkomt bij relatieve dunne ondiep voorkomende veenlagen en mogelijk ook bij wat dikkere veenlagen langs de helling van de zandopduikingen.

De doorlatendheden zijn omgerekend naar weerstanden voor een laagdikte van 1 m (Tabel 3). De weerstand van de veenlagen in het veld zijn te schatten door deze weerstanden bij een laagdikte van 1 m te vermenigvuldigen met de werkelijke laagdikte. Hoe dikker de lagen hoe groter de weerstand van die laag.

Tabel 3 Weerstanden (d) voor in verschillende mate verdroogde veenlagen bij een dikte van 1m.

	Oligotroof veen	Mesotroof veen	Eutroof veen
Sterk verdroogd	< 1	< 1	<1
Verdroogd	100	10	1
Niet verdroogd	20	5	1

Met behulp van deze weerstanden is een rekeneenheid gezocht die het betreffende bodemprofiel het best beschrijft. Het voorkomen van sterk verdroogd veen, verdroogd zeggeveen en (niet) verdroogd riet(zegge)veen komt in de schematisering het meest overeen met rekeneenheid 2; het voorkomen van verdroogd veenmosveen en niet verdroogd zeggeveen komt in de schematisering meer overeen met rekeneenheid 1. Niet verdroogd veenmosveen komt in de schematisering overeen met rekeneenheid 3.

Tot nu toe is niet genoemd dat de horizontale doorlatendheid van het zeggeveen veel groter is dan de verticale doorlatendheid. De combinatie van een goede horizontale doorlatendheid met scheurvorming in een verdroogd veenlaag kan leiden tot lateraal transport gevolgd door verticaal transport of capillaire nalevering. Hierdoor kan ook in een zone waarin ingedroogd veen boven op niet ingedroogd veen voorkomt nog vernatting optreden. Gegeven de veronderstelling dat veen langs de dekzandruggen dunner is en ondieper voorkomt en daardoor ingedroogd is kan dat leiden tot vernatting in een zone langs de dekzandruggen ook als door minder goed doorlatend veen voorkomt.

M.b.v. deze tabel en de door DLV gemaakte bodemkaarten en profielbeschrijvingen kan zichtbaar worden gemaakt waar lage weerstanden binnen een kavel zouden kunnen voorkomen en waar derhalve een verhoging van de diepe potentiaal het sterkste en het snelste doorwerkt in een verhoging van de grondwaterstand. De informatie die nodig is (soort veen, dikte en diepte van de veenlaag, wel of niet geaereerd) om de doorlatendheid van de veenlagen te schatten is grotendeels te halen

uit de profielbeschrijvingen van DLV. De dikte van het veenpakket kan echter niet uit de profielbeschrijvingen worden afgeleid wanneer de veenlaag de onderste gekarteerde eenheid vormt (bijna altijd). De veensoort is niet altijd binnen een diepte van 1.20 m – mv te bepalen. Volgens de boorbeschrijvingen van DLV komen in het studiegebied broekveen, rietveen en verslagen veen (detritus, een) voor.

Herkennen van de drie situaties
De drie rekeneenheden kunnen binnen één kavel voorkomen. De rekeneenheden kunnen met behulp van het relief en de ontwateringsfluxen in het veld worden herkend. Waar de sloten in een situatie zonder kwel een dekzandrug doorsnijden fungeert de dekzandrug door de goede doorlatendheid als een grote drain die het neerslagwater direct en via de drains afvoert naar de kavelsloten. De drains in de dekzandruggen werken uitsluitend vlak na perioden met neerslag. De drains in de laagten blijven langer lopen (met een lagere intensiteit) omdat de doorlatendheid van de veen- en kleiafzettingen kleiner is dan van de pleistocene ondergrond, en omdat in veen- en kleiafzettingen de intreeweerstand van de drains kan zijn toegenomen. In een situatie met permanente kwel (potentiaal altijd boven het drainniveau en een doorlatende bodem) zullen de drains en de kavelssloten altijd een vrijwel constant basisdebiet afvoeren; na een periode van neerslag kan (afhankelijk van het bergend vermogen van de bovengrond) de afvoer tijdelijk toenemen.

Het voorkomen van veenlagen en het toekennen van de geschatte doorlatendheden aan de verschillende typen veenlagen kan alleen met behulp van de door DLV opgestelde bodemkaart en de profielbeschrijvingen.

Opbrengstdepressies
Op veel plekken in het gebied wordt op basis van bodemkenmerken een GHG geschat van 40 tot 60 cm – mv. In het voorjaar komen ook in de uitgangssituatie ondiepe grondwaterstanden voor; grondwaterstanden die ook in de uitgangssituatie al kunnen resulteren in natschade. Een gering verondiepen van de grondwaterstanden kan leiden tot veel grotere natschade. De niet-lineaire relatie tussen de grondwaterstanden en de gewasopbrengst voor de verschillende gewassen is van groot belang. Om de toename van de schade als gevolg van de aanleg van het depot te kunnen bepalen moet idealiter de schade worden bepaald voor de actuele opgetreden neerslag in combinatie met de potentiaal in het pleistoceen voor (of na) en tijdens de aanleg van het depot. Dit kan uitsluitend via modelberekeningen.

Naast de hoge grondwaterstanden kunnen ook andere gebeurtenissen tot opbrengstdepressies leiden:
- Schijngrondwaterspiegels. Dikker ontwikkelde leem(kei)laagjes in de bovengrond vormen een slecht doorlatende laag. Hierboven kan na een periode van (hevige) neerslag water blijven staan waardoor een waterverzadigde laag ontstaat terwijl onder de leem(klei)laag de bodem niet verzadigd hoeft te zijn.
- Vorst. Bij dooi ontdooit de bovengrond, onderin blijft de bodem lager bevroren. De bevroren laag fungeert als een slecht doorlatende laag. Gevolgd door neerslag leidt tot verzadiging van de bovenliggende laag (schijngrondwaterspiegel).
- Zout. In het DLV onderzoek worden ook de zoutgehaltes bepaald. Eventueel zout (kwel)water kan de wortelzone uitsluitend bereiken in langere perioden waarin

een neerslagtekort bestaat (de zomerperiode). In perioden van een neerslagoverschot ontstaat een neerslaglens boven op dit zoute water.

Bepalen causaliteit

Bij het verder onderzoek naar causaliteit tussen de aanleg van het depot en de schade zou men bijvoorbeeld als volgt te werk kunnen gaan:

1. Selecteer de kavels waarvoor geldt dat het aannemelijk is dat een grondwaterstandverhoging of een vernatting *kan optreden* ten gevolge van een verhoging van de stijghoogte in het watervoerend pakket. Is er sprake van een toename van de potentiaal als gevolg van de aanleg van het depot? Deze potentialen zijn in een aantal buizen gemeten; dmv interpolatie kunnen lijnen met een gelijke verandering in stijghoogte worden geschat en kan het beïnvloede gebied worden begrensd.
2. Per kavel kan vervolgens worden bekeken of de nieuwe stijghoogte in het pleistocene pakket hoger is dan het drainniveau. Alleen als dit het geval. is kan er extra natschade door aanleg van het depot optreden.
3. Selecteer de kavels waarvoor geldt dat het aannemelijk is dat er een grondwaterstandverhoging of een vernatting *is opgetreden* ten gevolge van een verhoging van de stijghoogte in het watervoerend pakket dwz dat deze verhoging geologisch/bodemkundig mogelijk is en dat er hydrologisch sterke aanwijzingen voor een veranderde situatie zijn. Het optreden van kwel te zien door:
   - Olieachtige waas op plekken waar water uit de slootwanden stroomt
   - Kleine delta's van zand waar water de slootwanden verlaat.
   - Wellen in de slootbodems
   - Bruinkleuring van het water in sloten.
   - Niet dichtvriezende sloten.
   - Sterk stromende sloten.
   - Inzakkende slootkanten.
   - Normaal droogstaande sloten (met begroeide bodem) die water afvoeren.
   - IJzerafzettingen in de drains.
   - Lopen van drains na langere periode zonder neerslag.
4. Analyseer op basis van de bodemkartering; de Maaiveldhoogten en de hydrologische waarnemingen het lokale systeem (de kavel); ken de geschematiseerde profielen toe.
5. Selecteer op basis van deze analyse de meest geschikte monsternamelokaties en verricht op deze locaties opnamen van de stijghoogte, de grondwaterstand, de drain- en slootafvoer tijdens en na de bouw van het depot. Beschrijf voor de hele kavel de bodemstructuur en het gewas tijdens en na de bouw van het depot.
6. Probeer de invloed van het neerslagoverschot op de schade door wateroverlast te scheiden van de invloed van toegenomen kwel. Voor de korte opnameperioden (3 a 4 jaar) die zijn voorzien is dit alleen mogelijk met modelberekeningen.
7. Stel op basis van deze waarnemingen relaties op tussen de grondwaterstanden en de opbrengstdervingen en tussen het voorkomen van de laagtes met veen in de ondergrond en de opbrengstdervingen.
8. Maak een schatting van de extra opgetreden schade gedurende de aanleg van het depot.

6 Beoordeling schade voor een aantal kavels (april en september 1998)

De beoordeling is voor een aantal kavels uitgevoerd op basis van de rapporten van DLV en RIZA (zie litteratuurlijst). Daarnaast zijn waarnemingen uit de briefadviezen van de FLTO en RIZA en waarnemingen door het SC tijdens het veldbezoek gebruikt.

De beschikbare waarnemingen zijn niet volledig en hebben betrekking op een beperkte periode. De waarnemingen zijn niet altijd éénduidig (in dat geval is onze waarneming doorslaggevend) en zijn niet altijd volledig beschreven (zo ontbreekt vaak en exacte plaatsaanduiding van de beschreven waarneming).

De beschikbare gegevens maken een eenduidige interpretatie moeilijk. Met name het ontbreken van de afvoeren van drains en waterlopen vormt een omissie. Om deze omissie te verhelpen kunnen de doorlatendheden (of weerstanden) in het veld worden bepaald. Ook het gebruik van waarnemingen over een langere periode (tijdreeksen) maakt het uiteindelijk mogelijk de conclusies beter te onderbouwen. De conclusies zijn getrokken op basis van de beschikbare gegevens en inzichten. De gebruikte gegevens zijn per schadegeval in een tabel opgenomen.

De stappen 1 tot en met 4 uit de genoemde optimale werkwijze zijn gevolgd. Als gegevens niet voorhanden waren is zoveel mogelijk een worst-case benadering gevolgd; dwz dat de data zo zijn gekozen dat deze het meest nadelige effect op de landbouwbedrijfsvoering hebben. Daarom zijn de (gedurende langere tijd) optredende hoogste potentialen aangehouden. Het potentiaalverschil (dH) is gedefinieerd als het verschil van de potentiaal in het watervoerende pakket met de grondwaterstand in de winter (er is verondersteld dat de hoogste potentiaal in het watervoerende pakket in de winter optreedt). De weerstand (c) van de ondergrond is berekend (c = dH/q) voor twee opgelegde fluxen (q) van 0.1 $mm.d^{-1}$ en 0.5 $mm.d^{-1}$.

In juni 1998 zijn voor een aantal meetpunten (lang niet allemaal !) van DLV de over de periode juni 1997 t/m april 1998 gemeten grondwaterstanden ontvangen. Geprobeerd is om met deze gegevens (voor zover beschikbaar) voor de schadegevallen de tot nu toe theoretisch opgestelde analyses bij te stellen. De meetpunten op perceel E102 blijken daarvoor zeer belangrijk.

Bij de samenvattende opsomming van alle schadegevallen kan voor de duidelijkheid worden toegevoegd dat bij geen van de betreffende kavels in de waterlopen verschijnselen zijn waargenomen en gemeld die duiden op grote kwelfluxen. Een uitzondering daarop vormt kavel E102 waar begin juni 1997 na een droge periode een drainafvoer van 3 tot 4 mm.d-1 water afvoerden is gemeten door dhr. Van Veenendaal (Opzichter der domeinen). Waarnemingen van de potentiaal van het diepere pakket en de freatische grondwaterstand zijn op dat moment niet beschikbaar. Daardoor is het niet mogelijk de weerstand van de scheidende laag te schatten.

De orde van grootte van fluxen die bij een goed functionerend drainsysteem mogen worden verwacht in een situatie van een hoge kweldruk al dan niet in combinatie met veel neerslag is afgetast voor de drie rekeneenheden:

- Rekeneenheid 2 (en in mindere mate rekeneenheid 1): Als de ondergrond goed doorlatend is kunnen als de potentiaal boven het drainniveau uitkomt de opwaartse fluxen (kwel) zo groot zijn dat de drainagecapaciteit niet voldoende is waardoor de grondwaterstand tot boven drainniveau kan stijgen. Het drainagesysteem is gedimensioneerd voor een maatgevende afvoer van 7 mm.d-1. Dat betekent bij een drainafstand van 5 m dat per meter drainlengte dagelijks 0.007 * 5.0 * 1.0 = 0.035 m3 = 35 liter water wordt afgevoerd. Een drain van 100 m lengte heeft dan een afvoer van (35 * 100) / (24 * 60) = 24 l/min. Dergelijke hoge afvoeren via de drains zijn en niet gerapporteerd en zijn door ons niet waargenomen op de betreffende kavels. Het is dan ook niet waarschijnlijk dat deze situatie op deze kavels is opgetreden. Wanneer de drains niet of slecht functioneren kan de grondwaterstand boven drainniveau uitkomen zonder dat de drains dergelijke grote hoeveelheden afvoeren. In een dergelijke situatie wordt de ontwatering nagenoeg geheel verzorgd door de waterlopen langs de kavels. In de waterlopen langs de betreffend kavels zijn door ons geen indicaties voor het optreden van grote kwelstromen waargenomen.
- Rekeneenheid 3: De weerstand van de klei- of veenlaag is sterk sturend. Deze weerstand is geschat op basis van de beschikbare gegevens. Daarbij zijn kleine fluxen gebruikt omdat nergens melding wordt gemaakt van langdurig hoge afvoeren door drains in deze periode en omdat door ons geen indicaties voor het optreden van grote kwelfluxen zijn waargenomen. Wanneer de fluxen wel groot zijn betekent dat de weerstand lager is waardoor het systeem sneller op veranderingen reageert en het depot voor deze rekeneenheid wel invloed kan hebben. Dit profiel gaat zich dan meer gedragen zoals rekeneenheid 1 waardoor de beschouwingen ten aanzien van het functioneren van het drainagesysteem ook voor deze rekeneenheid gelden.

6.1 Kavel E102

MAAIVELD [+NAP]	-4.30
Polderpeil [m+NAP]	-5.70
Drainagediepte [cm-mv]	90 tot 100
Drainageafstand [m]	5 tot 10
Helling [m per 100 m]	0.07 tot 0.12
Drainagediepte [m+NAP]	-5.30
Veen (profiel 3) binnen 60-90 cm-mv [%]	30 tot 40
Pleistoceen zand (profiel 2) binnen 60-90 cm—mv [%]	5 tot 10
Potentiaal wvp voor aanleg depot [m+NAP]	
Potentiaal wvp tijdens aanleg depot[m+NAP]	-4.90
Toename potentiaal [m+NAP]	
Grondwaterstand winter tijdens aanleg depot [m+NAP]	-4.70
Grondwaterstand zomer tijdens aanleg depot [m+NAP]	-5.50
Potentiaalverschil gws – wvp	+0.20
Weerstand klei/veenlaag [dagen] bij flux van 0.1 mm.d-1	2000
Weerstand klei/veenlaag [dagen] bij flux van 0.5 mm.d-1	400

Ligging: ca 1500 m van het depot, 600 m van de dijk. De bovengrond is licht ontwikkeld, na neerslag zijn slempverschijnselen waar te nemen. De drains liggen om de 5 m en circa 90 cm diep. Tijdens het veldbezoek is de GHG boven veen geschat op ca 40 cm – mv (profiel 3) en op ca 60 cm – mv wanneer het veen ontbreekt en ondiep grof zand voorkomt (profiel 2).

Onder deze kavel is de potentiaal in het pleistocene watervoerende pakket als gevolg van de aanleg van slibdepot IJsseloog gestegen. De gemeten potentiaal van het pleistocene watervoerende pakket komt boven het drainniveau uit. De grondwaterstand is in de winter hoger dan de potentiaal van het pleistocene watervoerende pakket. Het veen dat ondiep wordt aangetroffen is slecht doorlatend (zie weerstanden in tabel). Er is geen verhoogde afvoer van sloten en het drainagesysteem (eigen waarneming veldbezoek d.d. 12-mrt-1998, brief dhr. Beemster d.d. 13-nov-1997, brief H. Slager d.d. 6-aug-1997) geconstateerd.

Bij hevige neerslag zal mede door slemp een deel van de neerslag afstromen naar de lokale laagtes. Als op deze lage plekken het veen ondiep voorkomt (hetgeen hier waarschijnlijk is omdat de ondergrond een dekzandlandschap vormt) stagneert het water dat zich in de laagtes verzameld heeft op de veenlaag zodat er langere tijd (totdat het water via de drains is afgevoerd) een ondiepe grondwaterstand optreedt welke ter plekke natschade en structuurbederf kan veroorzaken. Het veen fungeert als een sterk weerstandbiedende laag waardoor het waarschijnlijk is dat hoge grondwaterstanden het gevolg zijn van het neerslagoverschot in combinatie met Maaiveldverschillen en de aanwezigheid van de veenlaag. Op kavel E102 komt niet overal veen voor.

Ook het pleistocene zand komt ondiep voor. Hierdoor kan natschade optreden door verhoogde grondwaterspiegels ten gevolge van toegenomen potentiaal. Verhoogde

grondwaterspiegels treden echter alleen op wanneer de drainage onvoldoende is: te geringe capaciteit, diepte en afstand of slecht onderhoud.

Effect van de aanleg van het depot IJsseloog op kavel E102
De potentiaal ter plekke is toegenomen. De potentiaal komt tot boven het drainniveau. Er is geen toename van de drainafvoer geconstateerd, er zijn geen andere verschijnselen waargenomen die duiden op kwelsituaties. Waar veen voorkomt zijn de hoge grondwaterstanden het gevolg van de aanwezigheid van dit veen in combinatie met een verhoogde voeding ten gevolge van oppervlakkige afstroming. Deze grondwaterstanden doen zich ook in de uitgangssituatie voor. Waar pleistoceen zand ondiep voorkomt kan de toegenomen potentiaal tot hogere grondwaterstanden leiden wanneer de drainage onvoldoende is. De beschikbare gegevens bieden hierover geen uitsluitsel. Wanneer het drainagesysteem goed functioneert zijn de opgetreden hoge grondwaterstanden niet het gevolg van de aanleg van het depot IJsseloog.

Aanvulling d.d. 9 juli 1998
De tijdreeks van het meetpunt achter op de kavel (filter in veen) heeft een geringe fluctuatie en is nagenoeg konstant in de tijd. Neerlagpieken zijn uitgevlakt wel terug te vinden. Deze reeks heeft daarmee zeer sterk het karakter van een reeks van het watervoerende pakket. Dat betekent dat de weerstand van het veen ter plekke (zeer) laag is. Dit wordt bevestigd door het onbreken van significante verschillen tussen de meetresultaten van de ondiepe en de diepe filters in dit punt. Ook komt de gemiddelde grondwaterstand nagenoeg overeen met de geschatte potentiaal ter plaatse. Op basis van deze argumentn is aangenomen dat de in deze buis gemeten potentiaal (nagenoeg) gelijk is aan de potentiaal van het watervoerende pakket. Dat betekent dat een verandering in de stijghoogte als gevolg van de aanleg van het depot hier direct is waar te nemen. De grondwaterstanden zijn voortdurend hoog geweest waardoor de wortelzone voortdurend (erg) nat is geweest. In de omgeving van dit meetpunt is de causaliteit onomstotelijk. Vreemd blijft dat bij deze vrijwel konstante grondwaterstand de drains in het voorjaar van 1997 wel hebben gelopen maar dat dit daarna niet meer is waargenomen; mogelijk zijn de drains dichtgeslibt als gevolg van de grote fluxen die zijn ontstaan in de beginperiode van het graven van het depot.

Ook in het meetpunt voor op de kavel bevind het filter zich in veen. De geschatte potentiaal en het maaiveld zijn hier 10 cm hoger dan achter op de kavel. Het tijdverloop in dit meetpunt vertoont een stijgende trent en heeft grotere fluctuatie. Neerslagpieken zijn goed herkenbaar. Omdat het verloop van de grondwaterstand van de buis achter het verloop van de potentiaal in het watervoerende pakket weergeeft zijn beide reeksen (handmatig) in een figuur weergegeven. Uit deze figuur (bijlage) blijkt dat ook in dit meetpunt de grondwaterstand nagenoeg gelijk wordt aan de potentiaal van het watervoerende pakket (winter 1998), het duurt alleen wat langer voordat dit wordt gerealiseerd. Het potentiaalverschil kan met name in de zomerperiode resulteren in opwaartse fluxen (kwel). De hoeveelheid toegevoerd water is geschat als de verandering in de berging (verschil in grondwatertand * verzadigde doorlatendheid van zavel) minus het neerslagoverschot (gesteld op 1.25 * langjarig gemiddelde KNMI-district 5 voor deze periode) plus de ontwatering (gelijk gesteld aan 1/2 van het neerslagoverschot: 0.7 * 0.4 – 0.12 *1.25 + 0.12 *1.25 / 2 = 0.20 m. Dat betekent dat de gemiddelde kwelflux over deze periode 0.20 / 200 =

0.001 m/d bedraagt. Met het gemiddeld potentiaalverschil over dezelfde periode (0.3 m) wordt een weerstand van het afdekkend pakket (veen + zavel tot aan de grondwaterstand) van 300 d berekend. Kleinere fluxen en grotere potentiaalverschillen leiden tot hogere weerstanden! Het veen heeft hier een veel hogere weerstand. Als gevolg hiervan is de invloed van de neerslag in de tijdverlopen groot (sterke pieken). De kwelfluxen zijn het grootst in de zomerperiode en leiden tot een minder diep wegzakken van de grondwaterstand (voorkomen droogteschade!). In de winterperiode zijn de kwelfluxen kleiner, ten opzichte van de uitgangssituatie mag ook in deze periode (zeker in combinaie met de grote neerslaghoeveelheden en/of minder goed functionerende drianagesystemen) een verhoging van de grondwaterstand worden verwacht. Ook hier kan sprake zijn van causaliteit; een analyse van langere tijdreeksen kan hier uitsluitsel bieden. De vraag daarbij is bij welke weerstand welk potentiaalverschil nog tot significante verhogingen van de grondwaterstand leidt. Door de grote weerstand zijn de ondiepe grondwaterstanden ter plekke mogelijk niet in 1997 (droog voorjaar) opgetreden maar treden ze wel op in het (natte) voorjaar van 1998. Dit impliceert dat het areaal landbouwgronden dat in het voorjaar van 1998 schade (bodem later bewerkbaar) ondervind groter kan zijn dan in 1997! Hoe groot dit areaal zal zijn en of de causaliteit aantoonbaar zal zijn is afhankelijk van de weerstand (doorlatendheid en dikte) van het afdekkend (veen)pakket,de diepte van de potentiaal van het watervoerende pakket t.o.v. maaiveld en het functioneren van de drains. Ondertussen zijn de baggerwerkzaamheden t.b.v. de aanleg van het depot gestaakt. Doordoor zal de potentiaal van het watervoerende pakket snel afnemen (tijdverloop meetpunt achter op de kavel). Door de hogere weerstand zal het grondwater in het voorste meetpunt minder snel uitzakken. Overigens zal dit uitzakken sneller verlopen dan de stijging in het najaar omdat de ontwatering nu mee- i.p.v. tegenwerkt, omdat het potentiaalverschil enige tijd van richting verandert (wegzijging i.p.v. kwel) en omdat in deze periode normaliter een neerslagtekort ontstaat.

Algehele conclusies op basis van deze twee tijdreeksen:

- De weerstand van het veenpakket in de ondergrond bepaalt de invloed van een verandering in de potentiaal van het watervoerende pakket. (ook theoretisch al afgeleid)
- De doorlatendheid van het veen en de dikte van het veenpakket zijn niet bekend, dus de weerstand is niet bekend.
- Voor de plaatsen waar is gemeten zijn weerstanden te schatten door de ontwatering te schatten (is niet gemeten).
- Door de grote variatie in weerstand van het veen is het op dit moment niet mogelijk de voor de meetpunten geschatte weerstanden ruimtelijk toe te kennen m.b.v. de gekarteerde veensoort.

6.2 Kavel E137

Maaiveld [m+NAP]	-4.20
Polderpeil [m+NAP]	-5.70
Drainagediepte [cm-mv]	85 tot 100
Drainageafstand [m]	12
Helling [m per 100 m]	0.20
Drainagediepte [m+NAP]	
Veen binnen 60-90 cm-mv [%]	
Pleistoceen zand binnen 60-90 cm—mv [%]	
Potentiaal wvp voor depot [m+NAP]	
Potentiaal wvp tijdens aanleg depot[m+NAP]	
Toename potentiaal [m+NAP]	
Grondwaterstand winter tijdens aanleg depot [m+NAP]	
Grondwaterstand zomer tijdens aanleg depot [m+NAP]	-5.20
Potentiaalverschil gws – wvp	
Weerstand klei/veenlaag [dagen] bij flux van 0.1 mm.d-1	

De kavel heeft aan de kopse kant langs de weg geen kavelsloot. Op de kavel zijn grote reliëfverschillen zichtbaar. Vanaf de weg gezien liggen in de linker hoek langs de weg en links van de bedrijfsgebouwen laagten. In de linker hoek liggen de drains op 60 a 70 cm-mv. Tijdens het veldbezoek liepen deze drains niet. In de laagte bij de bedrijfsgebouwen is een grote waterloop gegraven. Waarschijnlijk is daardoor de ontwatering ter plekke verbeterd. Er zijn geen zichtbare aanwijzingen voor het optreden van kwel. Uit de profielbeschrijving van dhr. Beemster (brief september 1997) blijkt dat hier ondiep veen voorkomt en dat boven in het bodemprofiel kleilaagjes voorkomen. Voor deze kavel is geen bodemkartering gemaakt. Ook zijn geen maaiveldhoogten beschikbaar en zijn geen grondwaterstanden gemeten.

Effect van de aanleg van het depot IJsseloog op kavel E137
Er zijn te weinig gegevens om voor deze kavel een uitspraak hydrologisch te kunnen onderbouwen. Op basis van de kennis van het algehele systeem en de profielbeschrijving van dhr. Beemster mag worden verwacht dat hoge (grond)waterstanden het gevolg zijn van de aanwezigheid van ondoorlatend veen in combinatie met een verhoogde voeding als gevolg van toestroming naar de lokale laagte. De opgetreden hoge grondwaterstanden zijn waarschijnlijk niet het gevolg van de aanleg van het depot IJsseloog.

Aanvulling d.d. 9 juli 1998
De in juni 1998 ontvangen extra informatie bestaat uit profielbeschrijvingen. Vrijwel overal komt veen ondiep voor. Grondwaterstandverlopen zijn niet beschikbaar. Op basis van voorgaande analyse zal duidelijk zijn dat voor deze kavel dan ook geen onderbouwde uitspraak kan worden gedaan. De potentiaal van het watervoerende pakket is door de aanleg van het depot hoger dan voor E102. Wanneer de weerstanden van de holocene pakketten hier eveneens 300 d zijn zal het effect op de grondwaterstand groter zijn (bij in dezelfde mate functionerende drains). Bij kleinere weerstanden is de causaliteit evident.

6.3 Kavel E152

Maaiveld [m+NAP]	
Polderpeil [m+NAP]	-5.19
Drainagediepte [cm-mv]	90
Drainageafstand [m]	6 tot 12
Helling [m per 100 m]	0.20
Drainagediepte [m+NAP]	50
Veen binnen 60-90 cm-mv [%]	
Pleistoceen zand binnen 60-90 cm—mv [%]	
Potentiaal wvp voor depot [m+NAP]	
Potentiaal wvp tijdens aanleg depot[m+NAP]	-4.62
Toename potentiaal [m+NAP]	
Grondwaterstand winter tijdens aanleg depot [m+NAP]	
Grondwaterstand zomer tijdens aanleg depot [m+NAP]	-4.40
Potentiaalverschil gws – wvp	
Weerstand klei/veenlaag [dagen] bij flux van 0.1 mm.d-1	

Vanaf de weg zijn Maaiveldhoogteverschillen zichtbaar. Deze gaan waarschijnlijk gepaard met het ondiep voorkomen van veen. Dit veen is op twee plekken aangetroffen door dhr. Beemster (brief September 1997). Ook pleistoceen zand blijkt ondiep voor te komen. Er zijn geen zichtbare aanwijzingen voor het optreden van kwel.

Effect van de aanleg van het depot IJsseloog op kavel E152

Er zijn te weinig gegevens om voor deze kavel een uitspraak hydrologisch te kunnen onderbouwen. Op basis van de kennis van het algehele systeem en de profielbeschrijving van dhr. Beemster mag worden verwacht dat hoge (grond)waterstanden het gevolg zijn van de aanwezigheid van ondoorlatend veen in combinatie met een verhoogde voeding als gevolg van toestroming naar de lokale laagte. De opgetreden hoge grondwaterstanden zijn waarschijnlijk niet het gevolg van de aanleg van het depot IJsseloog.

6.4 Kavel E164

Maaiveld [m+NAP]	-3.90
Polderpeil [m+NAP]	-5.19
Drainagediepte [cm-mv]	90
Drainageafstand [m]	12
Helling [m per 100 m]	0.12
Drainagediepte [m+NAP]	-4.70
Veen binnen 60-90 cm-mv [%]	80
Pleistoceen zand binnen 60-90 cm—mv [%]	0
Potentiaal wvp voor depot [m+NAP]	
Potentiaal wvp tijdens aanleg depot[m+NAP]	-4.30
Toename potentiaal [m+NAP]	
Grondwaterstand winter tijdens aanleg depot [m+NAP]	-4.40
Grondwaterstand zomer tijdens aanleg depot [m+NAP]	-4.90
Potentiaalverschil gws – wvp	-0.10
Weerstand klei/veenlaag [dagen] bij flux van 0.1 mm.d-1	1000
Weerstand klei/veenlaag [dagen] bij flux van 0.5 mm.d-1	200

De kavel ligt aan de westkant van. De kavel bestaat heeft een klei op veen (rietzeggeveen of zeggeveen) profiel. De veenlaag begint ondiep (vanaf 45 cm-mv) en is enkele meters dik. Volgens de omwonenden zit het pleistocene zand op een diepte van 7 meter. Het zeggeveen is niet geoxideerd en is beter doorlatend dan het veen tussen de dekzandruggen. Omdat Schokland in westelijke richting afhelt treedt toestroming op vanaf het kleiplateau van Schokland.

De potentiaal van het pleistocene watervoerende pakket reikt bijna tot aan Maaiveld. Door de aanleg van het depot is deze potentiaal enigszins toegenomen. De voor het veenpakket berekende weerstand is groot. De potentiaal van het pleistocene watervoerende pakket zal daardoor nauwelijks invloed hebben op de grondwaterstand.

Door dhr. Beemster (brief 1-oct-1997) is geconstateerd dat de duiker verstopt zit waardoor geen afvoer optrad, het peil in de sloten te hoog was en de drains niet konden afvoeren. Na het schonen van de waterloop en de duiker zal het slootpeil dalen, kunnen de drains afvoeren en kan de grondwaterstand dalen. Er zijn geen gegevens beschikbaar waardoor dit kan worden bevestigd. Tijdens het veldbezoek (na een periode waarin veel regen was gevallen) voerden de drains en de sloten water af. De duiker was echter nagenoeg verstopt (hoewel 2 weken daarvoor schoongemaakt!). De duiker ligt bijna onder de slootbodem waardoor deze snel verstopt raakt. Waarschijnlijk verzakt deze duiker door zijn gewicht in de veenondergrond. De gehanteerde lage peilen zorgen ervoor dat het veen inklinkt; Schokland zakt door de druk van de dikke kleilaag boven op het veen nog harder. Bij een dergelijke ondergrond horen bij duurzaam landbouwkundig gebruik oppervlaktewaterpeilen van 40 à 50 cm-mv en een gebruik als weiland. Om het proces van de klink te stoppen zijn waarschijnlijk nog hogere grondwaterstanden gewenst.

Effect van de aanleg van het depot IJsseloog op kavel E164
De potentiaal ter plekke is toegenomen.
De potentiaal komt (ook in de uitgangssituatie) tot boven het drainniveau.
De drains kunnen niet altijd water afvoeren ten gevolge van verstopping van de duiker.
De veenlaag heeft een hoge weerstand waardoor een verandering in de potentiaal van het pleistocene watervoerende pakket nauwelijks effect zal hebben.
De duiker ligt bijna onder het niveau van de slootbodem. Het is aannemelijk dat deze daardoor langdurig verstopt is geweest waardoor geen water kon worden afgevoerd.

Wanneer door de gestremde afvoer als gevolg van het vertopt zijn van de duiker de oppervlaktewaterstand tot boven het drainniveau uitkomt verliezen de drains hun werking. Het neerslagoverschot kan niet worden afgevoerd via het oppervlaktewater. De grond- en de oppervlaktewaterstand zullen toenemen totdat een situatie wordt bereikt waarbij het water gaat infiltreren. Daarvoor is een grondwaterstand nodig die ondieper is dan de potentiaal van het diepere pakket. Een toename van de potentiaal resulteert in dat geval in een verhoging van de grondwaterstand van minstens dezelfde orde van grootte. Hoe groter de weerstand hoe ondieper de grondwaterstand moet zijn om de wegzijgingsflux te bewerkstelligen. Door dhr. Beemster is aangegeven dat de potentiaal ter plekke ongeveer 20 cm is toegenomen als gevolg van de aanleg van het depot. Dat betekent dat gegeven een verstopping van de duiker hier de grondwaterstand als gevolg van de aanleg van het depot ook met minstens 20 cm kan zijn toegenomen en dat de aanleg van het depot in deze situatie tot verhoogde grondwaterstanden heeft geleid. Kwantitatieve beschrijvingen van het niveau van de oppervlaktewaterpeilen in de kavelsloten zijn ons niet bekend.

6.5 Kavel P72

Maaiveld [m+NAP]	**-2.60**
Polderpeil [m+NAP]	-4.46
Drainagediepte [cm-mv]	70 tot 90
Drainageafstand [m]	6
Helling [m per 100 m]	
Drainagediepte [m+NAP]	-3.40
Veen binnen 60-90 cm-mv [%]	
Pleistoceen zand binnen 60-90 cm—mv [%]	
Potentiaal wvp voor depot [m+NAP]	
Potentiaal wvp tijdens aanleg depot[m+NAP]	-3.30
Toename potentiaal [m+NAP]	
Grondwaterstand winter tijdens aanleg depot [m+NAP]	-3.25
Grondwaterstand zomer tijdens aanleg depot [m+NAP]	
Potentiaalverschil gws – wvp	+0.05
Weerstand klei/veenlaag [dagen] bij flux van 0.1 mm.d-1	500
Weerstand klei/veenlaag [dagen] bij flux van 0.5 mm.d-1	100

Voor deze kavel is geen bodemkartering gemaakt en zijn geen maaiveldhoogten beschikbaar

De kavel ligt ver van het depot. De stijghoogte van het grondwater is tijdens de aanleg van het depot hoger dan de potentiaal van het pleistocene pakket. Dat impliceert dat hier ook tijdens de aanleg van het depot wegzijging optreedt en er geen sprake is van kwel. Er zijn nauwelijks slempverschijnselen en het Maaiveld is redelijk vlak. De ondergrond is goed doorlatend, de weerstand is klein.

Bij de opname door dhr. Kuiper is geconstateerd dat de vlakligging te wensen overliet, dat de drains nauwelijks liepen en dat de grondwaterstand 40 à 50 cm – mv was. De rapportage van dhr. Beemster vermeldt dat deze drains zijn gecontroleerd op afvoer en dat onder de bouwvoor een slecht doorlatende laag voorkomt. Deze waarnemingen duiden er op dat op deze kavel schijngrondwaterspiegels kunnen voorkomen: ondiepe grondwaterstanden boven de ondoorlatende laag terwijl de (gecontroleerde) drains niet afvoeren. De schijngrondwaterspiegel kan zijn veroorzaakt door een neerslaggebeurtenis of door (langdurig, overmatig of herhaald) beregenen.

Het feit dat de drains niet afvoeren geeft aan dat op het moment van de bezoeken hier geen kwel is opgetreden.

In de slootbodems en wanden is vanaf ongeveer 1.00 m-mv ramspolzand (leemarm grof zand) te zien. De kavel heeft een profiel van klei op grof zand. Voor het gebruik van deze kavel is het belangrijk dat dit grove zand altijd onder water blijft staan. In de zomer is dit nodig om het vocht in de bovengrond vast te kunnen houden, in de winter is dit noodzakelijk om in het voorjaar natschade als gevolg van waterafstotendheid (resulterend in een zeer slechte doorlatendheid) van deze zandlaag te voorkomen. In de kavelsloten zijn onderdoorlaten aangebracht.

In deze sloten is te zien (geen begroeiing) dat het peil in de sloten in de zomerperiode langdurig is opgezet tot 60 cm – mv. Dit komt overeen met de landbouwkundige bedrijfsvoering voor deze kavels zoals beschreven door DLV

Effect van de aanleg van het depot IJsseloog op kavel P72
De potentiaal ter plekke is toegenomen. De maximale potentiaal komt tot net boven het drainniveau. De drains lopen niet continu. De slootpeilen zijn langdurig opgezet.
Onder de bouwvoor komt een slecht doorlatende laag voor. De opgetreden schade wordt hier veroorzaakt door de hoog opgezette peilen (al dan niet in combinatie met beregening) en de beperkingen van het bodemprofiel. De opgetreden hoge grondwaterstanden zijn niet het gevolg van de aanleg van het depot IJsseloog.

6.6 Kavel E165

MAAIVELD [m+NAP]
Polderpeil [m+NAP]
Drainagediepte [cm-mv]
Drainageafstand [m]
Helling [m per 100 m]
Drainagediepte [m+NAP]
Veen (profiel 3) binnen 60-90 cm-mv [%]
Pleistoceen zand (profiel 2) binnen 60-90 cm—mv [%]
Potentiaal wvp voor aanleg depot [m+NAP]
Potentiaal wvp tijdens aanleg depot[m+NAP]
Toename potentiaal [m+NAP]
Grondwaterstand winter tijdens aanleg depot [m+NAP]
Grondwaterstand zomer tijdens aanleg depot [m+NAP]
Potentiaalverschil gws – wvp
Weerstand klei/veenlaag [dagen] bij flux van 0.1 mm.d-1
Weerstand klei/veenlaag [dagen] bij flux van 0.5 mm.d-1

Van deze kavel zijn geen gegevens beschikbaar. Het effect van de aanleg van het depot IJsseloog op kavel E165 is dan ook niet te schatten.

Aanvulling d.d. 9 juli 1998
De doorlatendheid van dit veen is beter dan op kavel E102 in de eerste profielkuil (veldbezoek). De potentiaal van het watervoerend pakket reikt tot 0.30 m – mv. De drains liggen ondiep en op grote afstand. Een toename van de grondwaterstand als gevolg van de aanleg van het depot lijkt hier dan ook onontkoombaar. Omdat de grondwaterstandgegevens voor deze kavel niet beschikbaar zijn zijn de gegevens van kavel E162 bestudeerd. De grondwaterstanden aldaar zijn ondiep en fluctueren nauwelijks. Neerslagpieken zijn sterk afgevlakt te herkennen. Deze gegevens bevestigen dat de weerstand van dit dikke veenpakket klein is. Als gevolg daarvan wordt de grondwaterstand sterk bepaald door de potentiaal van het watervoerende pakket. Als gevolg hiervan zakt de grondwaterstand met name in de zomer niet uit waardoor de bouwvoor nat blijft. Er is sprake van causaliteit.

7 Advies Concept-rapportage Hydrologie 1997-1999 (juli 1999)

Bij deze ons advies ten aanzien van de in de Concept - rapportage Hydrologie 1997-1999 gebruikte criteria voor de beoordeling van de grondwaterstandreeksen.

Doel van de rapportage is tweeledig:
Aantonen van de causaliteit (optreden van een tijdelijke grondwaterstandverhoging tijdens en als gevolg van de aanleg van het depot).
Aantonen dat de aanleg van het depot ook in 1999 nog (naijling)effecten heeft.
In dit advies is alleen gekeken naar (de onderbouwing van) de criteria gebruikt in het hydrologisch onderzoek om de causaliteit en het naijleffect aan te tonen. De conclusies ten aanzien van de afzonderlijke kavels, het structuuronderzoek en de eindconclusies zijn niet beoordeeld.

7.1 Causaliteit

Uit de tijdverlopen (supplement) blijkt vaak een plotselinge verandering in april 1998: een sterke daling van met name de diepe potentialen waardoor in extremo kwelprofielen (ondiepe potentialen < diepe potentialen) overgaan in wegzijgingsituaties (ondiepe potentialen > diepe potentialen). Dit vormt het vierde gehanteerde criterium. ***Op basis van de grafieken (vierde criterium) alleen kan de causaliteit al worden aangetoond.***

Bij ons advies ten aanzien van de Concept Eindrapportage Kwelonderzoek (februari 1999) is een kaart toegevoegd waar op basis van de bodemkaart de potentiële kwelzones zijn geïdentificeerd. Ondertussen is ook de kwelkaart gemaakt door Van der Molen gevonden (zie bijlage). Deze kaart vertoont globaal de nodige overeenkomst met de kwelzonekaart gemaakt op basis van de bodemkaart, de kwelkaart van Van der Molen levert echter meer en betere informatie: de kwelintensiteiten zoals gemeten na de drooglegging zijn meegenomen. Deze kaart kan direct worden gebruikt bij de interpretatie van de causaliteit: hoe groter de kwelintensiteit hoe groter het effect van de aanleg van het depot IJsseloog (wel ringenmodel hierbij gebruiken). ***Combinatie van de kwelkaart, het ringenmodel en de resultaten van de peilbuizen maakt het mogelijk een gebiedsdekkend beeld te krijgen van de verhogingen door aanleg van het depot waardoor ook voor buizen waarvoor de causaliteit minder duidelijk is toch onderbouwde uitspraken kunnen worden gedaan.***

Het tweede en derde gehanteerde criterium (verschil in Grondwaterstanden op 15 maart respectievelijk 15 augustus) om causaliteit aan te tonen zijn theoretisch niet correct. Probleem is gelegen in de verschillen in weerjaren die de grondwaterstandreeksen beïnvloeden en de lokale omstandigheden (mate waarin de ontwatering functioneert) die een vergelijking in grondwaterstanden op tijdstippen in twee opeenvolgende jaren niet mogelijk maakt. Dit lijkt te worden bevestigd door de weinig consistente patronen in Tabel 4. Niet alleen de neerslag en verdamping in een

periode zijn bepalend, ook de uitgangssituatie (neerslag en verdamping van de voorafgaande perioden) en het functioneren van de ontwatering zijn mede bepalend.

De methode wordt onderbouwd met een zeer ruwe waterbalansbenadering waarvoor de nodige aannames zijn gemaakt. De hiermee berekende veranderingen in grondwaterstanden in tabel 3 lijken niet realistisch: veranderingen in grondwaterstanden van tientallen cm in periodes van 3 tot 4 dagen resulteren (extrapolatie) in veranderingen van meters over het groeiseizoen. Voor E136v worden bovendien kwelfluxen van 5 mm berekend waar volgens de grafiek in het supplement in dit profiel wegzijging bestaat. Wanneer de buisdrainage goed werkt blijkt uit de stijghoogtelijnen dat de buisdrainage hier waarschijnlijk ondieper ligt dan 90 cm-mv. Een dergelijke berekende kwelflux is niet realistisch. ***De berekening levert weinig realistische resultaten.***

De gebruikte criteria worden in de rapportage nauwelijks beargumenteert. ***Onderbouwing van de criteria kan gebeuren door ook buizen buiten het beïnvloedingsgebied op dezelfde manier te analyseren.*** Verschillen in tendensen binnen en buiten het beinvloedingsgebied kunnen daardoor zichtbaar worden. De lokale omstandigheden veroorzaken verstoringen in dit beeld. Afhankelijk van het functioneren van de ontwatering zullen effecten groter of kleiner zijn. Factoren die hierop invloed hebben zijn: doorlatendheid van de bodem, voorkomen storende (veen)lagen, diepte en afstand buisdrainage, de onderhoudstoestand van de buisdrainage en afwaterende waterlopen.

7.2 Naijleffecten

De vraag is of de hoge grondwaterstanden in de herfst en winter 1998/1999 worden veroorzaakt door naijleffecten als gevolg van de aanleg van het depot of door de neerslag in deze periode. Daartoe moet ook de ontwatering in beschouwing worden genomen. De kwelkaart van Van der Molen levert ook (impliciet) inzicht in het ontbreken van storende lagen in - en de doorlatendheid van de ondergrond. De reactie op regen en het voorkomen van grondwaterstanden ondieper dan de GHG tijdens het groeiseizoen zoals opgenomen in tabel 4 geven een indicatie voor de ontwateringtoestand. Deze blijkt niet voor alle percelen optimaal te zijn. Bij een goede ontwatering is de opbolling aan het eind van de winterperiode 15 cm boven drainniveau. Deze opbolling kan worden berekend bij een drainageflux van 2 tot 2.5 mm/dag. Aan het eind van de zomerperiode kunnen de grondwaterstanden wegzakken tot onder het drainniveau. Wanneer de grondwaterstanden na afsluiten van het depot tot deze niveaus zakken is er feitelijk geen sprake meer van naijling, de hierna optredende grondwaterstanden zijn het resultaat van de gevallen neerslag en het functioneren van de ontwatering (buisdrainage). ***Voorgesteld wordt dit gegeven te gebruiken als een extra criterium bij de beoordeling: wanneer in april/mei 1998 grondwaterstanden dieper dan 75 cm-mv worden bereikt en wanneer de zomer van 1998 grondwaterstanden beneden drainniveau (90 cm-mv) worden bereikt is er geen sprake meer van naijling in de ondiepe potentialen.*** Voor nagenoeg alle buizen blijken deze niveaus in mei respectievelijk augustus 1998 te worden onderschreden. De landbouwkundige situatie op de kavels hersteld snel van de tijdelijke verhoging van de grondwaterstanden als gevolg van de aanleg van het depot. De hierna

optredende ondiepe grondwaterstanden zijn dan ook het gevolg van de gevallen neerslag en het functioneren van het buisdrainagesysteem. De kavels P66, P78, E147 en mogelijk ook P67 (potentialen lijken sterk op die van P66) bereiken deze niveaus niet. De nagenoeg constante ondiepe grondwaterstanden van P66 (en ook P67?) suggereren dat het drainagesysteem hier uitstekend functioneert en ondieper ligt dan 90 cm-mv, in dat geval is ook hier geen sprake van naijling. P78 reageert zeer sterk op de neerslag, het drainagesysteem werkt slecht, mogelijk ligt ook hier de drainage ondieper, ook hier is geen sprake van naijling (grafiek supplement). Voor dergelijke kavels met een slechte ontwatering moeten feitelijk de grenzen worden aangepast: aan het eind van de winterperiode wordt voor een flux van 2 mm/dag geen opbolling van 15 cm berekend maar bijvoorbeeld van 25 cm omdat de drainageweerstand bij slecht functionerende buisdrainagesystemen groter is. Vergelijken met buizen buiten het beïnvloedingsgebied is noodzakelijk: wanneer hier in de zomerperiode van 1998 de grondwaterstanden veel eerder en verder uitzakken beneden het drainniveau kan bij niet goed functionerende drainage alsnog een naijleffect bestaan; de berging in de diepe ondergrond kan de beperkte drainagecapaciteit op de betreffende kavels niet compenseren. Het mogelijk niet voldoende uitzakken van de grondwaterstanden in de zomerperiode kan worden veroorzaakt door een minder goede ontwatering en door een geleidelijke afname van de diepe potentialen (na de aanvankelijk snelle daling na afsluiten van het depot). ***Door vergelijken met omringende buizen moet worden bepaald wanneer deze diepe potentiaal niet meer wordt beïnvloed door het depot. Om discussie te voorkomen kan dit het beste met statistische technieken worden gekwantificeerd.***

Een effect dat niet met de potentiaalverlopen is aan te tonen is het veranderen van de doorlatendheden als gevolg van 'structuurbederf'. Dit kan leiden tot een minder functionerend ontwateringsysteem. Het lijkt aannemelijk dat dit voor kan komen wanneer klei boven de drains voorkomt en wanneer het grondwater tijdens de aanleg van het depot tot in of boven de kleilaag heeft gestaan. Ook bij (zware) zavels is een dergelijke verandering mogelijk door interne slemp of door berijden onder te natte omstandigheden. Of dit aan de orde is, is niet aan te geven, er zijn geen doorlatendheidmetingen verricht. ***Het structuuronderzoek geeft aanwijzingen voor het voorkomen van doorlatendheden als gevolg van structuurveranderingen.***

Afwijkend van de vraag is voor de buizen P66 en P67 de beschrijving in het rapport vergeleken met de interpretatie zoals hierboven gegeven. De GVG zoals gegeven in bijlage 4 blijkt te zijn bepaald op basis van de diepe potentialen in plaats van de ondiepe potentialen (c.q. de grondwaterstanden). Dit blijkt na een summiere controle ook voor de andere gecontroleerde buizen zo te zijn. Dat betekent waarschijnlijk dat de hele bijlage 4 alsook de hierop gebaseerde kolommen uit tabel 4 gebaseerd zijn op de gemeten diepe potentialen. Dit heeft direct gevolgen voor de conclusies. ***Omdat de landbouwkundige effecten moeten worden aangetoond moeten de gemeten ondiepe potentialen voor de analyse worden gebruikt omdat deze de optredende grondwaterstand het beste benaderen. Verschillen tussen gemeten diepe, middelste en ondiepe potentialen kunnen worden verklaard door de profiel- en boorbeschrijvingen te gebruiken bij de interpretatie van de meetgegevens.***

Op kavel E106, E104, E116, E116v, E116m, E172 en E136 nemen de diepe en ondiepe potentialen in de winterperiode van 1998/1999 toe ten opzichte van de winterperiode 1997/1998 waarin het depot werd aangelegd (visuele beoordeling van de grafieken uit het supplement). Voor de buizen E141, E102a, E162, E169, E143, E146, P66, E155, en P67 gebeurt het omgekeerde. Voor de overige buizen veranderd het niveau nauwelijks of is de waarnemingsperiode te beperkt. Verklaringen voor deze verschillen worden niet gegeven. Mogelijk bestaat er een ruimtelijke samenhang tussen deze patronen. ***Aanbevolen wordt om ook de door RWS en TNO gemeten potentialen in het pleistocene zand en (veranderingen in) oppervlaktewaterstanden in de analyse te betrekken om deze verschillen in veranderingen te kunnen verklaren.***

Verbetering van de structuur (voor zover niet door grondbewerking) is een proces dat langzamer verloopt dan veranderingen in de grondwaterstanden. Verbetering van de structuur wordt vertraagt door het voorkomen van (lokaal) natte omstandigheden. Door structuurbederf kunnen doorlatendheden afnemen waardoor water minder snel uit het profiel kan worden afgevoerd en natte situaties langer blijven bestaan waardoor de structuur weer minder snel herstelt. ***Het verdient dan ook aanbeveling om het structuuronderzoek voort te zetten.***

8 De concept-eindrapportage kwelonderzoek Ketelmeer (december 1999)

De concept-eindrapportage kwelonderzoek Ketelmeer beschrijft de opzet, de uitvoering en de resultaten van de studie. De concept-oplegnotitie (versie december 1998) geeft een samenvatting van de opzet en de resultaten van het onderzoek. In beide stukken worden gegevens gepresenteerd die niet eerder zijn beschreven, n.l. het vergelijken van kavels binnen het studiegebied met vergelijkbare kavels buiten het studiegebied. De werkwijze van het onderzoek is blijkbaar aangepast. Doel van het onderzoek is het in kaart brengen van de gevolgen voor de landbouw" (concept-oplegnotitie, concept-eindrapportage). Naast een beschrijving van de effecten komt in beide stukken de causaliteitsvraag aan bod. RIZA heeft SC-DLO gevraagd met name te beoordelen in hoeverre de causaliteit door dit onderzoek kan worden aangetoond. In deze beoordeling wordt er van uitgegaan dat de uitgevoerde studie naast een inventarisatie van de gevolgen ook een antwoord op de causaliteitsvraag moet geven.

8.1 Het bodemkundig onderzoek

In dit deelonderzoek zijn via boringen profielkenmerken beschreven en is de GLG op basis van bodemkenmerken geschat. Veel aandacht in de profielbeschrijvingen gaat uit naar het voorkomen van 'fletse roest'. Gesteld wordt dat dit wordt veroorzaakt door een stijging van het grondwaterpeil. De bodemkundigen van SC-DLO kenden dit verschijnsel niet. Uit het gezamenlijke veldbezoek is geconcludeerd dat het verschijnsel fletse roest in de bodems zichtbaar is, dat dit iets zegt over de actuele vochttoestand (droog of nat), maar dat dit geen indicatie kan zijn voor veranderingen in grondwaterstanden omdat dit verschijnsel een jaarlijkse periode kent. Profielkenmerken zijn niet geschikt voor het vaststellen van een verandering in grondwaterstanden binnen de periode van een jaar. Dit deel van het onderzoek is derhalve uitsluitend inventariserend. Vergelijken met het gebied buiten het studiegebied maakt duidelijk dat de situatie in het studiegebied in zijn algemeenheid natter is.

8.2 Het bodemstructuuronderzoek

In het structuuronderzoek zijn de effecten van hoge grondwaterstanden op de bodemstructuur geïnventariseerd voor een aantal geselecteerde locaties (en zijn GHG en GLG geschat op basis van profielkenmerken). Ook dit onderdeel is inventariserend. Met dit onderdeel kan de causaliteit niet worden aangetoond. Op basis van de resultaten van dit deelonderzoek wordt duidelijk waar de grootste vernatting is opgetreden. Omdat herstel van de bodemstructuur meestal een langere periode in beslag neemt dan de verstoring van de structuur kunnen effecten nog langere tijd merkbaar blijven.

8.3 Het hydrologisch onderzoek

Op een aantal locaties binnen het studiegebied zijn in diepe en ondiepe peilbuizen grondwaterstanden gemeten. Met behulp van deze reeksen gemeten grondwaterstanden kan de causaliteit worden aangetoond (daartoe moet het effect van de neerslag uit de reeksen worden verwijderd en moeten de reeksen de situatie voor en na een opgetreden veranderingen beschrijven). Omdat voor de aanleg van het depot niet in het freatisch pakket is gemeten is besloten (frequent) door te meten tot een ruime periode na afronden van de werkzaamheden. De correlatie tussen de gemeten veranderingen in freatisch water en de potentiaal in het eerste watervoerende pakket tijdens het afdichten van het depot is voor een aantal locaties zo groot dat de causaliteit in deze gevallen op basis van de tijdverlopen (zonder analyse) onomstotelijk is!

8.4 Chemische samenstelling van water en grond

Omdat in de ondergrond zout water voorkomt dat door kwelstromen tot in het bodemprofiel kan worden getransporteerd zijn de zoutgehaltes in bodem en (grond)water bepaald. Behalve een beschrijving van de toestand en de daaruit voortvloeiende gevolgen voor de gewasopbrengst kan op deze manier de causaliteit via de herkomst van het water worden vastgesteld (samenstelling kwelwater en regenwater verschillen) via tijdreeksen of via het opstellen van zoutbalansen van de wortelzone. Daartoe had echter de situatie voor de aanleg van het depot ook moeten zijn gemeten of moet een voldoende lange periode na het afronden van de werkzaamheden worden doorgemeten (het zout zal na het verminderen van de kwelfluxen met het regenwater uitspoelen).

8.5 Het gewasonderzoek

Om de schadebeelden die optreden te kunnen kwantificeren zijn gewasbeoordelingen uitgevoerd. De schadebeelden geven de gevolgen van een mogelijke grondwaterstandverandering weer maar kunnen niet worden gebruikt om de causaliteit aan te tonen. In ons eerdere commentaar is gesuggereerd om de schadegevallen te vergelijken met vergelijkbare kavels in de omgeving die niet beïnvloed zijn door de aanleg van het depot. In de oplegnotitie wordt een dergelijke vergelijking gemaakt. Daar waar tijdens een natte periode in de omgeving de schadeverwachting toenam blijkt binnen het studiegebied de schadeverwachting te zijn afgenomen. Dit geeft aan dat er binnen het studiegebied sprake is van een gebeurtenis die in de omgeving niet is opgetreden; hoewel de causaliteit hiermee niet zonder meer is aangetoond kan hieruit worden geconcludeerd dat de causaliteit zeer waarschijnlijk is.

8.6 Samenhang tussen de deelonderzoeken

De doelstellingen van de verschillende deelonderzoeken zijn onvoldoende duidelijk. Dit heeft gevolgen voor de leesbaarheid. De leesbaarheid van de eindrapportage kan worden verhoogd door de resultaten van alle deelonderzoeken in de aanhangsels of in deelrapporten op te nemen. Ook is het belangrijk dat een overzicht wordt gegeven van alle in deze studie geproduceerde verslagen en dat deze complete set (inclusief (bodem)kaarten en alle deelrapporten) beschikbaar wordt gesteld.

Het hydrologisch deelonderzoek toont via de gemeten stijghoogten (ook al is dat nog niet gekwantificeerd) de causaliteit aan. Ook het kwaliteitsdeel heeft de potentie de causaliteit aan te tonen. De bodemkartering en het bodemstructuuronderzoek geven een ruimtelijk beeld van de locaties waar vernatting als gevolg van de aanleg van het depot kan optreden. De bodemkartering maakt duidelijk waarom de voorspellingen van RWS niet kloppen. Het structuuronderzoek, de gewasbeoordeling en het kwaliteitsonderzoek beschrijven de opgetreden gevolgen.

9 Discussie

De geohydrologische schematisering en de invoergegevens van de door RIZA uitgevoerde modelstudie (Hebbink en Beemster, 1997) zijn ontleend aan de voortgangsrapporten "Geologische en Geohydrologische Inventarisatie IJsselmeergebied" (RGD, 1987, 1988). De scheidende holocene deklaag is gemodelleerd als een gesloten, slecht doorlatende laag (weerstanden 1000 tot 5000 dagen). Als gevolg van een dergelijk hoge weerstand zullen de veranderingen in de potentiaal van het watervoerende pakket nauwelijks in het freatisch pakket tot uiting komen. De grondwaterkaart bestaat uit kaarten op een schaal van 1:100.000 die zijn geïnterpoleerd op basis van een gering aantal boringen. In dergelijke kaarten kunnen weinig ruimtelijke verschillen bestaan. Beschikbare kaarten (bodemkaart 1:50.000, kwelkaarten) op een gedetailleerdere schaal laten zien dat binnen het studiegebied verschillen in dikte en weerstand van de scheidende laag voorkomen. Recent is door NITG-TNO een op gedetailleerdere schaal een hydrologische analyse van de Noordoostpolder gemaakt (Minnema et al. 1998). Hierdoor wordt zichtbaar dat lokaal kwelzones voorkomen en dat lokaal de zoutbelasting naar het oppervlaktewater (met name in tochten die tot in het watervoerend pakket reiken) groot is. Op basis van de resultaten van deze modelstudie mag direct worden geconcludeerd dat de aanleg van het depot wel tot veranderingen in het freatisch pakket kan leiden. De sleutel voor de optredende effecten wordt gevormd door de dikte en weerstand van de holocene deklaag.

Op basis van de bodemkaart 1:50.000 (kaartbladen 20Oost en 21West, 10 tot 25 boringen per 100 ha) kan een globaal beeld worden verkregen waar effecten mogen worden verwacht (Figuur 2). Daartoe zijn de bodems geclusterd tot zand, veen en kleigronden met waarschijnlijk kwel, met mogelijk kwel en met waarschijnlijk geen kwel. Dit zijn resp. de leemarme zandgronden met zaveldek en de vlakvaaggronden met matig fijn zand (rood, effecten treden op), de poldervaaggronden met lichte zavel op een zandondergrond (oranje, effecten kunnen zich voordoen), de poldervaaggronden met zware zavel (geel, effecten alleen bij grotere potentiaalverschillen waarschijnlijk), de poldervaaggronden met zware zavel en met veen dieper dan 80 cm – mv (lichtgroen, effecten kunnen zich voordoen), de waardveengronden (donkergroen, effecten kunnen zich voordoen) en de poldervaaggronden met klei (bruin, effecten minder waarschijnlijk). Of de effecten in bodems met veen zich voordoen is afhankelijk van de doorlatendheid van het veen (en dus van de soort veen en van de pakking (dichtheid) van het veen: het veen met een zaveldek (lichtgroen) is compacter en daardoor minder doorlatend dan de waardveengronden (donkergroen) met dezelfde soort veen).



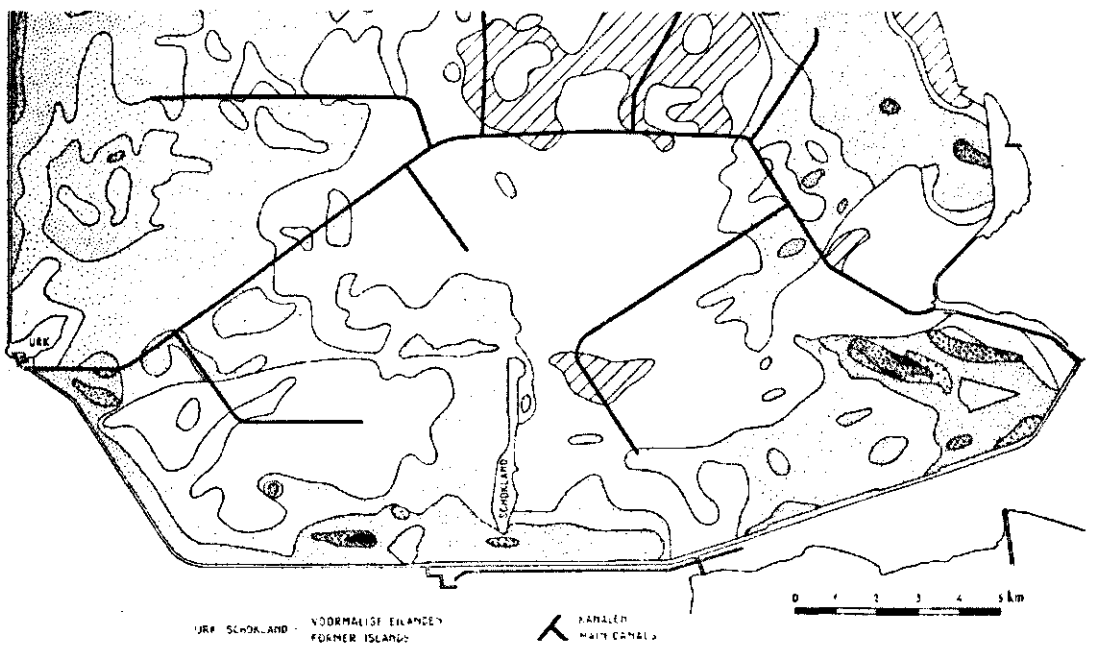
Figuur 2 Voorkomen van kwelzones afgeleid van de bodemkaart 1:50.000.

Deze kaart moet worden gecombineerd met de potentiaalveranderingkaart van RIZA om de gebieden waar en in welke mate effecten mogen worden verwacht aan te kunnen geven (b.v. door de kleurintensiteit af te laten nemen wanneer de potentiaalverandering volgens het gecorrigeerde ringenmodel afneemt). Daarbij moet worden opgemerkt dat als gevolg van de aangetoonde kwelstromen binnen het studiegebied de druk in het eerste watervoerende pakket wordt 'ontlast' waardoor de zone waarin de potentiaalverhogingen in de watervoerende pakketten optreden kleiner zal zijn dan in het tot nu toe door RIZA gepresenteerde ringenmodel (op basis van de niet geheel correcte modelberekeningen), met name in noordelijke richting zouden de ringen in werkelijkheid wel eens sterk in elkaar kunnen zijn gedrukt, en op kortere afstand van elkaar liggen. Op basis van deze analyse kan worden gesteld dat effecten mogen worden verwacht bij de zandopduikingen (rood en oranje) rond Schokkerhaven (door het ontbreken van een scheidende laag), bij de zware zavelgronden rond Schokkerhaven (vanwege het grote potentiaalverschil ter plaatse) en bij de veengronden (donkergroen) bij Schokland. Het ringenmodel moet daarbij worden aangepast op basis van de in de diepe buizen gemeten potentiaalverschillen tussen de periode tijdens de aanleg en de periode na het afdichten van het depot en op basis van nieuwe modelberekeningen waarbij de weerstand van de scheidende laag binnen het modelgebied sterk wordt verlaagd.

Het onderzoek van DLV is op gedetailleerdere schaal uitgevoerd (1 boring per ha). De resultaten van het bodemkundig onderzoek laten zien dat het watervoerende pakket plaatselijk bijna tot in maaiveld reikt en dat binnen een kavel grote variatie in

de profielopbouw bestaat. Op basis van kaarten met het voorkomen van zandopduikingen en veenlagen kan aangegeven worden waar de aanleg van het depot tot effecten heeft kunnen leiden. Dit had nog beter kunnen gebeuren wanneer altijd zou zijn geboord tot aan het watervoerende pakket (dikte en opbouw van de scheidende laag zijn dan bekend), wanneer de verschillende soorten veen en de pakking (dichtheid) van het veen uitgekarteerd zouden zijn, wanneer de weerstand van de onderscheiden veensoorten zou zijn gemeten en wanneer de kwelfluxen op een aantal plaatsen gemeten zouden zijn.

De kartering van DLV is gedetailleerder dan de bodemkaart 1:50.000 en geeft daardoor beter beeld van ruimtelijke verschillen. Op soortgelijke wijze als hierboven is gebeurd kan deze kaart worden bewerkt tot een kaart met gebieden waar effecten mogen worden verwacht. Deze kaart kan worden gekoppeld aan de gemeten veranderingen in grondwaterstanden om de betrouwbaarheid zichtbaar te maken. Ook kan deze kaart worden gekoppeld aan een kaart met de locaties waar schade is opgetreden om een ruimtelijk beeld te krijgen van de mate waarin de gebieden met schade overeenkomen met de gebieden waar effecten mogen worden verwacht. De veronderstelling is immers dat de schade gekoppeld is aan locaties waar effecten van de potentiaalverandering t.g.v. de aanleg van het depot tot hogere grondwaterstanden kunnen leiden (i.e. met name bij de zandopduikingen en boven doorlatende veenbodems, deze zijn rood en oranje resp. donkergroen op de kaart als gevolg van de grote doorlatendheid en in de omgeving van Schokkerhaven als gevolg van de grote potentiaalverschillen ter plaatse).



Figuur 3 Kwelkaart van de Noordoostpolder (overgenomen uit: Van der Molen en Sieben, 1955). Legenda; gestreept: wegzijging, wit: geen kwel, gestippeld in vijf klassen van licht naar donker: kwelfluxen resp. <0.2, 0.2-0.5, 0.5-1.0, 1.0-5.0 en > 5 mm.d^{-1}.

Via literatuuronderzoek is ook de kwelkaart van de Noordoostpolder gemaakt door Van der Molen en Sieben (1955) gevonden (Figuur 3). Volgens deze kwelkaart traden in 1954 op kavels direct achter de dijk kwelfluxen van 0.2 tot 0.5 mm.d-1 op. Plaatselijk (rond de zandopduikingen!) konden deze fluxen echter groter dan 0.5 mm.d-1 zijn. In het studiegebied komt een zone voor waar volgens de kwelkaart een flux groter dan 5 $mm.d^{-1}$ voorkomt.

De beide kwelkaarten leiden tot een soortgelijk beeld. De kwelkaart van Van der Molen en Sieben bevestigt daarmee de veronderstellingen t.a.v. potentiaalverschillen en doorlatendheden die zijn gemaakt bij de interpretatie van de kwelzones op basis van de bodemkaart. Samen met de door DLV uitgevoerde gedetailleerde bodemkartering en de resultaten van het structuuronderzoek, de hydrologische meetresultaten en de geïnventariseerde schades kan een beter ruimtelijk beeld van de kwelzones binnen het studiegebied worden verkregen en de als gevolg van de aanleg van IJsseloog opgetreden schades worden verkregen.

10 Conclusies

Op basis van het door DLV verrichte onderzoek kan worden aangegeven op welke kavels tijdens de aanleg van het depot hoge grondwaterstanden en (nat)schade zijn opgetreden. Het onderzoek heeft bestaan uit een aantal deelonderzoeken die niet allemaal de potentie hebben de causaliteit aan te kunnen aantonen maar die hebben geleid tot het inzicht dat het achteraf mogelijk maakt om de opgetreden gebeurtenissen te begrijpen. De in de oplegnotitie voor de schadeverwachting gemaakte vergelijking met de omgeving toont aan dat de causaliteit zeer waarschijnlijk is. Alleen het hydrologisch deelonderzoek toont via de gemeten stijghoogten voor een aantal locaties daadwerkelijk aan (ook al is dat nog niet gekwantificeerd) dat er sprake is van causaliteit. De bodemkartering geeft een ruimtelijk beeld van de locaties waar vernatting door de aanleg van het depot kan optreden en maakt duidelijk waarom de voorspellingen van de eerder uitgevoerde modelstudie niet kloppen. Het structuuronderzoek en de gewasbeoordeling geven een goed beeld van de opgetreden gevolgen.

De samenhang tussen de onderzoeken kan worden versterkt door de waarnemingen van het hydrologisch onderzoek, de bodemkaart en de schadekaarten te koppelen tot een gebiedsdekkende effectenkaart. Voor een aantal buizen is de causaliteit niet aantoonbaar zonder verdere analyse van de resultaten (effect van de neerslag moet worden verwijderd). Het door de aanleg van het depot beïnvloedde gebied kan in detail worden begrensd na analyse van de gemeten grondwaterstandreeksen, aanpassen van het ringenmodel en het maken van de gebiedsdekkende effectenkaart. Verschillen tussen de verschillende kaarten kunnen met de bij DLV aanwezige gebiedskennis worden verklaard. Met een dergelijke kaart kunnen de schadegevallen worden beoordeeld. De structuur en de gewasschade moeten in de gebieden waar de effecten zijn opgetreden nog langer worden geïnventariseerd omdat het enige tijd kan duren voordat de structuur zich heeft hersteld. Tot die tijd kan de verminderde structuur tot landbouwkundige schade blijven leiden.

In het onderzoek is een schat aan gegevens verzameld, het is gewenst deze goed te beschrijven en documenteren. Het is op basis van de verzamelde gegevens duidelijk dat binnen het studiegebied een gebeurtenis heeft geleid tot hogere grondwaterstanden met alle bodem- en landbouwkundige gevolgen van dien. Door de vergelijking met andere locaties in de omgeving wordt het zeer waarschijnlijk dat de aanleg van het depot deze gebeurtenis vormt. Voor een aantal locaties wordt door de gemeten grondwaterreeksen het oorzakelijk verband met de aanleg van het depot aangetoond. Het onderzoek beantwoord aan de doelstelling: inventariseren en aantonen van de causaliteit. De conclusie tav de causaliteit kan, wanneer de verzamelde gegevens overzichtelijk worden gepresenteerd in b.v. een kaart, in de rapportage scherper worden geformuleerd.

Literatuur

Bierkens, M.F.P., 1994. *Complex confining layers : a stochastic analysis of hydraulic properties at various scales.* Utrecht, Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap.

Cate, J.A.M. ten et al., 1995. *Handleiding bodemgeografisch onderzoek, Richtlijnen en geschriften. Deel B: Grondwater.* Wageningen, DLO-Staring Centram. Technisch Document 19b.

Hebbink, A.J. en A.H. Beemster, 1997. *Hydrologische effecten aanleg depot 'IJsseloog'. Resultaten metingen grondwaterstanden en stijghoogten in 1996 in en rond het Ketelmeer.* Rijkswaterstaat, RIZA.

Hooghoudt, S.B., D. van der Woerdt, J. Bennema en H. van Dijk, 1960. *Verdrogende veengronden in West-Nederland.* Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen 66.23, Pudoc, Wageningen.

Hillen, R., 1991. *Geohydrologische atlas IJsselmeergebied.* Rijkswaterstaat, DBW/RIZA. Lelystad.

Hooghoudt, S.B., D. van der Woerdt, J. Bennema en H. van Dijk, 1960. *Verdrogende veengronden in West-Nederland.* Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen 66.23, Pudoc, Wageningen.

Locher, W.P. en H. de Bakker (eds.), 1993. *Bodemkunde van Nederland. Deel I Algemene Bodemkunde.* Den Bosch, Malmberg.

Minnema, B. et al., 1998. *Hydrologische analyse Noordoostpolder.* TNO-rapport NITG 98-50-B. NITG-TNO. Delft

Molen, W.H. van der en W.H. Sieben, 1955. *Over de landbouwkundige betekenis en de kartering van de kwel in de Noordoostpolder.* Van Zee tot Land; no 12. Zwolle.

Riele, W.J.M. te en D.J. Brus, 1996. *Actualisatie van de grondwatertrappenkaart van het land van Cuijk met een gestratificeerde tweefasensteekproef en regressieschatters.* Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 441.

Uil, H., 1980. *Grondwaterkaart van Nederland. Lelystad/Zwolle Kaartbladen 20oost/21west. Inventarisatierapport.* DGV-TNO. Delft/Oosterwolde.

Niet gepubliceerde bronnen

Bac, A.D., et al., 1997. *Concept Tussenrapportage Kwelonderzoek NOP. Onderzoek naar de gevolgen van een verhoogde grondwaterstand voor de landbouw in de Noordoostpolder, in verband met het aanleggen van het slibdepot in het Ketelmeer.* Versie 1, oktober 1997. Stichting Landbouwvoorlichting DLV. Wageningen.

Bac, A.D., et al., 1998. *Concept Tussenrapportage Kwelonderzoek NOP. Onderzoek naar de gevolgen van een verhoogde grondwaterstand voor de landbouw in de Noordoostpolder, in verband met het aanleggen van het slibdepot in het Ketelmeer.* Versie 1, oktober 1998. Stichting Landbouwvoorlichting DLV. Wageningen.

Bac, A.D., et al., 1998. *Concept Oplegnotitie Kwelonderzoek NOP. Onderzoek naar de gevolgen van een verhoogde grondwaterstand voor de landbouw in de Noordoostpolder, in verband met het aanleggen van het slibdepot in het Ketelmeer.* Versie 1, december 1998. Stichting Landbouwvoorlichting DLV. Wageningen.

Hebbink, A.J. en A.H. Beemster, 1997. *Hydrologische effecten aanleg depot 'IJsseloog'. Resultaten metingen grondwaterstanden en stijghoogten in 1996 in en rond het Ketelmeer.* Rijkswaterstaat, RIZA.

Aanhangsel 1 Rekenvoorbeelden

Profiel 1

Met behulp van MODFLOW zijn de grondwaterstand en de drainagefluxen voor een stationaire situatie berekend voor de drie rekeneenheden. Daarbij is aangenomen dat de doorlatendheid boven het drainniveau (0.9 m-mv) van deze afzettingen door rijping groter is dan de doorlatendheid van dezelfde afzettingen onder het drainniveau (0,50 resp. 0,25 m.d-1). Omdat de bovenste pleistocene afzettingen uit dekzand bestaan is voor de bovenste 2 meter van de pleistocene zanden een doorlatendheid gebruikt die realistischer is voor dekzanden (5 m.d-1). Deze doorlatendheid is kleiner dan de doorlatendheid (30 m.d-1) voor de diepere afzettingen van het pleistocene pakket. Naast de opbouw van het rekeneenheid en de bijbehorende geohydrologische eigenschappen zijn de neerslagflux (2 mm.d-1), de potentiaal in het pleistocene pakket (voor de berekeningen gesteld op 20 cm boven drainniveau; dwz 70 cm-mv), de drainafstand (hier is 10 m aangehouden) en de intredeweerstand van de drains (2,5 dag voor goed functionerende drains) bepalend voor de resulterende grondwaterstand. Voor deze rekeneenheid worden met de gebruikte invoergegevens grondwaterstanden berekend die (door de goede doorlatendheid) nagenoeg overeenkomen met de potentiaal die in het pleistoceen is opgelegd. De grondwaterspiegel is (door de grote doorlatendheid) nagenoeg vlak. Tot een afstand van ruim 2.5 m naast de drains wordt water afgevoerd naar de drains; daarbuiten vindt wegzijging plaats naar het watervoerende pakket.

Tabel De doorlatendheden (m.d-1) voor de horizonten van de drie geschematiseerde bodemprofielen

	Profiel 1	Profiel 2	Profiel 3
0.0-0.5 m-mv	0.5	0.5	0.5
0.5-1.0 m-mv	0.5	5.0	0.5
1.0-2.0 m-mv	0.25	5.0	0.01
2.0-4.0 m-mv	5.0	5.0	5.0

Profiel 2

Deze situatie is geschematiseerd: de holocene laag heeft een dikte van 50 cm, de drains liggen in het dekzand. Deze rekeneenheid is in de bovenste 2 meter nog beter doorlatend dan rekeneenheid 1; de grondwaterstand is vlak en gelijk aan de opgelegde potentiaal (aanhangsel 1). Tot 3 m naast de drains wordt het water via de drains afgevoerd; daarbuiten infiltreert water naar het watervoerende pakket. De berekende drainagefluxen zijn 1,25 mm.d-1; dwz dat in deze (stationaire) situatie wegzijging optreed (de neerslag bedraagt 2.00 mm.d-1 er moet dus 0.75 mm.d-1 naar het grondwater infiltreren).

Profiel 3

Deze rekeneenheid is geschematiseerd als een zavellaag van 1 m dikte en een veen (klei)laag van 1 m dikte. Door de scheidende veen(klei)laag wordt het effect van het drainagesysteem kleiner (aanhangsel 1); er ontstaat een opbolling van het grondwater tussen de drains. De drains voeren water van een zeer beperkt gebied af (kleiner dan

een halve meter naast de drains); bijna overal infiltreert water naar het pleistocene watervoerende pakket.

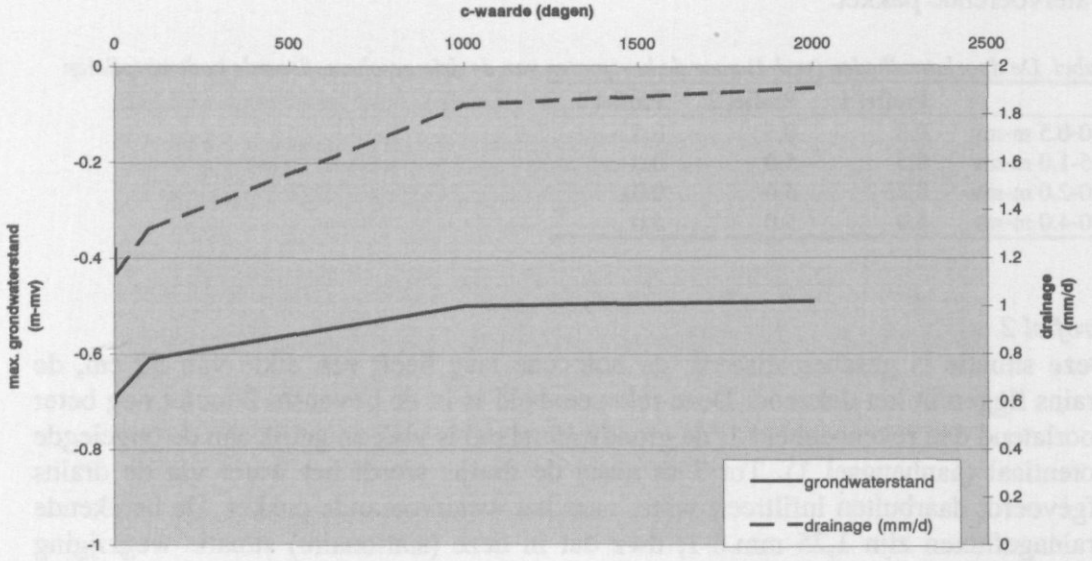
Gevoeligheid

Door voor de drie situaties de waarden van de grootheden te variëren kan een indruk van de gevoeligheid van het systeem voor deze grootheden worden verkregen. Daartoe zijn de waarden van de volgende variabelen gevarieerd:

1. De weerstand van de laag van 1 tot 2 m-mv.
2. De doorlatendheid van de laag van 0 tot 1 m-mv.
3. De intredeweerstand van de drainagebuizen.
4. De neerslag.
5. De opgelegde potentialen.

1. De weerstand van de laag van 1 tot 2 m-mv.

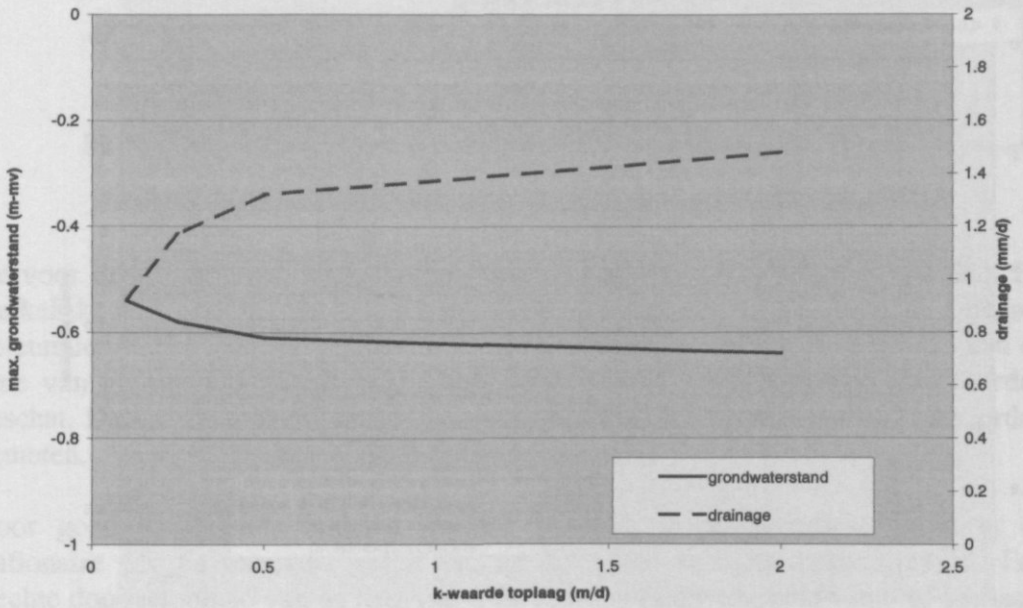
De geschematiseerde rekeneenheden 1 en 3 verschillen uitsluitend in de weerstand van de ongerijpte zavel/klei-laag (k = 0.5 m.d-1 dwz c=2 d) en de veenlaag (k=0,01 m.d-1 dus c=100 d). De weerstand van de veenlaag kan ook hoger zijn. Daarom is ook gerekend met een doorlatendheid van 0.001 en 0.0005 (c = 1000 resp. 2000 d) voor de veenlaag. De berekende drainagefluxen en de berekende drooglegging tussen de drainbuizen zijn een functie van de weerstand van de laag van 1 tot 2 m-mv :



Zowel de grondwaterstand als de drainageflux nemen toe naarmate de weerstand toeneemt. Weerstanden groter dan 1000 dagen leiden nauwelijks tot veranderingen in de drainagefluxen en de grondwaterstanden. Weerstanden groter dan 1000 dagen leiden voor deze rekeneenheden tot een verondiepen van de grondwaterstand met 20 cm. Voor lage weerstanden nadert de grondwaterstand tot de in het pleistocene watervoerende pakket opgelegde potentiaal. De drainagefluxen zijn kleiner dan de

voeding (2 mm.d-1); er vindt (netto) wegzijging plaats naar het diepere watervoerende pakket.

2. De doorlatendheid van de laag van 0 tot 1 m-mv.
De gebruikte waarde van 0.5 m.d-1 voor de doorlatendheid van de afdekkende zavellaag is realistisch. Om de gevoeligheid te bepalen is voor rekeneenheid 3 ook gerekend met doorlatendheden van 0.10, 0.25 en 2 m.d-1. Voor k-waarden kleiner dan 0.5 dag neemt de ontwateringdiepte snel af en neemt de drainageflux sterk toe. rekeneenheid 3 is minder gevoelig voor doorlatendheden groter dan 0.5 m.d-1. Het effect van de doorlatendheden is afhankelijk van de weerstand van de onderliggende laag van 1 tot 2 m-mv. Een lage doorlatendheid leidt in combinatie met hoge weerstanden tot hoge grondwaterstanden en kleine drainagefluxen (en dus grote wegzijgingfluxen).



De grondwaterstand is weinig gevoelig voor de doorlatendheid van de bovengrond in het traject waarbinnen de waarde van de bovengrond in het studiegebied moet worden gezocht (0.25-1.00 m.d-1).

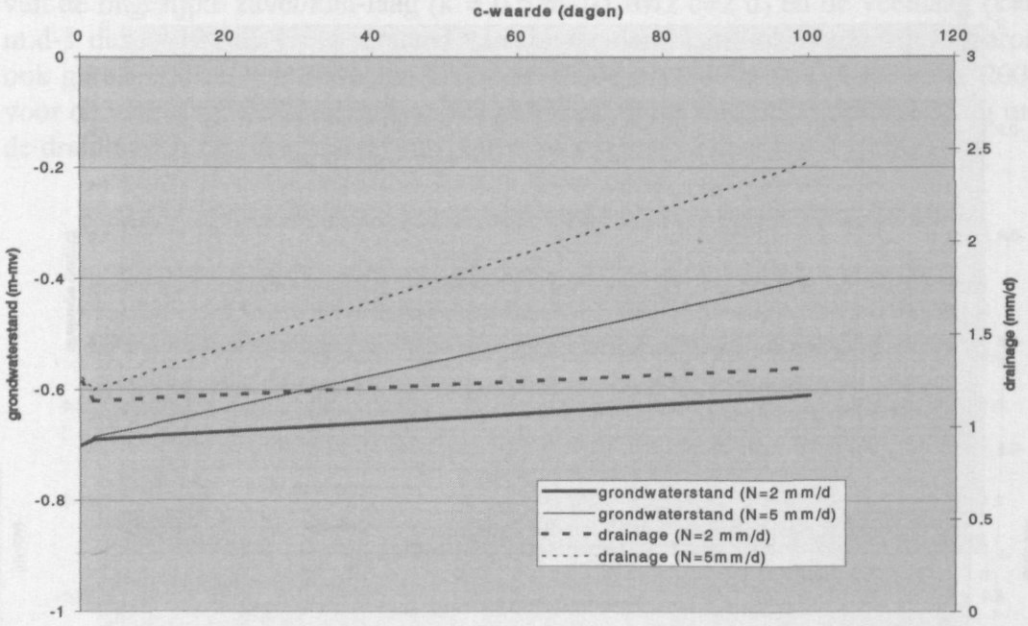
3. De intredeweerstand van de drainagebuizen.
De gebruikte intredeweerstand van 2.5 dag is een realistische waarde voor een optimaal functionerende drain (pers. com. Stuyt). Om het effect van minder goed onderhouden drains zichtbaar te maken zijn de berekeningen voor rekeneenheid 1 en 3 (c resp. 2 en 100 d) ook uitgevoerd met een intredeweerstand van 25 dagen. Minder goed functionerende drains leiden tot een afname van de drainagefluxen en (daardoor) tot verondiepen van de grondwaterstand en een toename van de wegzijgingfluxen. De drainageweerstanden (opbolling gedeeld door de drainageflux)

bedragen voor de intredeweerstand van 2.5 en 25 dagen resp. 160 tot 200 en ongeveer 1600 dagen.

Op veel locaties binnen het studiegebied is de drainafstand 5 à 6 m in plaats van de hier gebruikte 10 m. Voor dergelijke plekken zal (bij verder gelijke omstandigheden) de opbolling kleiner zijn, zal de ontwatering dieper zijn, zullen de drainagefluxen groter zijn en zal de wegzijgingsflux kleiner zijn.

4. De voeding.

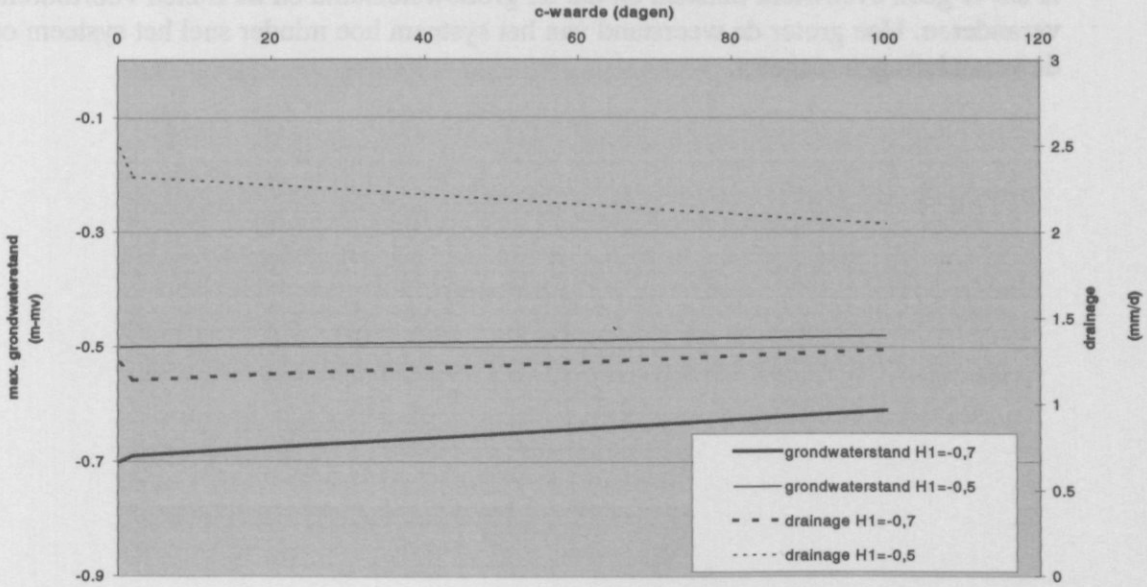
Om het effect van extra voeding door laterale afstroming van neerslag naar de lokale laagtes te bepalen zijn berekeningen uitgevoerd met een voeding van 5 mm.d-1. Een grotere voeding leidt tot een sterk verondiepen van de grondwaterstand. Dit verondiepen is groter naarmate de weerstand van de onderliggende laag toeneemt. De drainageflux neemt toe als gevolg van de ondiepe grondwaterstanden (hoge potentialen); de wegzijgingsflux neemt ook toe (door de grotere voeding moet meer water worden afgevoerd.



5. De opgelegde potentialen.

Een hogere potentiaal (40 cm boven drainiveau) dan de tot nu toe gebruikte potentiaal (20 cm boven drainniveau) resulteert in ondiepere grondwaterstanden. De grondwaterstand wordt ongeveer gelijk aan deze potentiaal; de gevoeligheid voor de weerstand neemt af. De grondwaterstand is gelijk aan (bij lage weerstanden) of ondieper (bij hogere weerstanden) dan de potentiaal van het diepere watervoerende pakket. De potentiaal bepaalt in een stationaire situatie de grondwaterstanden in sterke mate. Voor de potentiaal 40 cm boven het drainniveau ontstaat een (netto) kwelsituatie (de drainagefluxen zijn groter dan de voeding van 2 mm.d-1). Voor lage c-waarden is (in een stationaire situatie) de verandering in de grondwaterstand gelijk aan de verandering in de potentiaal, voor hogere c-waarden is de verandering kleiner

dan de verandering in de potentiaal. Om de effecten van de aanleg van het depot op een goede manier te bepalen is het nodig de weerstand van de laag tussen het drainniveau en het pleistocene pakket te kennen.



De voor deze rekenexercitie gebruikte waarden zijn zo goed mogelijk geschat. De werkelijke waarden zijn niet bekend; deze zijn niet gemeten. Op basis van de gemeten potentialen in het freatisch pakket en in het pleistocene watervoerende pakket kan de orde van grootte van de weerstand van de tussen de filters liggende laag worden geschat. De doorlatendheid van de veenlaag kan ook met behulp van ringen worden gemeten.

Voor goed doorlatende bodems (profiel 1 en 2) is de grondwaterstand in de stationaire situatie ongeveer gelijk aan de potentiaal van het diepere pakket. Een slechte doorlatendheid van de laag van 1 tot 2 m-mv (aanwezigheid veen- of kleilaag, rekeneenheid 3) leidt tot hogere grondwaterstanden. Een combinatie van een hoge voeding (lokale laagtes) met een grote weerstand in de ondergrond (profiel 3) kan leiden tot grondwaterstanden ver boven de potentiaal van het pleistocene watervoerende pakket. Minder goed functionerende drains kunnen dit effect versterken. In nagenoeg alle situaties is sprake van netto-wegzijging naar het grondwater (infiltratie). De potentiaal van het pleistocene watervoerende pakket zorgt voor een tegendruk waardoor de grondwaterstand ondieper wordt.

Van stationair naar niet-stationair

In een stationaire situatie veranderen de randvoorwaarden niet; de voeding en de potentiaal in het watervoerende pakket zijn constant. Daardoor ontstaat een evenwichtssituatie waarbij ook de grondwaterstand en de drainage-, kwel- en wegzijgingfluxen constant zijn.

De werkelijkheid is echter sterk niet-stationair: in het studiegebied fluctueert de potentiaal in het pleistocene watervoerende pakket ongeveer 30 cm binnen een jaar, de neerslag en daarmee de voeding varieert en is zelfs discontinu. Het gevolg hiervan is dat er geen evenwicht ontstaat en dat de grondwaterstand en de fluxen voortdurend veranderen. Hoe groter de weerstand van het systeem hoe minder snel het systeem op de veranderingen reageert.