

Helpt het verhogen van het zomerpeil om droogteschade te verminderen in Flevoland?

Literatuurstudie en simulatie van opbrengst van consumptieaardappel bij verschillende zomerpeilen en bodemprofielen in Oostelijk Flevoland

system



innovatie

Helpt het verhogen van het zomerpeil om droogteschade te verminderen in Flevoland?

Literatuurstudie en simulatie opbrengst consumptieaardappel bij verschillende zomerpeilen en bodemprofielen in Oostelijk Flevoland

O.A. Clevering¹ & P.J.T. van Bakel²

1: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business-unit Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroenten

2: Alterra, Centrum voor Water & Klimaat

© 2006 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het LNV Programma Systeminnovaties
Geïntegreerde Open Teelten (400-III)

Projectnummer: 32500299

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroenten
Adres : Edelhertweg 1
: Postbus 430, 8200 AK Lelystad
Tel. : 0320 - 291111
Fax : 0320 - 230479
E-mail : info.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Voorwoord

Dit onderzoek is uitgevoerd naar aanleiding van een LNV Helpdeskvraag van P.N.J. de Moel naar de mogelijkheid om droogteschade in landbouwgewassen in Oostelijk Flevoland te verminderen door het opzetten van het oppervlaktewaterpeil. Deze vraag is oorspronkelijk afkomstig van een akkerbouwer. Deze vraag is ook interessant voor het toekomstige waterbeheer in de provincie Flevoland. Momenteel wordt door het waterschap en de provincie het Gewenste Grond- en Oppervlaktewaterregime (GGOR) vastgesteld, hetgeen mogelijk resulteert in aanpassingen in peilbesluiten. Wij hopen dan ook dat dit onderzoek bijdraagt aan de discussie over het peilbeheer in Flevoland.

De Helpdeskvraag wordt beantwoord binnen de vrije ruimte van het LNV Programma 400-III Systeeminnovaties Geïntegreerde Open Teelten. Hoewel in eerste instantie de bedoeling was dat deze vraag op basis van literatuur en expertkennis te beantwoorden, hebben wij toch de gelegenheid gekregen deze vraag d.m.v. een modelstudie te beantwoorden.

Wij willen graag het Waterschap Zuiderzeeland en Domeinen bedanken voor het leveren van aanvullende informatie.

Olga Clevering
Jan van Bakel

Samenvatting

Aanleiding

Door een akkerbouwer in Oostelijk Flevoland is de vraag gesteld in hoeverre door het verhogen van het zomerpeil droogteschade in landbouwgewassen kan worden verminderd. De kavels zijn gelegen op een kleipakket van 110 cm op Pleistoceen zand. De kavels zijn gedraineerd op een diepte van 1,70 m, drains liggen dus in het zandpakket. De vraag is beantwoord door het uitvoeren van een korte literatuurstudie en modelberekeningen.

Literatuurstudie

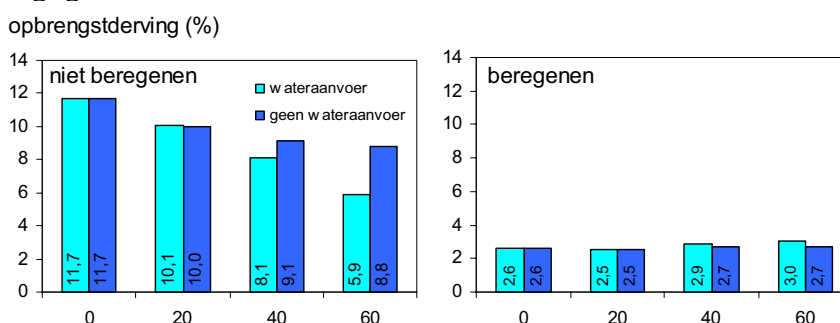
Uit literatuurstudie komt naar voren dat het verhogen van het zomerpeil (d.w.z. na de voorjaarswerkzaamheden) alleen zinvol is als de grondwaterstand snel op deze verhoging reageert. De snelheid waarmee de grondwaterstand reageert, is afhankelijk van de doorlatendheid van de bodem. Voor grondwateraanvulling wordt in Noord-Brabant en Limburg succesvol slootwater via drains in percelen op zand geïnfiltreerd. Deze methode is op kleigrond vanwege de slechte doorlatendheid van de bodem en dus trage reactie van de grondwaterstand minder goed toepasbaar. Daarnaast kan bij het onder water zetten van drains de doorlatendheid van kleigrond rond de drain sterk afnemen (verslemping). De situatie bij bovengenoemde akkerbouwer is echter interessant vanwege de ligging van de drains in een zandpakket. Dit was reden om door modelsimulaties de effecten van peilverhoging nader te onderzoeken.

Werkwijze simulaties

Voor de simulatie is gebruikgemaakt van het agrohydrologisch model SWAP in combinatie met het gewasmodel WOFOST. Voor een periode van 30 jaar is de droge stofopbrengst van consumptieaardappel gesimuleerd bij een drooglegging van 175 cm –mv en peilverhoging van 0, 20, 40 of 60 cm in de periode 1 mei t/m 31 augustus. De simulaties zijn uitgevoerd voor situaties met en zonder wateraanvoer en beregenen. Zonder wateraanvoer wordt alleen het lokale neerslagoverschot vastgehouden, met wateraanvoer kan het slootpeil ook in drogere perioden gehandhaafd blijven. Ter vergelijking is niet alleen het bodemprofiel van klei-op-zand, maar ook een volledig kleiprofiel doorgerekend.

Resultaten klei-op-zand

Allereerst is de situatie voor klei-op-zand doorgerekend. De grondwaterstand reageert snel op het verhogen van het slootpeil en is in principe als maatregel dan ook goed toepasbaar. Zonder wateraanvoer neemt de meerwaarde van peilverhoging af met hoger wordend slootpeil; is wel wateraanvoer mogelijk dan neemt de meerwaarde juist toe met hoger wordend slootpeil (zie onderstaande figuur). Door peilopzetten neemt de droogteschade sterk af, maar de kans op natschade neemt iets toe. Peilopzetten zonder wateraanvoer vertraagt de ontwatering van percelen, maar infiltratie treedt nauwelijks op. Met wateraanvoer infiltreert gedurende de periode van peilverhoging gemiddeld over de jaren genomen 25 en 62 mm bij resp. 40 en 60 cm peilverhoging.



Gemiddelde veeljarige opbrengstderving (%) t.o.v. de potentiële bruto droge stofopbrengst van consumptieaardappel op klei op zand bij peilverhoging met 0, 20, 40 en 60 cm in de periode 1 mei t/m 31 augustus zonder en met wateraanvoer en wel en geen beregenen in de periode 1971 t/m 2000.

Wordt berekend dan neemt de opbrengstderving af tot ca. 2,5%. Deze restschade wordt veroorzaakt door wateroverlast. Ook beregenen kan wateroverlast veroorzaken als direct na een beregeningsgift veel neerslag valt. In de referentiesituatie (geen peilverhoging) is een gemiddelde jaarlijkse beregeningsgift van 134 mm berekend. Bij 60 cm peilverhoging en wateraanvoer neemt de beregeningsgift af van 134 naar 99 mm, een afname van 35 mm. De hoeveelheid in het perceel geïnfiltreerd water is daarbij 37 mm. In termen van mm benodigd water is infiltreren in combinatie met beregenen volgens deze berekeningen niet minder efficiënt dan alleen beregenen.

Resultaten kleiprofiel

De gemiddelde grondwaterstand is iets hoger bij klei dan bij klei-op-zand, omdat de weerstand van de buisdrainage hoger is verondersteld. Als gevolg hiervan is er ook minder water voor infiltratie nodig: 44 i.p.v. 62 mm bij 60 cm peilverhoging en met wateraanvoer. Voor het kleiprofiel wordt voor de referentiesituatie een iets hogere opbrengstderving berekend, 11,9% i.p.v. 11,7%. Door het opzetten van het peil neemt de opbrengstderving minder sterk af dan bij klei op zand, de resterende opbrengstderving is 6,6 i.p.v. 5,9%. Deze hogere opbrengstderving wordt veroorzaakt door natschade.

Resultaten aanpassingen draindichtheid

Naast peilverhoging kan het waterbeheer verder worden geoptimaliseerd door aanpassingen aan het drainagesysteem. In de referentiesituatie heeft een hogere draindichtheid een negatief effect, omdat door sterkere ontwatering droogteschade toeneemt. Wel vermindert de kans op natschade. In de praktijk wordt echter minder natschade aangetroffen dan door ons berekend, dit vanwege de aanwezigheid van macroporiën. Een hogere draindichtheid is echter zeer gunstig voor infiltratie van water in percelen bij het opzetten van het peil. Dit kan in de winterperiode tot minder natschade leiden, en in de zomerperiode tot minder droogteschade. De aanvoer van water moet dan wel gewaarborgd zijn.

Toepassingen in de landbouwpraktijk

In Oostelijk Flevoland zijn percelen begin 60-jaren gedraineerd. In die tijd was drainage relatief duur en werden percelen op grote diepte gedraineerd met grote afstanden tussen drains. Volgens de huidige drainagecriteria (Huinink, 1988) zou dan ook ondieper gedraineerd kunnen worden, waarbij een hogere draindichtheid wordt gehanteerd. Voordeel van ondieper en intensiever draineren is ook dat de vochtverdeling in het perceel uniformer zal zijn. Ook als geen water wordt aangevoerd is het opzetten van slootpeilen gedurende het groeiseizoen gemiddeld genomen gunstig. In dit geval wordt meer water in de bodem vastgehouden, maar vindt er nauwelijks infiltratie plaats. De gemiddelde waterstand in de sloot is daarvoor te laag. Infiltratie treedt wel op als water wordt aangevoerd en drains meer dan 15 cm onder water staan. Om de grondwaterstand door infiltratie ook midden tussen de drains te kunnen verhogen is een vrij hoge draindichtheid (< 30 m) nodig. Een mogelijkheid zou zijn om in het zandpakket drains boven en tussen de bestaande drainreeks te leggen.

Voor het infiltreren van water in kleipercelen is een zeer hoge draindichtheid noodzakelijk. Daarnaast blijft het onduidelijk of het onder water zetten van drains niet tot een geringere doorlatendheid van de grond rond de drain zal leiden.

Toepassingsmogelijkheden voor het waterschap

Door het opzetten van de peilen in de maanden mei t/m augustus en bij wateraanvoer is de waterdiepte in deze periode in de sloten groter. Uit waterkwaliteits- en ecologisch oogpunt is dat gunstig. Daar staat tegenover dat er gebiedsvreemd water wordt aangevoerd. De kwaliteit hiervan kan beter of slechter zijn dan van het gebiedseigen water.

Het opzetten van de peilen in de genoemde maanden heeft geen noemenswaardig effect op de piekafvoeren omdat die ontstaan als de grondwaterstand tot in het maaiveld stijgen. Dat is overwegend in de winter het geval. Ook het verlagen van de buisdrainageweerstand om de infiltratie te vergemakkelijken heeft tot gevolg dat de grondwaterstand minder frequent tot in het maaiveld stijgt. De echt hoge piekafvoeren worden daardoor iets minder frequent, hetgeen ook op het oog met klimaatsveranderingen gunstig is.

Inhoudsopgave

pagina

| | |
|--|----|
| VOORWOORD | 3 |
| SAMENVATTING..... | 5 |
| 1 INLEIDING | 9 |
| 1.1 Aanleiding | 9 |
| 1.2 Leeswijzer..... | 9 |
| 2 SAMENVATTING LITERATUUR | 11 |
| 2.1 Peilopzetten | 11 |
| 2.1.1 Zand..... | 11 |
| 2.1.2 Veen..... | 14 |
| 2.1.3 Klei..... | 15 |
| 2.2 Drains onder water | 16 |
| 2.3 Conclusies en discussie | 17 |
| 3 MATERIAAL EN METHODE | 19 |
| 3.1 Beschrijving bodemprofiel en hydrologie..... | 19 |
| 3.1.1 Bodemprofiel..... | 19 |
| 3.1.2 Hydrologie | 20 |
| 3.2 Modelinvoer | 20 |
| 3.2.1 Bodem..... | 20 |
| 3.2.2 Hydrologie | 20 |
| 3.2.3 Gewas | 21 |
| 3.2.4 Weer..... | 21 |
| 3.3 Scenario's..... | 22 |
| 3.3.1 Methode van beregenen..... | 22 |
| 3.3.2 Berekeningen | 22 |
| 4 RESULTATEN | 23 |
| 4.1 Klei-op-zandprofiel..... | 23 |
| 4.1.1 Droge-stofopbrengsten van aardappel..... | 23 |
| 4.1.2 Verloop slootpeil en grondwaterstand bij peilverhoging | 24 |
| 4.1.3 Drainage, infiltratie, beregenen en wateraanvoer | 27 |
| 4.2 Kleiprofiel..... | 31 |
| 4.2.1 Droge-stofopbrengsten van aardappel..... | 31 |
| 4.2.2 Verloop slootpeil en grondwaterstand in groeiseizoen..... | 33 |
| 4.2.3 Drainage, infiltratie en beregenen..... | 35 |
| 5 DISCUSSIE | 39 |
| 5.1 Uitkomsten berekeningen | 39 |
| 5.1.1 Opbrengstberekeningen | 39 |
| 5.1.2 Beregenen | 39 |
| 5.1.3 Vergelijking met de HELP-2005-tabel..... | 40 |
| 5.1.4 Piekafvoeren | 41 |
| 5.1.5 Efficiency van wateraanvoer..... | 42 |
| 5.2 Perspectieven van peil opzetten..... | 42 |
| 5.2.1 Drains onder water | 42 |
| 5.2.2 Benodigde afstand tussen drains voor infiltratie..... | 42 |
| 5.2.3 Waterbeheer | 43 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.2.4 | Overige consequenties van peilopzetten | 43 |
| 5.2.5 | Tot slot | 44 |
| 6 | CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN | 45 |
| 6.1 | Conclusies | 45 |
| 6.2 | Aanbevelingen | 45 |
| | REFERENTIES..... | 47 |
| | BIJLAGE 1: OPBRENGSTEN VAN CONSUMPTIEAARDAPPEL OP EEN KLEI-OP-ZANDPROFIEL..... | 49 |
| | BIJLAGE 2 VERLOOP GRONDWATERSTAND BIJ PEILVERHOGING ZONDER BEREGENEN BIJ HET KLEI-OP-ZANDPROFIEL | 50 |
| | BIJLAGE 3: VERLOOP GRONDWATERSTAND BIJ PEILVERHOGING MET BEREGENEN BIJ HET KLEI-OP-ZANDPROFIEL | 51 |
| | BIJLAGE 4: GRONDWATERSTANDSVERLOOP IN DE JAREN 1974-1980 BIJ HET KLEI-OP-ZANDPROFIEL | 52 |
| | BIJLAGE 5: DAGELIJKSE WATERFLUXEN (MM D ⁻¹) IN EN UIT HET PERCEEL ZONDER BEREGENEN BIJ HET KLEI-OP-ZANDPROFIEL | 53 |
| | BIJLAGE 6: OPBRENGSTEN VAN CONSUMPTIEAARDAPPEL OP HET KLEIPROFIEL..... | 54 |
| | BIJLAGE 7 VERLOOP GRONDWATERSTAND BIJ PEILVERHOGING ZONDER BEREGENEN BIJ HET KLEIPROFIEL | 55 |
| | BIJLAGE 8: VERLOOP GRONDWATERSTAND BIJ PEILVERHOGING MET BEREGENEN BIJ HET KLEIPROFIEL | 56 |
| | BIJLAGE 9: GRONDWATERSTANDSVERLOOP IN DE JAREN 1974-1980 BIJ HET KLEIPROFIEL | 57 |
| | BIJLAGE 10: DAGELIJKSE WATERFLUXEN (MM D ⁻¹) IN EN UIT HET PERCEEL ZONDER BEREGENEN BIJ HET KLEIPROFIEL | 58 |

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Door een akkerbouwer in Oostelijk Flevoland is de vraag gesteld of door het opzetten van slootwaterpeilen gedurende het groeiseizoen de grondwatervoorraad zodanig wordt aangevuld dat er minder droogteschade ontstaat en dus minder hoeft te worden beregend. Minder beregenen scheelt veel tijd en energie. Daarnaast heeft hij het vermoeden dat door het beregenen van een aantal van zijn collega-akkerbouwers de grondwaterstand onder niet beregende percelen daalt, waardoor ook deze percelen droogtegevoeliger worden. Hierdoor ontstaat een vicieuze cirkel van steeds meer beregenen. Ook de provincie Flevoland en het waterschap Zuiderzeeland spelen met de gedachte om slootpeilen gedurende het zomerseizoen op te zetten. Ook zij zien dit als een methode om droogte te bestrijden. Bovendien is peilverhoging gunstig voor het slootecosysteem.

Het opzetten van waterpeilen ten behoeve van de landbouw is alleen zinvol als een snelle en sterke reactie van de grondwaterstand optreedt. De reactie is sterk afhankelijk van de verzadigde doorlatendheid van de ondiepe ondergrond en de sloot/drainafstand. Waterconserveringsprojecten waarbij buisdrainage wordt gebruikt om te infiltreren zijn of worden met succes uitgevoerd op droogtegevoelige zandgrond (zie Hfst 2). Door het plaatsen van stuwen en het opzetten van slootpeilen infiltreert water via drains in percelen. In droge zomers hoeft dan aanmerkelijk minder beregend te worden, is de veronderstelling. Een dergelijk subirrigatiesysteem is in het verleden ook in het oostelijk deel van de Noordoostpolder aangelegd. Het betreft hier echter ook zeer goed doorlatende zandgronden.

Op zavel- en kleigronden is het aanvullen van de grondwatervoorraad door infiltratie veel lastiger, gezien de veel geringere doorlatendheid van de ondiepe ondergrond. De situatie bij bovengenoemde akkerbouwer is echter veelbelovend. Op zijn bedrijf komt een kleipakket van 110 cm voor op zand. De drains liggen in het zandpakket. Dit betekent dat bij het onder water zetten van drains, infiltratie van water in het perceel op zal treden. Het is de vraag of dit daadwerkelijk tot een betere vochtvoorziening van het gewas leidt, zonder dat de kans op natschade toeneemt.

In kleigebieden, zeker voor klei-op-zand, is weinig onderzoek gedaan naar de gevolgen van het opzetten van slootwaterpeilen op de grondwaterstand. Over de werking van drains onder water is er wel redelijk veel literatuur voorhanden (Stuyt, 1998a,b), maar het ontbreekt aan modelberekeningen en veldstudies om bovengenoemde vraag adequaat te kunnen beantwoorden. Daarom hebben wij gekozen voor een modelmatige benadering, waarvan de resultaten worden gecommuniceerd met de desbetreffende agrariër en Waterschap Zuiderzeeland.

Vragen die wij willen beantwoorden zijn:

- Werken drains onder water nog goed?
- Kan de grondwaterstand voldoende snel en sterk gestuurd worden door verhoging van het oppervlaktewaterpeil?
- In hoeverre vermindert de beregeningsbehoefte?
- In hoeverre is er kans op natschade?
- Zijn er aanpassingen aan drainagesystemen (diepte en intensiteit) nodig?

1.2 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt de literatuur besproken over de invloed van peilopzetten op met name droogtebestrijding in de landbouw en op de gevolgen van het onder water zetten van drains op de werking hiervan. In Hoofdstuk 3 wordt ingegaan op het gebruikte simulatiemodel en invoerparameters; in Hoofdstuk

4 worden de resultaten gepresenteerd. Het rapport wordt afgesloten met discussie (Hfst 5) en conclusies (Hfst 6). In het eindrapport zullen de bevindingen van de bijeenkomst met waterschap en agrariërs meegenomen worden.

2 Samenvatting literatuur

2.1 Peilopzetten

Er zijn diverse redenen om slootpeilen op te zetten. De belangrijkste redenen zijn:

- piekberging van neerslagoverschotten;
- het tegengaan van bodemdaling in veengebieden;
- het verhogen van de grondwaterstand ten behoeve van de Ecologische Hoofdstructuur (EHS);
- terugdringen van zoute kwel in de kustgebieden;
- waterkwaliteitsbeheer;
- droogtebestrijding in de landbouw.

Bij peilopzetten kan onderscheid gemaakt worden tussen structurele 'jaarrond' vernatting en flexibel peilopzetten. Langs de EHS is het de bedoeling om jaarrond te vernattingen. Dit brengt zowel een verhoging van de GLG (gemiddelde laagste grondwaterstand) als GHG (gemiddelde hoogste grondwaterstand) met zich mee. Nadeel van jaarrond peilopzetten is dat het waterbergend vermogen van de bodem en de lengte van het teeltseizoen af kunnen nemen.

Bij flexibel peilbeheer wordt het peil tijdelijk opgezet om neerslagoverschotten vast te houden. Het vasthouden van neerslagoverschotten kan als doel hebben om elders wateroverlast te voorkomen (piekberging) of om droogte te bestrijden (waterconservering). In het laatste geval wordt alleen gestreefd naar een hogere GLG.

Bij droogtebestrijding (waterconservering) kan onderscheid gemaakt worden tussen peilopzetten met en zonder wateraanvoer. In het eerste geval wordt alleen het lokale neerslagoverschot vastgehouden. In het tweede geval kan in wateraanvoergebieden het slootwaterpeil gedurende het gehele groeiseizoen constant gehouden worden. Overzichtsartikelen over dit onderwerp zijn o.a. van Van Bakel (2003) en Vlotman en Jansen (2003).

In dit hoofdstuk concentreren wij ons op de gevolgen voor peilverhoging voor de landbouw, met name op de effecten van peilopzetten voor droogtebestrijding, waarbij natschade zoveel mogelijk voorkomen moet worden. Omdat de effecten van peilopzetten erg afhankelijk zijn van de grondsoort, wordt in het navolgende de effecten hiervan per grondsoort behandeld.

2.1.1 Zand

Om het agrarisch watergebruik te verminderen, met name het beregenen uit grondwater, zijn de laatste jaren verschillende waterconserveringsprojecten van start gegaan op zand.

Watermanagement in het Benelux Middengebied/Waterconservering 2^e Generatie

Een bekend project is het project Watermanagement in het Benelux Middengebied opgevolgd door het project Waterconservering 2^e Generatie (De Louw et al., 2001; Snepvanger et al., 2004). Door de aanleg van stuwtjes, het opzetten van waterpeilen en eventueel aanpassen van drainagesystemen wordt gedurende het groeiseizoen de grondwatervoorraad aangevuld. Voor deelnemers heeft waterconservering het voordeel dat minder beregend hoeft te worden.

In het project Watermanagement in het Benelux Middengebied heeft TNO slootproeven uitgevoerd om het effect van peilveranderingen op de grondwaterstand op verschillende afstanden van de sloot te kunnen onderzoeken (Tabel 2.1). Op de locaties Leende werden de grootste effecten gemeten. Zelfs op 80 meter afstand van de sloot werd nog een effect van 23 centimeter gemeten bij een peilverhoging van 40 cm. Ook

op Vredepeel werd op 80 meter afstand van de sloot nog een effect waargenomen. Beide locaties kenmerken zich door een dik freatisch pakket met een redelijk goede doorlatendheid. Op de locaties Spoordonk, Sprundel en Oud-Turnhout is juist sprake van een dun (1- 2,5 meter) en matig doorlatend freatisch pakket, dat bestaat uit dekzand. In Sprundel wordt helemaal geen effect gemeten. Daar is de deklaag zo dun, dat de sloot grotendeels door de onderliggende kleilaag snijdt. Ook verloopt de stijging van de grondwaterstand in de tijd traag. In gebieden zonder wateraanvoer vallen de sloten 's zomers droog, waardoor de grondwaterstand sterk daalt.

Tabel 2.1. De gemiddelde gemeten effecten (in cm) op de grondwaterstand na vijf dagen bij een peilverhoging van 40 cm. Weergegeven voor de verschillende slootproeflocaties en op verschillende afstanden van de sloot. Overgenomen van De Louw, 2001.

| Locatie | afstand vanaf de sloot (m) | | | | | |
|--------------|----------------------------|----|----|----|----|----|
| | 1 | 5 | 10 | 15 | 30 | 80 |
| Sprundel | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Oud-Turnhout | 16 | 14 | 8 | 5 | 3 | 0 |
| Overpelt | 23 | 10 | 8 | 6 | 5 | 0 |
| Spoordonk | 34 | 18 | 7 | 4 | 1 | 0 |
| Vredepeel | 37 | 22 | 20 | 15 | 6 | 1 |
| Leende | 37 | 34 | 32 | 31 | 28 | 23 |

Door TNO werd ook de invloed van peilverhoging op de aanvulling van de grondwatervoorraad doorgerekend voor niet gedraineerde percelen. Het vastgehouden water komt hierbij vooral ten goede aan het diepe grondwater (70%), maar een beperkt deel wordt gebruikt voor extra gewasverdamping (30%). In niet gedraineerde percelen is het effect van slootpeilverhoging voor de landbouw dus gering, en blijft beperkt tot de eerste 30 m vanaf de sloot.

In het project waterconservering 2^e generatie wordt meer in detail ingegaan op percelen in wateraanvoergebieden (Bos et al., 2004; Snepvanger et al., 2004). In gebieden met wateraanvoer kan tot 3x zoveel water extra beschikbaar komen voor verdamping en grondwateraanvulling als zonder wateraanvoer (Bos et al., 2004). De beste resultaten worden verkregen als infiltratie van water in percelen via drains (subirrigatie) plaatsvindt. Dit kan echter alleen op (zeer) goed doorlatende grond. In percelen met subirrigatie was beregenen in de droge zomer van 2003 niet nodig. Wel wordt gesteld dat fine-tuning door beregenen voor ondiep wortelende gewassen vaak nog wel nodig is, omdat in droge zomers de bovenste bodemlaag niet van voldoende vocht wordt voorzien.

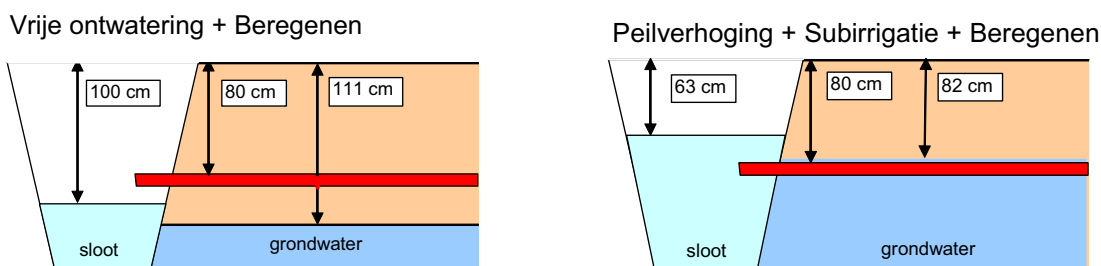
Uit modelberekeningen blijkt verder dat in gebieden waar geen water aangevoerd kan worden, alleen substantiële grondwaterstandverhoging optreedt door het waterpeil jaarrond te verhogen. De effecten op beregenen werden niet gemeten, wel lijken deze relatief gering te zijn omdat zonder wateraanvoer de grondwaterstand 's zomers toch sterk kan dalen.

Onderzoek slootpeilverhoging Vredepeel

In opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit is door Alterra en Praktijkonderzoek Plant en Omgeving gezamenlijk het project "Gevolgen Waterhuishouding op N- en P-emissies uitgevoerd. Het onderzoek werd uitgevoerd binnen het kader van programma 398-II: 'Mest en Mineralen – Emissies van stikstof en fosfaat uit landbouwgronden naar het milieu' (Clevering et al., 2006b; Sival et al., 2006; De Vos et al., 2006).

Het onderzoek is tussen 2000 -2004 op twee locaties (Vredepeel en Veulen) op leemarm fijn zandgrond uitgevoerd. Op beide locaties is het proefveld op een diepte van 85 cm gedraineerd, conform de droogleggingscriteria zoals opgesteld door Huinink (1988). De proefvelden zijn opgesplitst in een laag en hoog peil. Gedurende het groeiseizoen wordt bij het lage peil het slootpeil onder de eindbuis van de drains gehouden (vrije afwatering); bij het hoge peil wordt het slootpeil boven de eindbuis van de drains gehouden (subirrigatie). Het slootpeil wordt zoveel mogelijk constant gehouden door aanvoer van water uit resp. het Peelkanaal en Lollebeek. Om na te gaan in hoeverre peilverhoging van invloed is op de

nutriëntenbeschikbaarheid van het gewas zijn verschillende bemestingsvarianten aangelegd. Op beide locaties is in principe beregend volgens goede landbouwpraktijk.



Figuur 2.1. Vrije ontwatering (laag peil) en peilverhoging en subirrigatie (hoog peil) werden vergeleken. De gemiddelde drooglegging en grondwaterstanden gedurende het groeiseizoen en de draindiepte (cm –mv) zijn weergegeven. NB: In 2003 was de grondwaterstand te Veulen 30 cm lager dan in andere jaren. In dat jaar kon niet voldoende water aangevoerd worden.

Op Vredepeel zijn achtereenvolgens snijmaïs, suikerbiet, stamslabonen, aardappelen en snijmaïs geteeld; op Veulen aardappelen, conservenerwten, waspeen, en 2x snijmaïs. Bij het lage peil is in 4 van de 10 experimenten beregend; bij het hoge peil slechts 1x. Cumulatief over alle gewassen is bij het lage peil 230 mm beregend; bij het hoge peil 80 mm. Door Alterra zijn in het teeltseizoen 2004-2005 debietproportionele metingen aan drains verricht (Sival, e.a. 2006). In dit seizoen is bij het lage peil 170 mm uit het perceel gestroomd; bij het hoge peil is 250 mm geïnfilteerd.

In onderstaande tabel is een samenvatting gegeven van resultaten van 7 stikstofproeven, waarbij gewassen niet en volgens advies bemest werden. Bij stikstofbemesting volgens advies heeft peilverhoging geen duidelijk effect op de opbrengst en productkwaliteit, zonder N-bemesting is de opbrengst gemiddeld genomen 12% lager bij het hoge peil. Bij adviesbemesting wordt bij het hoge peil een lagere N-onttrekking, maar een hogere P-onttrekking gevonden. Hieruit kan geconcludeerd worden dat peilverhoging tot een lagere N-beschikbaarheid maar een hogere P-beschikbaarheid leidt. Peilverhoging heeft ook geleid tot een sterke afname in de hoeveelheid minerale bodem-N (Nmin) die direct na de oogst en aan het begin van het uitspoelingsseizoen wordt teruggevonden.

Tabel 2.2. Gemiddelde relatieve waarden (%) van de verschillende variabelen. De waarden bij het lage peil bemest zijn op 100% gesteld. De resultaten zijn afkomstig van 7 proeven (2000 t/m 2004) op twee proefvelden.

| Variabelen | laag peil | | hoog peil | |
|-----------------------|-----------|--------|-----------|--------|
| | onbemest | bemest | onbemest | bemest |
| Gewas | | | | |
| Versgewicht | 78 | 100 | 61 | 99 |
| Drooggewicht | 77 | 100 | 63 | 100 |
| N-gehalte | 76 | 100 | 71 | 97 |
| N-onttrekking | 58 | 100 | 48 | 97 |
| P-gehalte | 105 | 100 | 108 | 101 |
| P-onttrekking | 81 | 100 | 72 | 101 |
| Bodem | | | | |
| Nmin_oogst (0-90 cm) | 35 | 100 | 35 | 63 |
| Nmin_najaar (0-90 cm) | 67 | 100 | 42 | 60 |

Bij het hoge peil heeft het gewas bij stikstofbemesting volgens advies gemiddeld genomen 6 kg N ha^{-1} minder, maar $0,5 \text{ kg P ha}^{-1}$ meer onttrokken. Er wordt daarbij ook 7 kg ha^{-1} minder N, evenredig verdeeld over de verschillende bodemlagen van 30-cm teruggevonden. Bij het achterwege laten van N-bemesting wordt ca. 20 kg N ha^{-1} minder teruggevonden. Het gewas onttrekt 16 kg N ha^{-1} minder aan de bodem; en er blijft 4 kg N ha^{-1} minder in de bodem achter. Het is onduidelijk waarom bij het hoge peil minder N teruggevonden wordt. Denitrificatie wordt op Vredepeel als niet belangrijk beschouwd. Mogelijk treedt er bij peilverhoging minder mineralisatie op. De hogere beschikbaarheid van het weinig mobiele P kan alleen

verklaard worden uit een gemiddeld genomen betere vochtvoorziening bij het hoge peil. Geconcludeerd werd dat peilverhoging in combinatie met subirrigatie op beide proeflocaties tot substantiële aanvulling van het grondwater leidt. Er hoeft minder beregend te worden, maar de N-beschikbaarheid voor akkerbouwgewassen neemt wel af.

2.1.2 Veen

Gebruik van het veenweidegebied voor agrarische productie gaat gepaard met bodemdaling. De mate van bodemdaling hangt samen met de drooglegging (het hoogteverschil tussen maaiveld en slootwaterpeil). Door Rienks et al. (2004) is onderzoek uitgevoerd naar de snelheid van maaiveldddaling in het veenweidegebied. 95% van de bodemdaling vindt in het zomerhalfjaar plaats. Hoe hoger de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) hoe natter de bodem in de zomer en hoe beperkter de maaiveldddaling. In veengronden zonder kleidek heeft een peilstrategie van het gehele jaar 90 cm drooglegging een gemiddelde maaiveldddaling van 18 mm per jaar tot gevolg. Bij een zomerpeilverhoging van 90 naar 60 cm neemt de maaiveldddaling af tot 10 mm. De aanwezigheid van een kleidek en kwel of wegzijging kan de snelheid van maaiveldddaling beïnvloeden. Momenteel worden verschillende experimenten en modelberekeningen met peilverhoging op veen uitgevoerd.

Veldexperiment Fean – Wetter –Buorkje

Op vijf melkveebedrijven in het Friese veenweidegebied werd tussen 2002 – 2004 het zomerpeil verhoogd van 90 naar 60 cm –mv (Hoekstra et al., 2005). Het water werd met een stuw op peil gehouden. De meeste percelen waren niet gedraineerd. De verhoging van het slootpeil had een gemiddelde verhoging van ca. 15 – 20 cm van de grondwaterstand tot gevolg. In zeer droge zomers zakke de grondwaterstand echter diep weg. Hoe vroeger in het seizoen het peil opgezet werd des te beter kan het water in de bodem vastgehouden worden. Na hevige regenval bereikte de draagkracht van de bodem kritische waarden, met name op veengronden zonder kleidek. Dit gaf echter in geen van de gevallen problemen voor de bedrijfsvoering. Het verhogen van het slootpeil gaf slechts een lichte verbetering wat betreft de grasopbrengst en grassamenstelling.

Modelberekeningen Zegveld en Oud-Kamerik

In het peilgebied Zegveld – Oud Kamerik werd modelmatig (met behulp van Waterpas-BBPR) de gevolgen van het jaarrond verhogen van het slootpeil van 60 naar 40 cm –mv berekend (De Vos et al. 2004). De graslandgebruiksmogelijkheden blijken sterk bepaald te worden door de draagkracht van de bovengrond voor vee en machines. De invloed van het waterpeil op de grasproductie was gering, wel wordt de graskwaliteit negatief beïnvloed. Effecten op de nutriëntenbeschikbaarheid werden niet gemodelleerd. Er werd een gemiddelde infiltratie vanuit het oppervlaktewater gevonden van 140 mm/jaar. Dit komt redelijk overeen met infiltratie-experimenten te Zegveld waarbij tot 200 mm/jaar geïnfilteerd wordt (zie hier onder). Er werd een vermindering van het bedrijfsresultaat van 220 euro/ha gevonden.

Onderwaterdrains op Praktijkcentrum Zegveld

Nadeel van alleen slootwaterpeil verhogen in de zomer is dat door de grote infiltratieweerstand er nauwelijks slootwater in percelen infiltreert. Een groot nadeel van hoge slootpeilen daarbij is dat bij een neerslagoverschot of een neerslagpiek de waterafvoer uit de veenbodem sterk vertraagd wordt, met onvoldoende draagkracht van de graszode. In het najaar van 2003 is op Zegveld een proef begonnen met onderwaterdrains (Hoving et al. 2004). Het doel is zakking van veengrond te verminderen, zonder dat dit tot natschade leidt. Er worden twee soorten drains met elkaar vergeleken: vaste drains en moldrains. De moldrains werken nauwelijks. Door infiltratie van water via de vaste drains was de laagste grondwaterstand ca. 10 tot 15 cm hoger. De verwachting is dat daardoor de maaiveldddaling met jaarlijks 4 tot 6 mm afneemt.

Flexibel peilbeheer in veenweidegebied met agrarische functie in beheersgebied Rijnland

In het kader van het waterbeheersplan 2000-2004 hebben waterbeheerders die werkzaam zijn binnen het beheersgebied van Rijnland studies gestart om de relatie in beeld te brengen tussen peilbeheer enerzijds en waterkwaliteit of drooglegging anderzijds (Van Hardeveld et al., 2004). Er zijn twee varianten doorgerekend. Eén variant waarbij het slootpeil vrij kan fluctueren tussen bepaalde bandbreedtes en één variant waarbij getracht wordt de grondwaterstand zoveel mogelijk op één niveau te houden.

Bij de eerste situatie wordt de hoeveelheid ingelaten en uitgemalen water sterk gereduceerd, ook verbeterd in het algemeen de waterkwaliteit. De verbetering is het sterkst als drainage in de zomer en herfst wordt beperkt; wel kunnen nutriëntconcentraties in het grondwater toenemen. Bij flexibel peilbeheer neemt de natschade toe ten opzichte van de huidige situatie. Dit kan voorkomen worden door het peil in het voorjaar op een vast laag peil ten handhaven. Voor het vertragen van bodemdaling kan flexibel peilbeheer beperkt worden angewend. Als het peil helemaal vrij gelaten wordt, zal de grondwaterstand in het voorjaar hoog zijn. De bodemdaling wordt dan enigszins beperkt. In de zomer zakt de grondwaterstand echter relatief ver uit. Ten opzichte van het huidige peilbeheer gaat de bodemdaling juist sneller. Worden bij flexibel peilbeheer te ruime marges aangehouden dan kan de bergingsruimte in de winter en in het voorjaar een knelpunt vormen.

Peilbeheer waarbij het slootpeil afhankelijk is van de grondwaterstand resulteert in grote hoeveelheden ingelaten en uitgemalen water. Tevens is er veel drainage bij een dergelijke variant, om deze redenen wordt het effect van grondwater gestuurd peilbeheer op de waterkwaliteit als negatief beoordeeld. Vanwege de slechte doorlatendheid van de veenbodem kan niet worden voorkomen dat de grondwaterstand in de winter hoger komt te liggen dan vanuit agrarisch oogpunt wenselijk is. Gedurende het groeiseizoen zijn er nauwelijks effecten waarneembaar. Deze variant is gunstiger om bodemdaling te verminderen. Hierbij wordt getracht uitzakking van de grondwaterstand in de zomer te beperken door een hoog slootpeil te kiezen. Omdat de grondwaterstand niet volledig valt te beïnvloeden met het slootpeil, zal dit maar ten dele lukken. Bij deze variant zijn geen problemen met de bergingsruimte te verwachten.

2.1.3 Klei

Polder de Noordplas

In de polder de Noordplas gelegen bij Hazerswoude Dorp is de afgelopen jaren onderzoek gedaan naar het opzetten van slootpeilen om kwel in watergangen te onderdrukken (De Louw et al., 2003). In deze polder komt zowel akkerbouw als veehouderij voor. Akkerbouw vindt vooral plaats op zavelgrond met ca. 25% afslibbaarheid. De drains liggen gemiddeld genomen op 1,50 – mv met een afstand van 10 m. Het jaarrond opzetten van slootpeilen met 50 cm of het 50 cm ondieper leggen van drains resulteerde in een grondwaterstijging van ca. 25 cm in de winter en ca. 45 cm in de zomer. De natschade werd met behulp van de HELP-tabellen berekend op ca. 502 euro/per jaar bij jaarrond vernatten en ca. 368 euro/jaar bij alleen zomerpeilverhoging. Natschade kan bijna volledig voorkomen worden als een tweekeer hogere draindichtheid wordt gehanteerd (Dik et al., 2004). Bij ondieper draineren dan 1 m –mv worden de grenzen bereikt aan hetgeen nog met aanpassingen aan het drainagesysteem bereikt kan worden. Bij het opzetten van het peil verloopt de reactie van de grondwaterstand trager naarmate de afstand tot de sloot toeneemt. Deze trage reactie hangt samen met de slechte doorlatendheid van de grond. Bij alleen het verhogen van slootpeilen gedurende de zomerperiode kan de aanvulling van de grondwatervoorraad dus te traag verlopen om hiervan substantiële droogtebestrijding te verwachten. Een ander discussiepunt is het gebruik van de HELP-tabellen voor het berekenen van nat- en droogteschade bij aanpassingen aan buisdrainage. De HELP-tabellen zijn gebaseerd op een natuurlijk verloop van de grondwaterstand, het is dan ook de vraag in hoeverre de HELP-tabellen bruikbaar zijn als specifieke aanpassingen aan de ontwateringsmiddelen plaatsvinden.

Peilopzetten in de Hoeksche Waard

Door de Neut (1994) is door middel van simulatieberekeningen nagegaan wat de gevolgen van jaarrond peilverhoging van 30, 60 en 90 cm zijn op de productie van suikerbieten en consumptieaardappel in de Hoeksche Waard. De reden om peilen te verhogen is het verbeteren van de kwaliteit van het slootwater: hoe

groter de waterdiepte des te beter de kwaliteit.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een kalkrijke poldervaaggrond, bij een gemiddelde drooglegging van 1.75 m. Peilverhoging tot 60 cm resulteerde in 1% hogere natschade. Deze geringe natschade hangt samen met de relatief grote drooglegging; en het onder verhang aanleggen van de drainbuizen, waardoor alleen de eindbuizen onder water komen te staan. Een peilverhoging van 90 gaf wel een aanzienlijke toename in de natschade. Op deze grond werd slechts een geringe veeljarige droogteschade berekend van 3% voor aardappelen en 1% voor suikerbieten. Peilverhoging had dan ook gemiddelde genomen weinig effect op de afname van de droogteschade. In uitzonderlijk droge jaren was er echter wel een aanzienlijk effect van peilverhoging te zien. Uit infiltratieproeven blijkt dat niet of nauwelijks infiltratie optreedt bij het onder water zetten van drains. Het opzetten van peilen na de voorjaarswerkzaamheden lijkt op klei weinig zin te hebben.

2.2 Drains onder water

Bij peilverhoging kunnen drains gedurende kortere of langere tijd onder water te staan (BOW-Werkgroep Drainage, 1997; Stuyt 1998a,b). Het langdurig onder water staan van drains kan een nadelige invloed hebben op de mechanische en de hydraulische eigenschappen van de grond nabij de drains. De structuur van de grond kan verslechteren (verslumping) en er kan biologische verstopping optreden. Door Stuyt (1998ab) werd een brainstormsessie georganiseerd en een literatuuronderzoek verricht naar ervaringen met het onder water zetten van drains (Tabel 2.3).

Tabel 23. Ervaringen met het onder water zetten van drains (Samenvatting uit Stuyt, 1998ab).

| Project | Grondsoort | Verstopping in drain | Type omhulling of bedekking | Afname van doorlatendheid grond rond de drain |
|---------------------------------------|--|-----------------------|-----------------------------------|---|
| Infiltratie bloembollen | duinzand | ja | kokos | nee |
| Bodemprofiel Nieuw-Beerta | zware klei | | | ja |
| Onderzoek U.S. Salinity Lab | verschillend | | | ja (door org. stof) |
| De waternoodramp van 1953 | zavel/klei | nee | | nee |
| Subinfiltratie Noordoostpolder | grofzandig | nee | heide en stro of turfmolm | ja (bij turfmolm) |
| Proefveld P103 te Ens (NO-polder) | zand/zavel | | turfmolm | ja |
| Infiltratie proefveld 'Vredepeel' | fijn zand | ja | turfmolm of grind | onduidelijk |
| Doorlatendheid sleuven O-Flevoland | zware zavel | | vulling zware zavel | ja |
| -Sleuven Kavel R18 | | | bedekking heide | |
| -Sleuven Kavel B70 | | | | |
| -Drains Kavel G25 | | | glasvlies – turfmolm | |
| Drains onder water in Drenthe | zand en veen | nee | | nee |
| Onderzoek poreuze subinfiltratiepijp | | | | |
| Doorlatendheid sleuven Lauwersmeer | middelfijn kleiarm zand | | | ja |
| Infiltratie via drains in kassen | | nee | | nee |
| Infiltratieproefveld 'de Groeve' | veengrond en moerige grond | ja | polystyreenkorrels in draka-folie | nee |
| Subinfiltratie op veengrond, Engeland | veen op vrij zware grond | | grind | ijzerverstoppingen |
| Drainage/infiltratiesysteem USA | lemig en goeddoorlatend iets zwaardere grond | nee | | nee |
| | | | | ja |
| Infiltratie NW Oostelijk Flevoland | vrij licht | nee | turfmol | ja (ijzerneerslag) |
| Buisdrainage komgrond Tielerswaard | zeer zwaar | | | nee |
| Onderzoek drainsleuven D.C.G. | vrij grofzandig zavel | | kokos | nee |
| | | | | onduidelijk |
| Infiltratie-praktijkproef Kapelle | | ja (verticaal filter) | | |

| | | | | |
|---|---|-------------|---|--------------------|
| Drainage/infiltratie Valtermond | | onduidelijk | verschillend | onduidelijk |
| Subinfiltratie pindas USA | | nee | | nee |
| Vochtleverantie subinfiltratie Georgia | zandig | nee | | nee |
| Proeven subinfiltratie Quebec | | ja | polyester kous | nee |
| Proeven 'Staverense Noordermeer' | drechtvaaggrond met ijzerrijk en zoute kwel | onduidelijk | polystyreenkorrels in net het beste; kokos het slechtst | nee |
| Proefgebied 'de Veenkampen' | veen- en vaaggronden | nee | kokos? | nee |
| Proeven subinfiltratie New York | | | | onduidelijk |
| Proeven subinfiltratie British Columbia | lichte klei | | | ja |
| Proeven subinfiltratie Cambridge (UK) | veen met klei en leem | | | ja (ijzerneerslag) |
| Subinfiltratie North Carolina (USA) | | | | ja |
| Waterschap 'De Drie Ambachten' | zand en lichte zavel | nee | kokos | nee |
| Diepveenweidegebied Oud-Kamerik | veen | nee | | nee |
| Rundveeproefbedrijf 'Cranendonk' | zand | nee | | nee |

Door Stuyt (1998a,b) werden de navolgende conclusies getrokken:

1. Het permanent onder water staan van drains op stabiele zandgronden heeft in principe geen nadelige uitwerking op de doorlatendheid van de grond rondom drains.
2. Het permanent onder water staan van drains op zware kleigronden hoeft geen nadelige uitwerking op de doorlatendheid van de grond rondom de drains te hebben. Staan de drains niet langer dan enkele maanden achtereen onderwater dan lijkt het risico gering. Worden de drains jarenlang permanent onder water gezet dan is een grote doorlatendheid op de lange termijn echter niet vanzelfsprekend.
3. Het permanent onder water staan van drains op slempgevoelige gronden heeft in het verleden minder vaak tot problemen met de doorlatendheid geleid dan algemeen werd verondersteld. Als er sprake is van verslechtering van de doorlatendheid, kan dat ook worden veroorzaakt doordat de grond rondom de drain tijdens het onderlopen van de drainage nog niet gestabiliseerd was. Ook kan neerslag van zwevende substanties uit het infiltrerende water in de grond een rol spelen. Afvalstoffen van micro-organismen kunnen een nadelige invloed hebben op de doorlatendheid van grond rondom de drains die, in mechanische zin, goed gestabiliseerd is.
4. Het onder water lopen van drainage brengt minder risico's met zich mee dan algemeen wordt aangenomen.

2.3 Conclusies en discussie

Slootpeilen kunnen op verschillende manieren en tijdstippen opgezet worden. De gevolgen van peilopzetten voor de landbouw zijn sterk afhankelijk van de grondsoort en de mogelijkheid om water aan te voeren. De mate waarin droogte- of natschade ontstaat, wordt grotendeels bepaald door de huidige drooglegging. In veel kleigebieden is de drooglegging groter dan de optimale drooglegging zoals aangegeven in het Cultuurtechnisch Vademecum. Dit betekent dat het peil vaak nog minstens ca. 30 cm opgezet kan worden, alvorens jaarrond peilopzetten tot natschade leidt. Dit zal ook het geval zijn in Oostelijk Flevoland. Voor kleigrond (> 35% lutum) wordt een optimale draandiepte van 120 cm –mv gegeven. De percelen in Oostelijk Flevoland zijn percelen zijn echter gedraineerd op een diepte van 150-170 cm –mv; bij een slootdiepte van 180 cm.

Waarom niet jaarrond peilopzetten?

De desbetreffende akkerbouwer is geen voorstander van het jaarrond peilopzetten. Hij geeft aan dat hij dan in het voor- en najaar minder snel het land op kan. Vanuit het oogpunt van waterbeheer (WB21) is het ook de vraag of jaarrond peilopzetten wenselijk is. Dit vermindert het waterbergend vermogen van de bodem, waardoor bij neerslagoverschotten minder water in de bodem vastgehouden kan worden. Om wateroverlast te voorkomen is dan meer berging in het watersysteem of op het maaiveld nodig. Door Berssekaar et al. (2004) wordt deze problematiek van water vasthouden – of bergen voor Flevoland beschreven.

Is alleen het verhogen van het zomerpeil mogelijk?

Voor droogtebestrijding in de landbouw is het verhogen van alleen het zomerpeil zinvol als ook daadwerkelijk infiltratie van water in percelen plaatsvindt. Dit kan alleen in goeddoorlatende gronden: de grondwaterstand reageert dan snel genoeg op veranderingen in slootpeil. Op kleigrond reageert de grondwaterstand trager omdat de doorlatendheid van klei minder is, tenzij de drainafstand daarop wordt aangepast. Ook is de kans dat bij min of meer permanent onder water zetten van de drains de krimp- en rijpingsscheuren verdwijnen waardoor de doorlatendheid sterk kan afnemen. De situatie in Oostelijk Flevoland is echter interessant: op een bodemdiepte van 1,10 -mv gaat klei over in Pleistoceen zand. De drains liggen in deze Pleistocene zandlaag. In hoeverre in deze situatie peilopzetten mogelijk is, is daarom moeilijk te voorspellen. Modelberekeningen zijn dan ook noodzakelijk om deze vraag te beantwoorden.

Drains onder water

Het periodiek onder water zetten van bestaande drains gelegen in zandgrond hoeft geen problemen op te leveren. Wel moeten verstoppingen worden voorkomen.

3 Materiaal en Methode

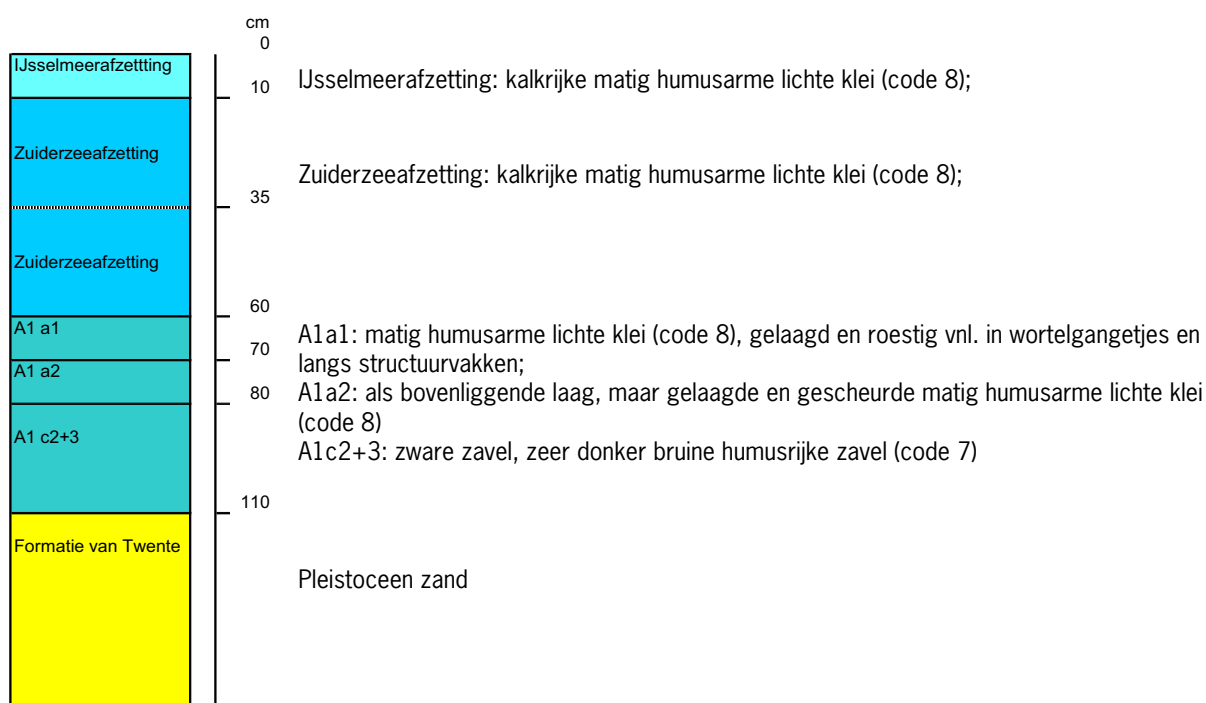
3.1 Beschrijving bodemprofiel en hydrologie

3.1.1 Bodemprofiel

De doorgeredene kavels zijn gelegen in de nabijheid van Dronten. Kavels zijn gelegen op matig zware klei met zand in de ondergrond en hebben een oppervlakte van resp. 34,4 en 22,4 ha.

Het bodemprofiel is in 1959 gekarteerd door de toenmalige Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (RIJP). De opbouw van het bodemprofiel is in Figuur 3.1 gegeven.

Figuur 3.1. Opbouw bodemprofiel (gegevens RIJP, 1970)



Tabel 3.1. Opbouw bodemprofiel, verdeling van de verschillende bodemfracties per horizont (Tabel rechtstreeks overgenomen van de RIJP, 1970).

| cm –mv | afzetting | fractie in droge grond (in μm) | | | | | | |
|--------|------------|--|-------|-----|------|-------|-----|-----|
| | | CaCO ₃ | humus | 0-2 | 2-16 | 16-50 | <50 | >50 |
| 0-10 | IJsselmeer | 11 | 3 | 17 | 14 | 33 | | 22 |
| 10-35 | Zuiderzee | 11 | 3 | 37 | 22 | 19 | | 8 |
| 35-60 | Zuiderzee | 10 | 3 | 34 | 24 | 22 | | 7 |
| 60-70 | A1 (a1) | 9 | 5 | 30 | 35 | 17 | | 4 |
| 70-80 | A1 (a2) | 10 | 6 | 29 | 36 | 15 | | 4 |
| 80-110 | A1 (c2+3) | 6 | 11 | 19 | 26 | | | |
| >110 | Twente | | 1,5 | | | | | 13 |

3.1.2 Hydrologie

De kavels zijn in 1960 gedraineerd met gebakken kraagbuizen (doorsnede van 8 cm). De onderlinge afstand tussen de drains is 48 m of 32 m. De kavels zijn op een diepte van 170 cm –mv gedraineerd. Het verhang van de drains was bij Domeinen niet meer te achterhalen. Normaliter ligt dit in de orde van grootte van 5 – 10 cm per 100 m. De drains monden uit in kavelsloten van 180 cm diep en een bodembreedte van ca. 100 cm. De afstand tussen de kavelsloten is 350 m. Dit betekent dat drains in het midden van het perceel mogelijk tot 20 cm ondieper liggen. Door het waterschap wordt een drooglegging van 170-200 cm gehanteerd (Droogers & Loeve, 2004). In het gebied komt slechts geringe kwel (0,5 – 1,0 mm dag⁻¹) voor (gegevens Waterschap Zuiderzeeland).

3.2 Modelinvoer

De droge stofopbrengst van consumptieaardappel is gemodelleerd met het agro-hydrologisch model SWAP versie 3.0.6 (Kroes & van Dam, 2003) in combinatie met het gewasgroeimodel WOFOST (van Diepen et al., 1989) voor de periode 1971-2000.

3.2.1 Bodem

Klei-op-zand

In Tabel 3.2 is het bodemprofiel zoals toegepast in SWAP beschreven. Voor het berekenen van de bodemfysische karakteristieken zijn bouwstenen van de Staringreeks gebruikt (Wösten et al., 2001). B10 is representatief voor lichte klei in de bovengrond; O11 voor lichte klei en O3 voor matig lemig, zeer fijn tot matig fijn zand in de ondergrond.

Tabel 3.2. Opbouw bodemprofiel zoals toegepast in SWAP. De korrelgrootteverdeling (behalve voor O3) is afgeleid van Tabel 3.1. Korrelgrootte O3 volgens Wösten et al., 2001.

| laag | diepte | Staringreeks | minerale delen (g/g) | | | org. materiaal (g/g droge grond) |
|------|--------|--------------|----------------------|------|------|-------------------------------------|
| | | | lutum | leem | zand | |
| 1 | 0-10 | B10 | 0,20 | 0,55 | 0,26 | 0,03 |
| 2 | 10-35 | B10 | 0,43 | 0,48 | 0,09 | 0,03 |
| 3 | 35-60 | O11 | 0,39 | 0,53 | 0,08 | 0,03 |
| 4 | 60-70 | O11 | 0,35 | 0,60 | 0,05 | 0,05 |
| 5 | 70-80 | O11 | 0,35 | 0,61 | 0,05 | 0,06 |
| 6 | 80-110 | O11 | 0,42 | 0,58 | 0,00 | 0,11 |
| 7 | > 110 | O3 | 0,00 | 0,25 | 0,75 | 0,01 |

Klei

Voor het kleiprofiel is voor laag 7 dezelfde eigenschappen gekozen als voor laag 6.

3.2.2 Hydrologie

Klei-op-zand

Er is gerekend met een draindiepte van 170 cm –mv en een drainafstand van 40 m. Zowel de drainage- als infiltratieweerstand is gesteld op 150 dagen. Deze waarde is afgeleid uit het bekende criterium van een stationaire afvoer van 7 mm d⁻¹ bij een ontwateringsdiepte op bouwland van 50 cm. Verkennende berekeningen zijn ook uitgevoerd naar de effecten van een drainage/infiltratieweerstand van 75 dagen. Er is gerekend met een slootdiepte van 180 cm –mv, een slootbodem van 1 meter breed en een taludhelling van 0,66 (dh/dw). De afstand tussen kavelsloten is gesteld op 350 meter. De drainage/infiltratieweerstand op 500 dagen. In de referentiesituatie is gerekend met een jaarrond peil (drooglegging) van 175 cm – mv.

Klei

Voor het kleiprofiel is voor de drains een drainage/infiltratieweerstand van 300 dagen aangehouden; de drainage/infiltratieweerstand van de kavelsloten op 1000 dagen. Verkennende berekeningen zijn uitgevoerd naar een drainage/infiltratieweerstand van de drains van 150 dagen.

In beide situaties is gerekend met kwel van 1 mm dag^{-1} .

3.2.3 Gewas

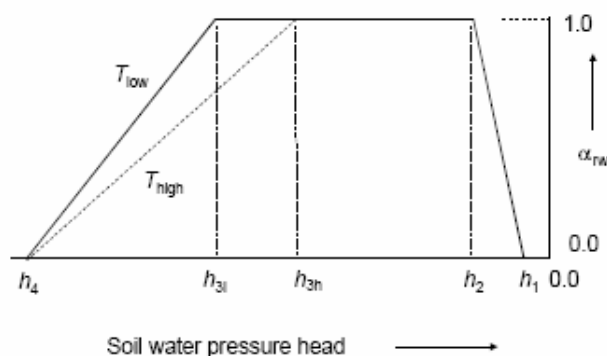
Algemeen

Voor de simulatie van de droge stofopbrengst van late consumptieaardappel is gebruik gemaakt van gewasspecifieke data zoals beschreven door Boons-Prins e.a. (1993) ten behoeve van WOFOST. Bij de modellering is uitgegaan van een vaste opkomstdatum (15 mei). In de SWAP-WOFOST-combinatie wordt geen rekening gehouden met het feit dat aardappel in ruggen wordt geteeld. Er wordt van uitgegaan dat wortels homogeen in het bodemprofiel verdeeld zijn en dat aardappel op lichte kleigrond een effectieve bewortelingsdiepte tot 50 cm heeft (Gegevens PPO).

Waterstress

In de berekeningen wordt ervan uitgegaan dat droogteschade in termen van SWAP optreedt vanaf pF 2.8 ($h_3 = -600 \text{ cm}$) gemeten op een diepte van 25 cm –mv (Figuur 3.2). Hierbij wordt de beregeningshandleiding van PAV (nu PPO) gevolgd (Dekkers, 2000).

In SWAP wordt ervan uitgegaan dat de maximale wateropnamesnelheid door wortels S_p gelijk is aan de potentiële transpiratiesnelheid T_p . Waterstress kan de wateropnamesnelheid van wortels op een bepaalde bodemdiepte $S_p(z)$ reduceren. Voor de beschrijving van waterstress wordt de responsfunctie zoals voorgesteld door Feddes e.a. (1978) gebruikt (Figuur 3.2).



Figuur 3.2. Reductiecoëfficiënt voor wateropname door wortels (α_{rw}) als functie van de drukhoogte (h) en potentiële transpiratiesnelheid (T_p) (naar Feddes e.a., 1978).

Naar aanleiding van eerdere ervaringen met het modelleren van natschade bij brakwater beregenen (Clevering et al., 2006a) is besloten h_2 (drukhoogte bij begin natschade) te verlagen van -25 naar -10 cm en h_1 (drukhoogte bij maximale natschade) van -10 cm naar -5 cm (Figuur 3.2).

3.2.4 Weer

Er is gebruik gemaakt van weersgegevens van het weerstation De Bilt voor de periode 1971-2000. Het meteostation De Bilt valt in hetzelfde metedistrict als de Flevopolders (Werkgroep HELP-tabel, 1987).

3.3 Scenario's

3.3.1 Methode van beregenen

Er is gekozen voor Beregenen op Maat. Dit betekent dat op klei met beregenen begonnen wordt bij pF 2.5 met geadviseerde beregeningsgiften van maximaal 25 mm per dag (Dekkers, 2000). Beregenen kan plaats vinden in de periode 15 juni t/m 31 augustus.

3.3.2 Berekeningen

In de referentiesituatie is uitgegaan van jaarrond drooglegging van 175 cm. Vervolgens is voor een periode van 30 jaar de gevolgen van het opzetten van het slootwaterpeil met 20, 40 en 60 cm gedurende de periode 1 mei t/m 31 augustus doorgerekend, zowel voor een situatie met en zonder beregenen. De berekeningen zijn uitgevoerd met en zonder wateraanvoer. Met wateraanvoer is het mogelijk het slootpeil te handhaven, zonder wateraanvoer worden alleen lokale neerslagoverschotten vastgehouden. Er is gerekend met een maximale aanvoercapaciteit van 1,5 mm dag⁻¹, exclusief aanvoer voor beregenen. De aanvoernorm van het waterschap is 30 mm per week (Waterbeheersplan 2002-2005). Uit verkennende berekeningen blijkt dat een hogere wateraanvoer dan 1,5 mm dag⁻¹ geen invloed heeft op de uitkomsten van onze studie. In de berekeningen mag, conform peilbesluiten, de actuele slootwaterstand maximaal 5 cm afwijken van het streefpeil. In Tabel 3.3 zijn de scenario's samengevat.

Tabel 3.3. Samenvatting van de doorgerekende scenario's.

| slootpeil | peilbeheer wateraanvoer voor peilhandhaving | beregennen | grondsoort | |
|--------------------|---|------------|--------------|------|
| | | | klei-op-zand | klei |
| referentiesituatie | 0 of 1,5 mm d ⁻¹ | ja/nee | x | x |
| + 20 cm | 0 of 1,5 mm d ⁻¹ | ja/nee | x | x |
| + 40 cm | 0 of 1,5 mm d ⁻¹ | ja/nee | x | x |
| + 60 cm | 0 of 1,5 mm d ⁻¹ | ja/nee | x | x |

De volgende variabelen zijn onderzocht:

- Droge stofopbrengst van consumptieaardappel;
- Het verloop van de grondwaterstand en aantal keren dat gedurende de periode van peilverhoging een grondwaterstand van 50 en 30 cm wordt overschreden;
- Beregeningsgiften;
- Infiltratie en drainage van het perceel;
- Benodigde aanvoer van oppervlaktewater.

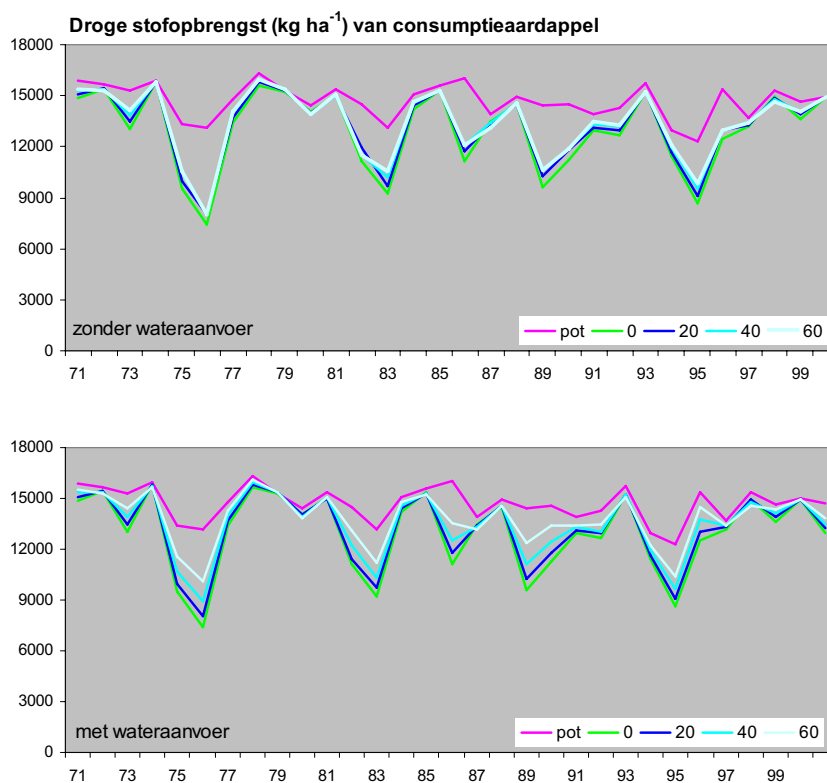
4 Resultaten

4.1 Klei-op-zandprofiel

4.1.1 Droge-stofopbrengsten van aardappel

Zonder beregenen

In Figuur 4.1 zijn de droge-stofopbrengsten van consumptieaardappel voor de afzonderlijke jaren weergegeven. De opbrengsten zijn weergegeven ten opzichte van de potentiële fysieke bruto opbrengsten. Dit zijn de opbrengsten die verkregen worden zonder teelttechnische belemmeringen, en is dus alleen afhankelijk van straling en temperatuur.



Figuur 4.1. Droge-stofopbrengsten (kg ha⁻¹) van consumptieaardappel op klei-op-zand zonder en met wateraanvoer bij een peilverhoging van 0, 20, 40 of 60 cm in de periode 1 mei t/m 31 augustus. Pot= potentiële opbrengst in de periode 1971 t/m 2000. Om tot versgewichten te komen kan uitgegaan worden van een droge stofgehalte van 0,210.

Uit de resultaten blijkt dat zowel zonder als met wateraanvoer de opbrengsten door peilverhoging gemiddeld genomen stijgen (Figuur 4.1). Peilverhogen in opbrengsten zijn aanmerkelijk groter als wel water aangevoerd kan worden. Er is een aantal uitzonderingen: In de jaren 1972, 1974, 1980, 1985, 1987 en 1998 leidt peilverhoging juist tot iets lagere opbrengsten (zie ook Bijlage 1). Dit betekent dat in 'normale' en 'droge' jaren peilverhoging tot verminderde droogteschade leidt, maar in 'natte' jaren tot verhoogde natschade.

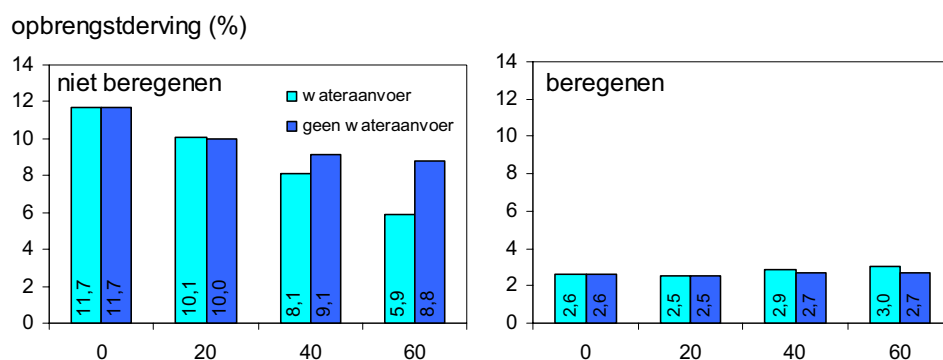
De dertigjarig gemiddelde opbrengstderving is weergegeven in Figuur 4.2. De opbrengstderving in de referentiesituatie (geen peilverhoging) is 11,7%, hiervan is 11,3% droogteschade. De opbrengstderving neemt af naarmate het peil verder wordt opgezet. Als geen water wordt aangevoerd dan neemt de meerwaarde van peilverhoging af naarmate het peil verder wordt opgezet, kan wel water worden aangevoerd dan neemt de meerwaarde van peilverhoging juist toe. Dus naarmate het slootpeil verder wordt opgezet, nemen de verschillen tussen wel en geen wateraanvoer toe. Bij 60 cm peilverhoging met wateraanvoer neemt de opbrengstderving af tot 5.9%, een afname van 50%. Wel neemt het aandeel natschade in de opbrengstderving iets toe.

Verkennd is ook nagegaan in hoeverre een hogere draindichtheid (lagere drainageweerstand) van invloed is op de opbrengsten, het blijkt dat in de referentiesituatie de opbrengstderving iets hoger is (11,9%); maar bij 60 cm peilverhoging met wateraanvoer daalt naar 5,4%.

Beregenen

De opbrengstderving neemt sterk af als kan worden beregend (Figuur 4.2). Bij de referentiesituatie blijft een restschade van 2,6% over, die wordt veroorzaakt door wateroverlast. Natschade kan toenemen als er na een beregeningsgift veel neerslag valt. Deze restschade is volgens onze berekening 22%.

De hoogste opbrengsten met beregenen worden verkregen bij 20 cm peilverhoging. Bij hogere slootpeilen neemt de kans op natschade toe, hetgeen vooral het geval is als water wordt aangevoerd. De opbrengsten van de afzonderlijke jaren zijn gegeven in Bijlage 1.



Figuur 4.2. Gemiddelde opbrengstderving (%) t.o.v. de potentiële opbrengst van consumptieaardappel op een klei-op-zand profiel bij peilverhoging van 0, 20, 40 en 60 cm in de periode 1 mei t/m 31 augustus zonder en met wateraanvoer en wel en geen beregenen in de periode 1971 t/m 2000.

4.1.2 Verloop slootpeil en grondwaterstand bij peilverhoging

Veeljarig gemiddeld slootpeil en grondwaterstand

Het veeljarig gemiddelde slootpeil en grondwaterstand zijn in Tabel 4.1 gegeven, het seizoensverloop van beide gedurende de periode van peilverhoging in Figuur 4.3. Het verloop van de grondwaterstand gedurende de gehele periode 1971 t/m 2000 in Bijlage 2 & 3.

Bij 20 cm peilverhoging kan het streefpeil ook zonder wateraanvoer gehandhaafd blijven (Tabel 4.1). Naarmate het peil verder wordt opgezet, nemen de verschillen in slootpeil tussen wel en geen wateraanvoer toe. Ook beregenen heeft invloed op het slootpeil, waardoor verschillen tussen wel en geen wateraanvoer kleiner worden.

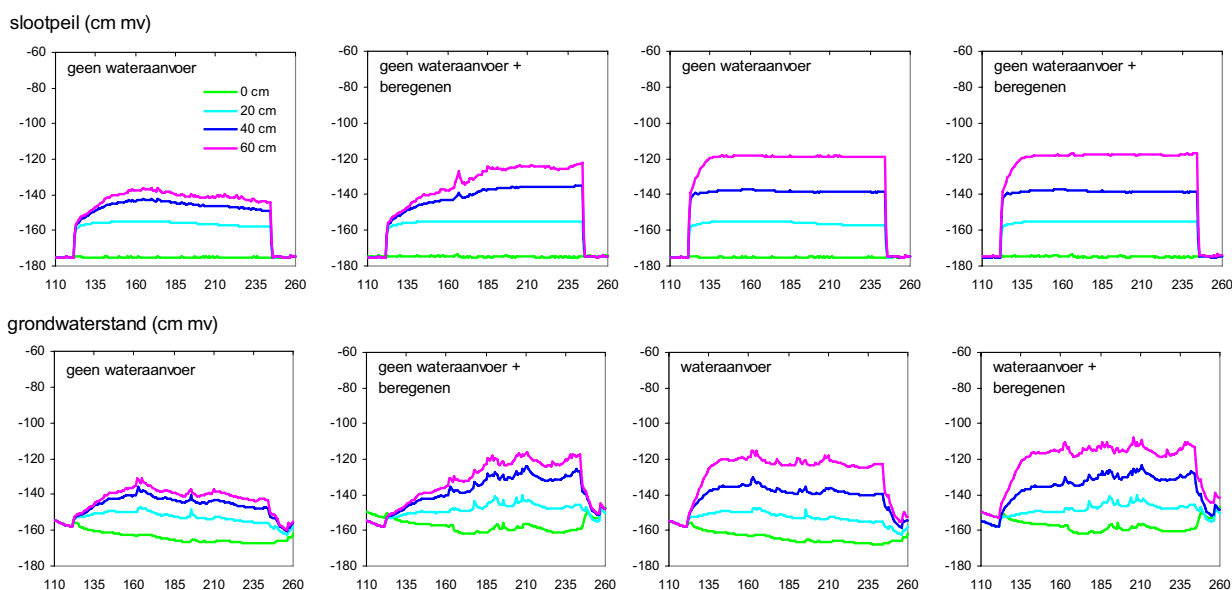
De gemiddelde grondwaterstand is in de periode van peilopzetten zowel bij géén als 20 cm peilverhoging hoger dan het slootpeil. Bij 40 en 60 cm peilverhoging volgt de grondwaterstand het slootpeil, wel worden verschillen tussen wel en geen wateraanvoer groter naarmate het peil verder wordt opgezet. Logischerwijs

beïnvloedt beregenen ook de grondwaterstand. Bij 60 cm peilverhoging wordt de grondwaterstand met 10 cm verhoogd. Hieruit blijkt dat lang niet alle beregeningswater direct beschikbaar komt voor het gewas (zie ook 4.1.3).

Tabel 4.1. Dertigjarig gemiddelde slootpeil en grondwaterstand (cm –mv) bij peilverhoging (0, 20, 40 en 60 cm) zonder en met wateraanvoer en beregenen bij een klei-op-zandprofiel in de periode 1 mei t/m 31 augustus. NB het slootpeil mag 5 cm afwijken van het streefpeil.

| | slootpeil | | | | grondwaterstand | | | |
|-----------------------|-----------|-----|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----|
| | 0 | 20 | 40 | 60 | 0 | 20 | 40 | 60 |
| niet beregenen | | | | | | | | |
| geen wateraanvoer | 175 | 156 | 146 | 142 | 164 | 152 | 144 | 141 |
| wateraanvoer | 175 | 156 | 138 | 120 | 164 | 152 | 138 | 124 |
| beregenen | | | | | | | | |
| geen wateraanvoer | 175 | 155 | 141 | 132 | 158 | 148 | 136 | 130 |
| wateraanvoer | 175 | 155 | 138 | 119 | 158 | 148 | 133 | 117 |

Als naar het seizoensverloop van het slootpeil wordt gekeken dan valt het piekje in slootpeil op voor de situatie dat geen water wordt aangevoerd, maar wel wordt beregend (Figuur 4.3). Dit piekje valt samen met het startpunt van beregenen op 15 juli (dagnummer 166). In droge jaren wordt dan een aantal dagen achter elkaar beregend totdat de bodem op 25 cm diepte op veldcapaciteit is. De grondwaterstand reageert traag op peilverhoging wanneer er geen water wordt aangevoerd. Bij wateraanvoer is de grondwaterstand na ca. 20 dagen gestabiliseerd.



Figuur 4.3. Verloop van het dertigjarig gemiddelde slootpeil en grondwaterstand gedurende de periode van peilverhoging (0, 20, 40 en 60 cm) in de periode 1 mei t/m 31 augustus bij wel en geen wateraanvoer en niet en wel beregenen. Op de x-as zijn dagnummers gegeven. Peilverhoging vindt plaats tussen dagnummer 121-243.

Verloop grondwaterstand in afzonderlijke jaren

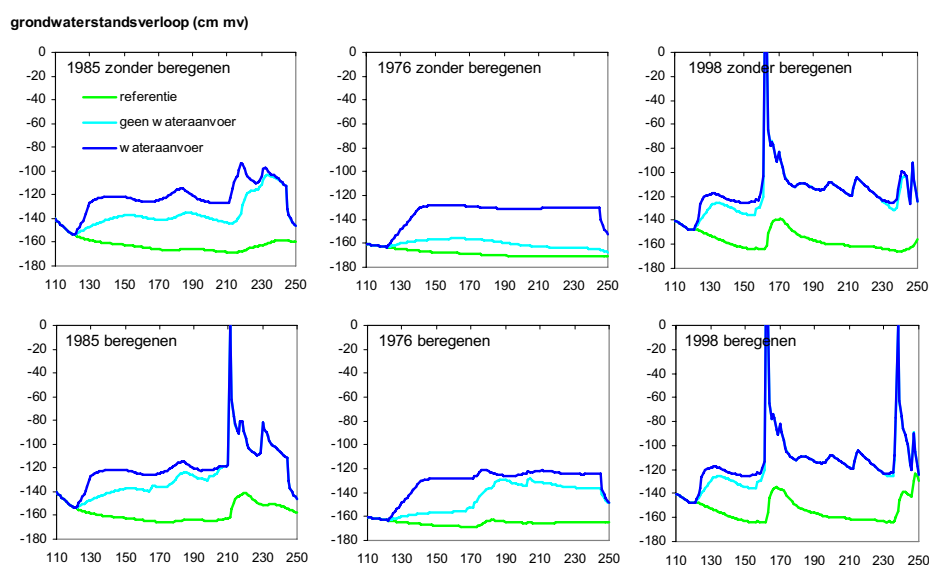
Wateraanvoer heeft logischerwijs het meeste effect in droge jaren (1976); in natte jaren (1998) is het verschil in grondwaterstand gering (Tabel 4.2). In 1998 hoeft dan ook geen water aangevoerd te worden (zie ook Hfst 4.1.3).

Tabel 4.2. De dertigjarig gemiddelde grondwaterstand (cm –mv), de grondwaterstand in 1985 (gemiddeld jaar), 1976 (droog jaar) en 1998 (nat jaar) bij peilverhoging (0, 20, 40 en 60 cm) zonder en met wateraanvoer en niet en wel beregenen bij klei-op-zand in de periode 1 mei t/m 31 augustus.

| | niet beregenen | | | | bereggenen | | | |
|-------------------|----------------|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-----|
| | 0 | 20 | 40 | 60 | 0 | 20 | 40 | 60 |
| 1985 | | | | | | | | |
| geen wateraanvoer | 164 | 150 | 138 | 135 | 158 | 146 | 131 | 124 |
| wateraanvoer | 164 | 150 | 135 | 120 | 159 | 145 | 130 | 110 |
| 1976 | | | | | | | | |
| geen wateraanvoer | 169 | 160 | 160 | 160 | 166 | 154 | 147 | 144 |
| wateraanvoer | 169 | 159 | 146 | 133 | 166 | 154 | 143 | 129 |
| 1998 | | | | | | | | |
| geen wateraanvoer | 157 | 144 | 128 | 116 | 156 | 143 | 126 | 113 |
| wateraanvoer | 157 | 144 | 128 | 113 | 156 | 143 | 127 | 110 |

In Figuur 4.4 is het seizoensverloop van de grondwaterstand voor 3 verschillende weerjaren weergegeven bij de referentiesituatie (geen peilverhoging) en 60 cm peilverhoging. In 1985 is de grondwaterstand na 18 dagen na peilverhoging gestabiliseerd, in het droge jaar 1976 is dit na 28 dagen het geval, en in het natte jaar 1998 na 11 dagen.

In 1985 loopt aan het eind van het groeiseizoen de grondwaterstand sterk op. In combinatie met beregenen resulteert dit in een tijdelijke grondwaterstandverhoging tot aan maaiveld. In het droge jaar 1976 blijft de grondwaterstand op niveau als water aangevoerd kan worden, zonder wateraanvoer neemt de grondwaterstand nauwelijks toe. In dit jaar heeft beregenen grote invloed op de grondwaterstand wanneer geen water wordt aangevoerd. In het natte jaar 1998 heeft wateraanvoer geen invloed op de grondwaterstand. In de eerste helft van het groeiseizoen van dit jaar veroorzaakt peilverhoging een tijdelijke grondwaterstandverhoging tot aan maaiveld, aan het eind van het groeiseizoen treedt dit nogmaals op als beregend wordt.



Figuur 4.4 .Het verloop van de grondwaterstand (cm mv) bij 0 (referentie) en 60 cm peilverhoging in de periode 1 mei t/m 31 augustus) bij wel en geen wateraanvoer en niet en wel beregenen bij een klei-op-zandprofiel. Op de x-as zijn dagnummers weergegeven. Peilverhoging tussen dagnummer 121-243 (1985, 1998) of 122-244 (1976).

Overschrijding kritieke grondwaterstand

Een methode om natschade te bepalen is de SOW-methode, deze methode koppelt de mate van over- of onderschrijding van een bepaalde grondwaterstandsdiepte gedurende een bepaalde periode met als maat de **S**om van de **O**ver(onder)schrijdingen van een **W**aarde (**SOW**). Bij een stijging tot boven de kritieke diepte is de schade afhankelijk van zowel de mate van als de duur van de overschrijding (zie ook van Bakel, 2002; Meeuwse, 2002). In deze studie zijn wij ervan uitgegaan dat consumptieaardappel een effectieve bewortelingsdiepte heeft van 50 cm, met de meeste wortels in de bodemlaag 0-30 cm. Nagegaan is hoe vaak (jaren en dagen per jaar) de grondwaterstand tot in de wortelzone komt (Tabel 4.3). Het blijkt dat dit in de meeste jaren niet het geval is. Echter het aantal jaren en dagen per jaar dat de grondwaterstand tot in de wortelzone komt, neemt sterk toe met oplopend waterpeil. Ook door te beregenen in combinatie met peilverhoging neemt de kans op natschade toe. Bijna alle keren dat de grondwaterstand tot hoger dan 30 cm –mv komt, komt dit tot aan maaiveld. Overigens is sporadisch de duur van overschrijding langer dan 1 dag. Een hogere draindichtheid (Tabel 4.3 wateraanvoer drain) verlaagt de kans op natschade enigszins. Uit de berekeningen blijkt dat het verhogen van de draindichtheid vooral effect heeft op de grondwaterstand in de winterperiode (ongepubliceerde data).

Tabel 4.3. Het aantal jaren (J) en dagen per jaar (D) dat het grondwaterstand in de periode 1 mei t/m 31 augustus tot boven de 50 of 30 cm –mv komt bij peilverhoging van 0, 20, 40 of 60 cm bij wel of geen wateraanvoer en niet en wel beregenen. Bij 60 cm peilverhoging en wateraanvoer is ook de situatie met een 2x hogere draindichtheid (wateraanvoer drain) doorgerekend.

| | niet beregenen | | | | | | | | beregemen | | | | | | | |
|--------------------|----------------|---|----|---|----|------|----|------|-----------|------|----|------|----|------|----|------|
| | 0 | | 20 | | 40 | | 60 | | 0 | | 20 | | 40 | | 60 | |
| | J | D | J | D | J | D | J | D | J | D | J | D | J | D | J | D |
| 50 cm | | | | | | | | | | | | | | | | |
| geen wateraanvoer | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0,07 | 4 | 0,20 | 1 | 0,03 | 4 | 0,20 | 8 | 0,40 | 11 | 0,70 |
| wateraanvoer | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0,10 | 6 | 0,33 | 1 | 0,03 | 4 | 0,20 | 7 | 0,40 | 12 | 0,90 |
| wateraanvoer drain | | | | | | | 5 | 0,27 | | | | | | | | |
| 30 cm | | | | | | | | | | | | | | | | |
| geen wateraanvoer | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0,07 | 4 | 0,33 | 1 | 0,03 | 4 | 0,17 | 6 | 0,30 | 8 | 0,53 |
| wateraanvoer | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0,07 | 6 | 0,33 | 1 | 0,03 | 4 | 0,17 | 6 | 0,30 | 9 | 0,60 |
| wateraanvoer drain | | | | | | | 5 | 0,20 | | | | | | | | |

4.1.3 Drainage, infiltratie, beregenen en wateraanvoer

Ter illustratie is de dagelijkse drainage- of infiltratieflex voor de jaren 1974 t/m 1980 gegeven in Bijlage 5. Uit deze Bijlage kan geconcludeerd worden dat ook in droge jaren voor peilhandhaving slechts een gering aantal dagen de maximale wateraanvoercapaciteit nodig is van 1,5 mm d⁻¹.

In Tabel 4.4 is een samenvatting gegeven van de hoeveelheid water dat gemiddeld genomen in en uit het perceel stroomt evenals van de hoeveelheid beregeningswater. Deze gegevens zijn voor de afzonderlijke jaren in Figuur 4.5 en 4.6 gegeven.

In de referentiesituatie is gemiddeld genomen een beregeningsgift van 134 mm nodig, hierdoor neemt de gewasverdamping met 20 mm toe (data niet gepresenteerd). Door te beregenen stroomt 53 mm meer uit het perceel (Tabel 4.4). Dit betekent dat een aanzienlijk deel (40%) van het beregeningswater voor het gewas verloren gaat.

Het opzetten van het slootpeil vermindert de hoeveelheid uit het perceel stromend water sterk. Het onder water zetten van drains vertraagt dus sterk de ontwatering. Wat verder opvalt, is dat bij alleen peilopzetten er nauwelijks infiltratie van eerder uitgestroomd water (in perioden met neerslagoverschot) plaatsvindt. Peilverhoging zonder wateraanvoer beïnvloedt dus alleen de ontwatering.

Tabel 4.4. Gemiddelde hoeveelheid (mm) drainage (positief), infiltratie en beregenen (negatief) bij 0, 20, 40 en 60 cm peilverhoging, bij wel en geen wateraanvoer en niet en wel beregenen in de periode 1 mei t/m 31 augustus (1971-2000).

| | zonder wateraanvoer | | | | met wateraanvoer | | | |
|-------------------------|---------------------|------|------|------|------------------|------|------|------|
| | 0 | 20 | 40 | 60 | 0 | 20 | 40 | 60 |
| zonder beregenen | | | | | | | | |
| drainage | 87 | 55 | 35 | 28 | 87 | 56 | 39 | 36 |
| infiltratie | | | -1 | -2 | | -1 | -25 | -62 |
| infiltratie + beregenen | | | -1 | -2 | | -2 | -25 | -62 |
| met beregenen | | | | | | | | |
| drainage | 145 | 110 | 77 | 59 | 141 | 110 | 83 | 66 |
| infiltratie | | | -1 | -4 | | -2 | -11 | -37 |
| beregenen | -134 | -126 | -123 | -111 | -132 | -126 | -118 | -99 |
| infiltratie + beregenen | -139 | -121 | -124 | -115 | -132 | -128 | -129 | -136 |

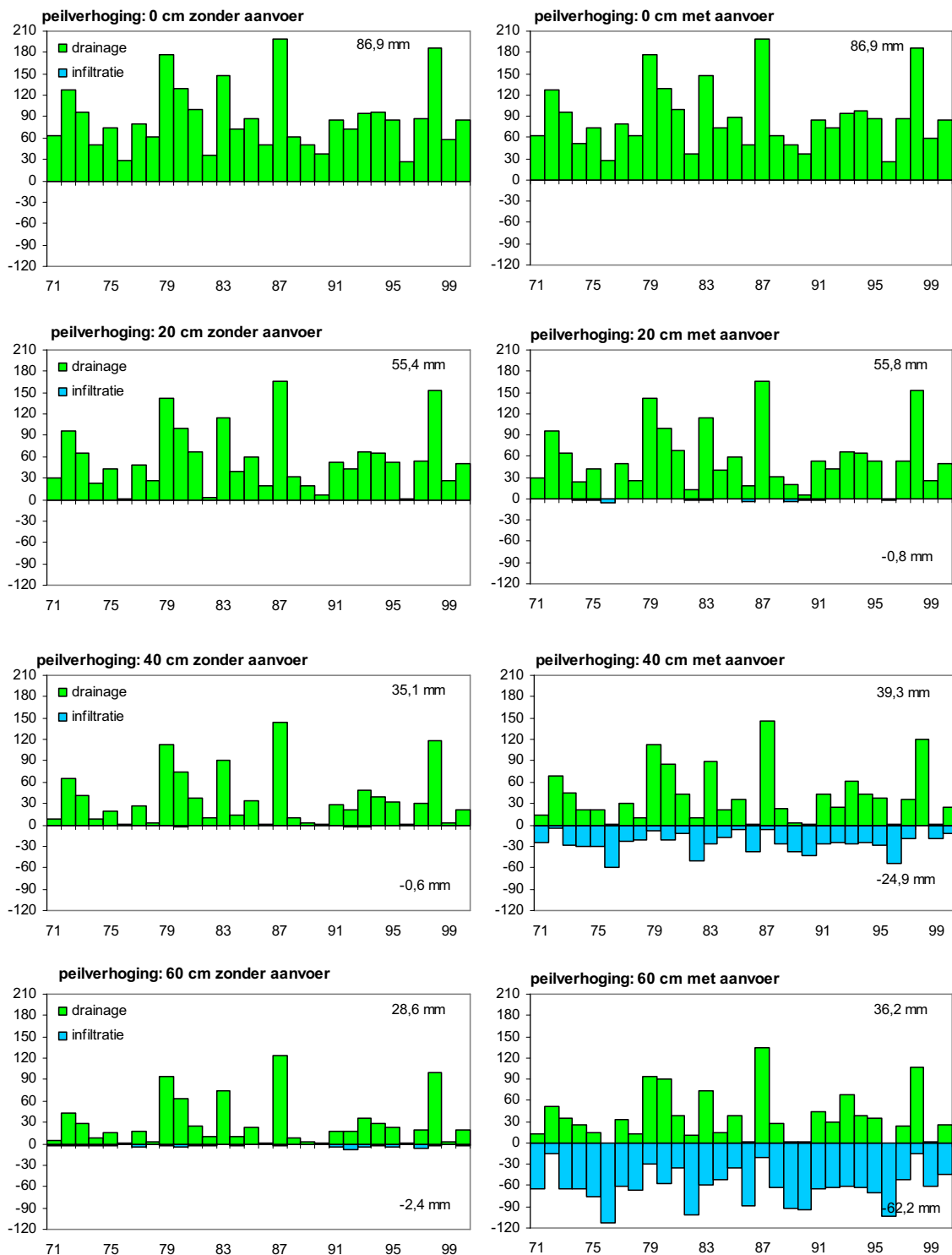
Ontwatering door peilverhoging neemt iets minder sterk af als wel water kan worden aangevoerd. In dit geval neemt de hoeveelheid water dat in het perceel infiltreert sterk toe met toenemend slootpeil. Zonder beregenen is dit resp. 25 en 62 mm, met beregenen 11 en 37 mm bij 40 en 60 cm peilverhoging. Worden er 2x zoveel drains aangelegd dan infiltreert er bij 60 cm peilverhoging 10 mm meer in het perceel.

Bij 60 cm peilverhoging en wateraanvoer neemt de beregeningsgift af van 134 naar 99 mm, een afname van 35 mm. De hoeveelheid in het perceel geïnfilteerd water is daarbij 37 mm. In termen van mm benodigd oppervlaktewater is infiltreren in combinatie met beregenen dus net zo efficiënt als alleen beregenen. Wel is de opbrengst bij alleen beregenen hoger, namelijk 2,6 versus 3,0% opbrengstderving.

Als niet wordt beregend, is de hoeveelheid water die van elders aangevoerd moet worden, resp. 0; 1,2; 26,3 en 52,5 mm bij een peilverhoging van 0, 20, 40 en 60 cm. Als wel beregend wordt, hoeft er weliswaar minder water aangevoerd te worden voor peilhandhaving, resp. 0; 0,5; 12,2 en 30,7 mm, maar zal er aanzienlijk meer water aangevoerd moeten worden voor beregenen.

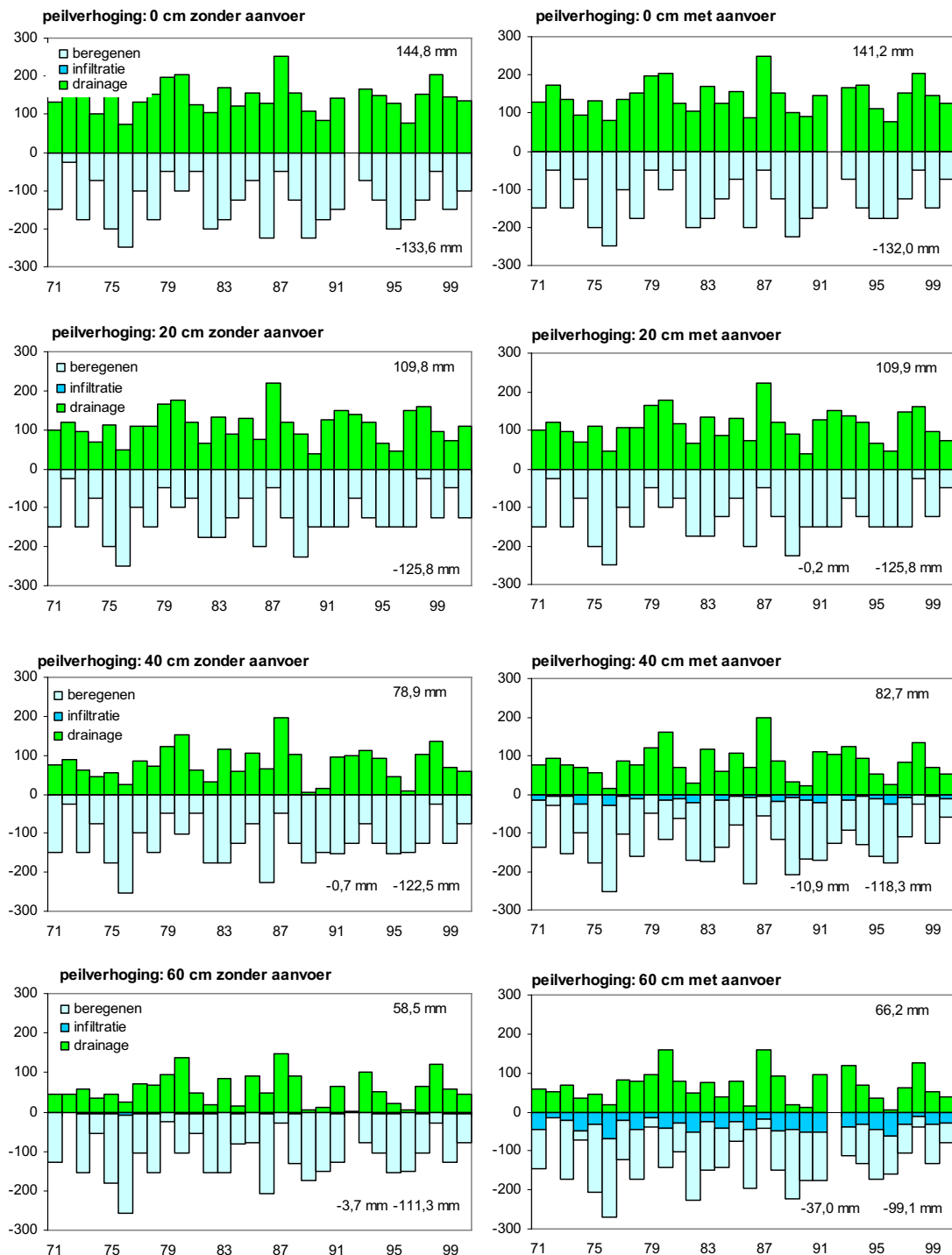
Als alleen naar aardappelpercelen wordt gekeken dan hoeft het waterschap geen extra water aan te voeren bij peilverhoging in combinatie met beregenen in vergelijking met alleen beregenen. Op bouwplanniveau zal naar verwachting wel meer water aangevoerd moeten worden, omdat de meeste gewassen niet of minder beregend worden dan aardappelen.

Zonder beregenen



Figuur 4.5. Drainage uit (positief) en infiltratie (negatief) in het doorgerekende perceel bij een peilverhoging van 0, 20, 40 of 60 cm zonder en met aanvoer van oppervlaktewater gedurende de periode 1 mei t/m 31 augustus (1971 – 2000). In de figuren zijn ook gemiddelden weergegeven (zie Tabel 4.3).

Met beregenen

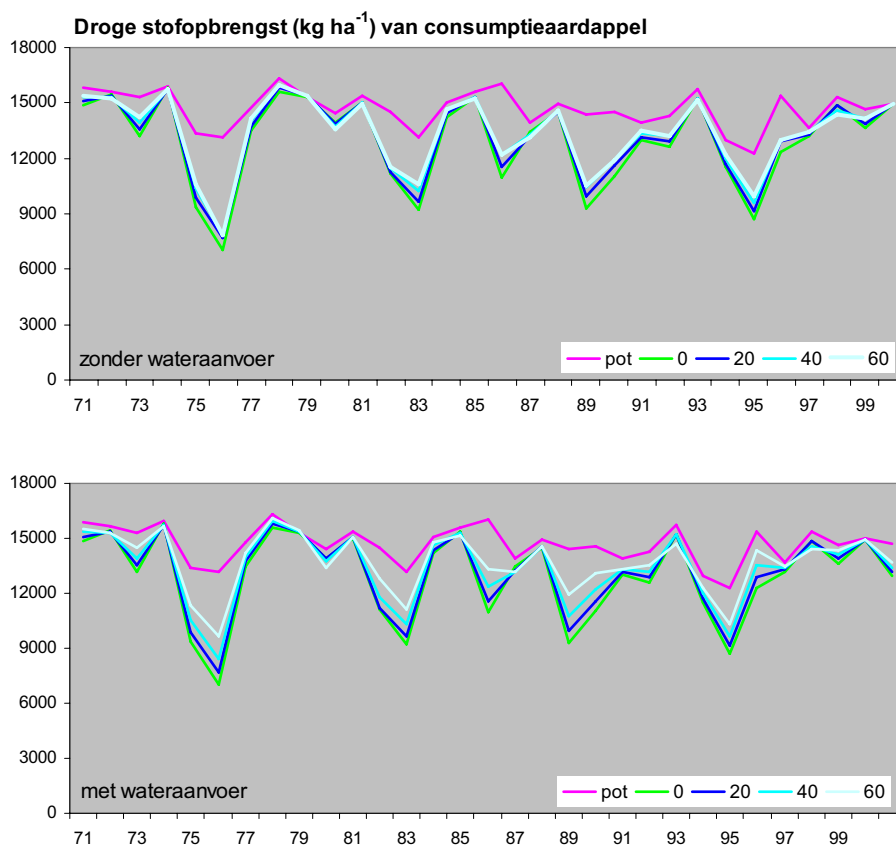


Figuur 4.6. Drainage uit (positief), infiltratie in en beregenen (negatief) van het doorgerekende perceel bij een peilverhoging van 0, 20, 40 of 60 cm zonder en met aanvoer van oppervlaktewater gedurende de periode 1 mei t/m 31 augustus (1971 – 2000). In de figuren zijn ook de gemiddelden weergegeven (zie Tabel 4.3). Voor het jaar 1992 kon de waterbalans niet worden berekend.

4.2 Kleiprofiel

4.2.1 Droge-stofopbrengsten van aardappel

Net zoals voor klei-op-zand zijn droge-stofopbrengsten voor de afzonderlijke jaren weergegeven in Figuur 4.7. In Bijlage 6 zijn de gegevens in tabelvorm gepresenteerd. Als Figuur 4.1 en 4.7 met elkaar worden vergeleken dan blijken er nauwelijks verschillen tussen bodemprofielen aanwezig te zijn.



Figuur 4.7. Droge-stofopbrengsten (kg ha⁻¹) van consumptieaardappel op een kleiprofiel zonder en met wateraanvoer bij peilverhoging van 0, 20, 40 of 60 cm in de periode 1 mei t/m 31 augustus. Pot= potentiële opbrengst in de periode 1971 t/m 2000.

De gemiddelde opbrengstderving zonder en met wateraanvoer en geen en wel beregenen is in Figuur 4.8 gegeven.

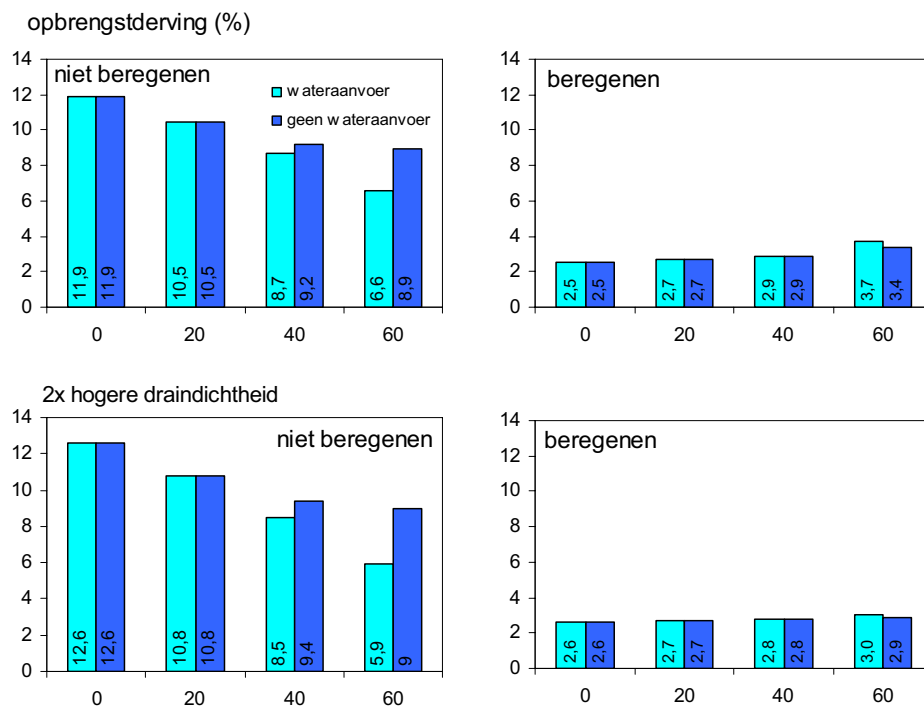
In de referentiesituatie is de opbrengstderving van consumptieaardappel op klei iets hoger dan op klei-op-zand. Het effect van peilverhoging zonder wateraanvoer is nagenoeg vergelijkbaar met het klei-op-zandprofiel. Is er wel wateraanvoer voor peilhandhaving mogelijk dan zijn de verschillen tussen beide profielen veel groter. Het blijkt dat peilverhoging bij het kleiprofiel gemiddeld genomen tot grotere natschade leidt dan bij het klei-op-zandprofiel.

Als beregend kan worden, dan neemt bij de referentie (geen peilverhoging) de restschade af tot 2,5%. De restschade neemt toe naarmate het peil verder wordt opgezet. Bij 60 cm peilverhoging is de restschade duidelijk hoger dan bij het zand op kleiprofiel, 3,7 versus 3,0%.

Ook is onderzocht in hoeverre een hogere draindichtheid de effecten van peilverhoging positief beïnvloedt.

Daarvoor is de drainage/infiltratieweerstand teruggebracht tot 150 dagen. Zie Figuur 4.8 onder. In de referentiesituatie neemt door een (te) sterke ontwatering de droogteschade juist toe. Als geen water wordt aangevoerd dan heeft een verhoging van de draindichtheid een negatief effect op de opbrengst, wordt wel water dan heeft dit juist een positief effect. Dit sluit aan bij de voorgaande conclusie dat bij peilopzetten zonder peilhandhaving alleen de ontwatering van percelen wordt beïnvloed, en infiltratie alleen optreedt als wel wateraanvoer mogelijk is. De hogere draindichtheid zorgt dus voor zowel een sterkere ontwatering als ook voor een hogere infiltratie.

Door de hogere draindichtheid neemt de restschade sterk af, immers door een betere ontwatering treedt er minder natschade op.



Figuur 4.8. Gemiddelde opbrengstderving (%) t.o.v. de potentiële opbrengst van consumptieaardappel op een kleiprofiel zonder en met wateraanvoer en niet en wel beregenen en peilverboging van 0, 20, 40 en 60 gedurende de periode 1 mei t/m 31 augustus bij 2 draindichtheden in de periode 1971 t/m 2000.

4.2.2 Verloop slootpeil en grondwaterstand in groeiseizoen

Veeljarig gemiddeld slootpeil en grondwaterstand

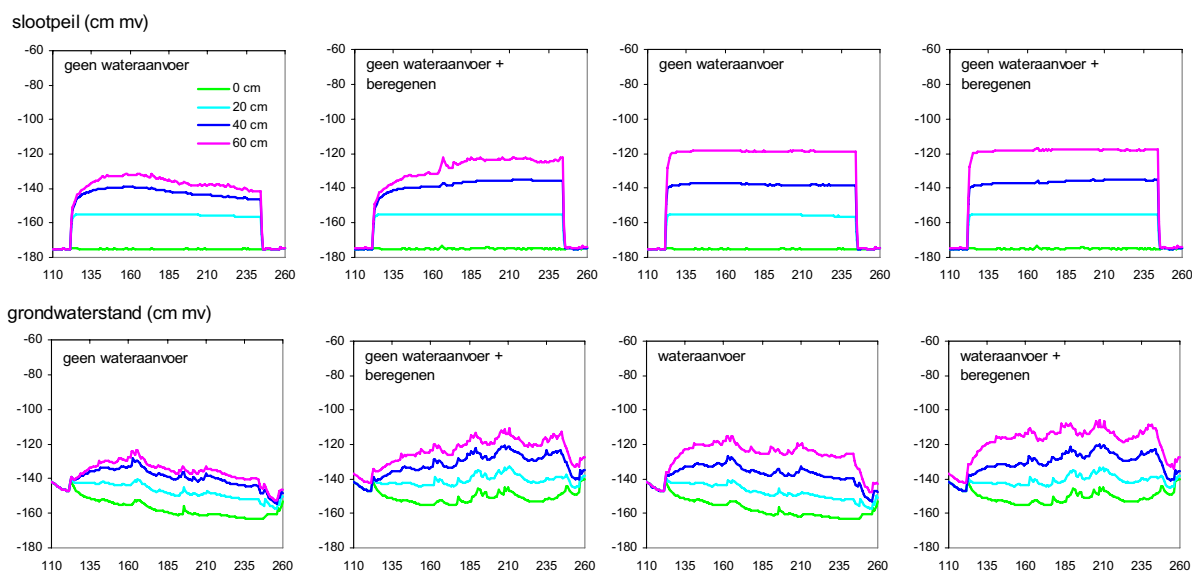
Het veeljarig gemiddelde slootpeil en de grondwaterstand gedurende de periode van peilverhoging is in Tabel 4.5 gegeven, het verloop hiervan in Figuur 4.9. In Bijlage 7 & 8 is het verloop van de grondwaterstand voor de hele periode 1971 t/m 2000 weergegeven.

Tabel 4.5. Het 30-jarig gemiddelde slootpeil en de grondwaterstand (cm –mv) bij peilverhoging (0, 20, 40 en 60 cm) zonder en met wateraanvoer en niet en wel beregenen op klei in de periode 1 mei t/m 31 augustus. NB het slootpeil mag 5 cm afwijken van het ingestelde peil

| peilverhoging | slootpeil | | | | grondwaterstand | | | |
|-----------------------|-----------|-----|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----|
| | 0 | 20 | 40 | 60 | 0 | 20 | 40 | 60 |
| niet beregenen | | | | | | | | |
| geen wateraanvoer | 175 | 155 | 143 | 137 | 157 | 147 | 138 | 134 |
| wateraanvoer | 175 | 155 | 138 | 119 | 157 | 147 | 135 | 124 |
| beregenen | | | | | | | | |
| geen wateraanvoer | 175 | 155 | 138 | 128 | 151 | 141 | 130 | 122 |
| wateraanvoer | 175 | 155 | 136 | 118 | 151 | 141 | 129 | 115 |

Uit vergelijking van Tabel 4.1 en 4.5 blijkt dat bij 0 en 20 cm peilverhoging de grondwaterstand aanmerkelijk hoger is bij het kleiprofiel dan bij het klei-op-zandprofiel. Zonder wateraanvoer blijven deze verschillen ook bij 40 en 60 cm peilverhoging aanwezig. Met wateraanvoer vallen deze verschillen vrijwel volledig weg. Door te beregenen nemen ook hier de slootpeilen bij 40 en 60 cm peilverhoging zonder wateraanvoer toe, en verminderen de verschillen in grondwaterstanden tussen wel en geen wateraanvoer.

Afgezien van de gemiddeld genomen hogere grondwaterstanden dan bij klei-op-zand, zijn er weinig verschillen in het verloop in grondwaterstand waarneembaar tussen bodemprofielen. Het enige dat opvalt, is dat zonder wateraanvoer de grondwaterstand iets sterker lijkt te dalen in de loop van het groeiseizoen dan bij klei-op-zand. Er zijn geen verschillen met klei-op-zand in de snelheid waarmee de grondwaterstand reageert op peilverhoging.



Figuur 4.9. Verloop van het veeljarig gemiddelde slootpeil en grondwaterstand gedurende de periode van peilverhoging (0, 20, 40 en 60 cm) bij wel en geen wateraanvoer en niet en wel beregenen op klei. Op de x-as zijn dagnummers gegeven. Peilverhoging tussen dagnummer 121-243.

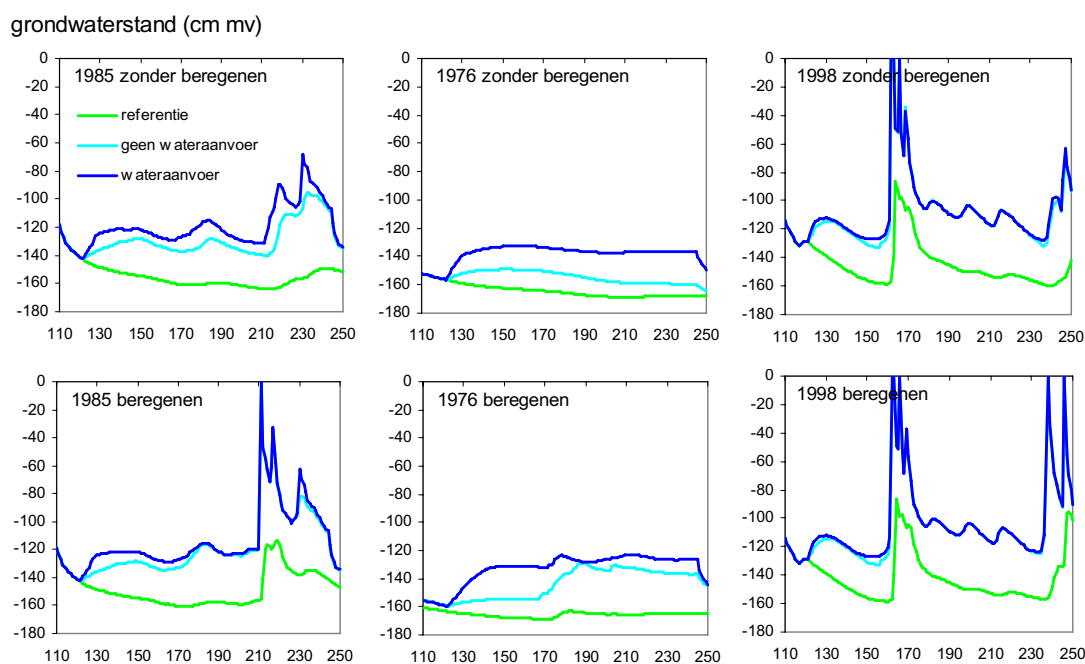
Grondwaterstand in afzonderlijke jaren

In Tabel 4.6 zijn voor de afzonderlijke jaren de gemiddelde grondwaterstanden en in Figuur 4.10 het verloop van de grondwaterstand weergegeven bij de referentiesituatie en 60 cm peilverhoging.

Tabel 4.6. De 30-jarige gemiddelde grondwaterstand (cm -mv), de grondwaterstand in 1985 (gemiddeld jaar), 1976 (droog jaar) en 1998 (nat jaar) voor een kleiprofiel in de periode 1 mei t/m 31 augustus bij peilverhoging (0, 20, 40 en 60 cm) zonder en met wateraanvoer en niet en wel beregenen.

| | niet beregenen | | | | bereggenen | | | |
|-------------------|----------------|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-----|
| | 0 | 20 | 40 | 60 | 0 | 20 | 40 | 60 |
| 1985 | | | | | | | | |
| geen wateraanvoer | 157 | 145 | 132 | 128 | 149 | 137 | 125 | 116 |
| wateraanvoer | 157 | 145 | 132 | 118 | 159 | 137 | 126 | 112 |
| 1976 | | | | | | | | |
| geen wateraanvoer | 165 | 156 | 154 | 154 | 160 | 150 | 143 | 140 |
| wateraanvoer | 165 | 156 | 146 | 136 | 166 | 150 | 141 | 131 |
| 1998 | | | | | | | | |
| geen wateraanvoer | 145 | 135 | 121 | 109 | 144 | 132 | 117 | 106 |
| wateraanvoer | 145 | 135 | 121 | 108 | 156 | 132 | 117 | 105 |

De grondwaterstand reageert niet trager op peilverhoging dan bij klei-op-zand (Vergelijk Figuur 4.3 en 4.10). De grondwaterstand is zowel in natte als droge jaren gemiddeld genomen hoger en reageert heftiger op neerslag dan bij klei-op-zand.



Figuur 4.10. Het verloop van de grondwaterstand (cm mv) bij 0 cm (referentie) en 60 cm peilverhoging in de periode 1 mei t/m 31 augustus bij wel en geen wateraanvoer en niet en wel beregenen. Op de x-as zijn dagnummers weergegeven. Peilverhoging tussen dagnummer 121-243 (1985, 1998) of 122-244 (1976).

Overschrijding kritieke grondwaterstand

Ook voor het kleiprofiel is nagegaan, hoe vaak de kritieke grondwaterstand van 50 en 30 cm -mv wordt overschreden (Tabel 4.7). Het blijkt dat dit op klei veel vaker het geval is dan bij klei-op-zand. Dit geldt zowel voor het aantal jaren als ook voor het gemiddeld aantal dagen per jaar. Net zoals bij klei-op-zand verhoogt beregenen de kans op overschrijding van de kritieke grondwaterstand.

Tabel 4.7. Het aantal jaren (J) en gemiddeld aantal dagen per jaar (D) in de periode 1 mei t/m 31 augustus dat de grondwaterstand tot boven 50 of 30 cm –mv komt bij peilverhoging van 0, 20, 40 en 60 cm bij wel of geen wateraanvoer en niet en wel beregenen in de periode 1971 t/m 2000.

| | niet beregenen | | | | | | | | beregennen | | | | | | | |
|-------------------|----------------|------|----|------|----|------|----|------|------------|------|----|------|----|------|----|------|
| | 0 | | 20 | | 40 | | 60 | | 0 | | 20 | | 40 | | 60 | |
| | J | D | J | D | J | D | J | D | J | D | J | D | J | D | J | D |
| 50 cm | | | | | | | | | | | | | | | | |
| geen wateraanvoer | 0 | 0,00 | 3 | 0,13 | 5 | 0,33 | 5 | 0,63 | 8 | 0,57 | 8 | 0,57 | 9 | 0,97 | 13 | 1,93 |
| wateraanvoer | 3 | 0,13 | 3 | 0,13 | 5 | 0,33 | 7 | 0,60 | 6 | 0,40 | 8 | 0,57 | 10 | 0,97 | 15 | 2,63 |
| 30 cm | | | | | | | | | | | | | | | | |
| geen wateraanvoer | 0 | 0,00 | 3 | 3,00 | 5 | 0,20 | 5 | 0,40 | 7 | 0,40 | 7 | 0,40 | 9 | 0,77 | 12 | 1,23 |
| wateraanvoer | 3 | 0,10 | 3 | 0,10 | 5 | 0,20 | 7 | 0,60 | 6 | 0,33 | 7 | 0,37 | 9 | 0,83 | 14 | 1,53 |

4.2.3 Drainage, infiltratie en beregenen

De dagelijkse drainage- en infiltratiefluxen voor de jaren 1974 t/m 1980 is gegeven in Bijlage 9. In Tabel 4.8 is een samenvatting gegeven van de hoeveelheid water dat gemiddeld genomen in en uit het perceel stroomt in de periode met peilverhoging en de hoeveelheid beregeningswater. Deze gegevens zijn voor de afzonderlijke jaren in Figuur 4.11 en 4.12 gegeven.

Tabel 4.8. Gemiddelde hoeveelheid (mm) drainage (positief), infiltratie en beregenen (negatief) gedurende de periode van peilverhoging (0, 20, 40 en 60 cm peilverhoging), bij wel en geen wateraanvoer en niet en wel beregenen voor de periode 1 mei t/m 31 augustus (1971-2000).

| | zonder wateraanvoer | | | | met wateraanvoer | | | |
|-------------------------|---------------------|------|------|------|------------------|------|------|------|
| | 0 | 20 | 40 | 60 | 0 | 20 | 40 | 60 |
| zonder beregenen | | | | | | | | |
| drainage | 76 | 58 | 37 | 29 | 76 | 58 | 37 | 34 |
| infiltratie | | | | -2 | | -1 | -11 | -44 |
| infiltratie + beregenen | | | | -2 | | -1 | -11 | -44 |
| met beregenen | | | | | | | | |
| drainage | 131 | 108 | 72 | 58 | 131 | 107 | 74 | 63 |
| infiltratie | | | | -3 | | -2 | -3 | -25 |
| beregennen | -129 | -126 | -111 | -107 | -130 | -128 | -112 | -99 |
| infiltratie + beregenen | -129 | -126 | -111 | -110 | -130 | -130 | -115 | -124 |

In de referentiesituatie is de ontwatering van het perceel geringer dan bij het klei-op-zandprofiel (76 versus 87 mm). De gemiddelde beregeningsgift is echter slechts 4 mm lager dan voor het klei-op-zandprofiel. Door te beregenen neemt de ontwatering met 55 mm toe. Deze laatstgenoemde getallen komen overeen met het klei-op-zandprofiel. Ook nu neemt de hoeveelheid drainwater sterk af door het opzetten van het waterpeil. Wel is de hoeveelheid water dat in het perceel infiltreert lager dan bij het klei-op-zandprofiel, resp. 62 en 44 mm bij 60 cm peilverhoging. Deze waarden duiden er ook op dat het kleiprofiel natter blijft, en dus minder water bij peilverhoging infiltreert.

Bij 60 cm peilverhoging neemt de beregeningsgift met 30 mm af, terwijl er 25 mm nodig is voor infiltratie. Net zoals bij het klei-op-zandprofiel is peil opzetten in combinatie met beregenen niet minder efficiënter dan alleen beregenen. Opvallend is dat bij 40 cm peilopzetten de geringste hoeveelheid water (infiltratie + beregenen) aangevoerd hoeft te worden.

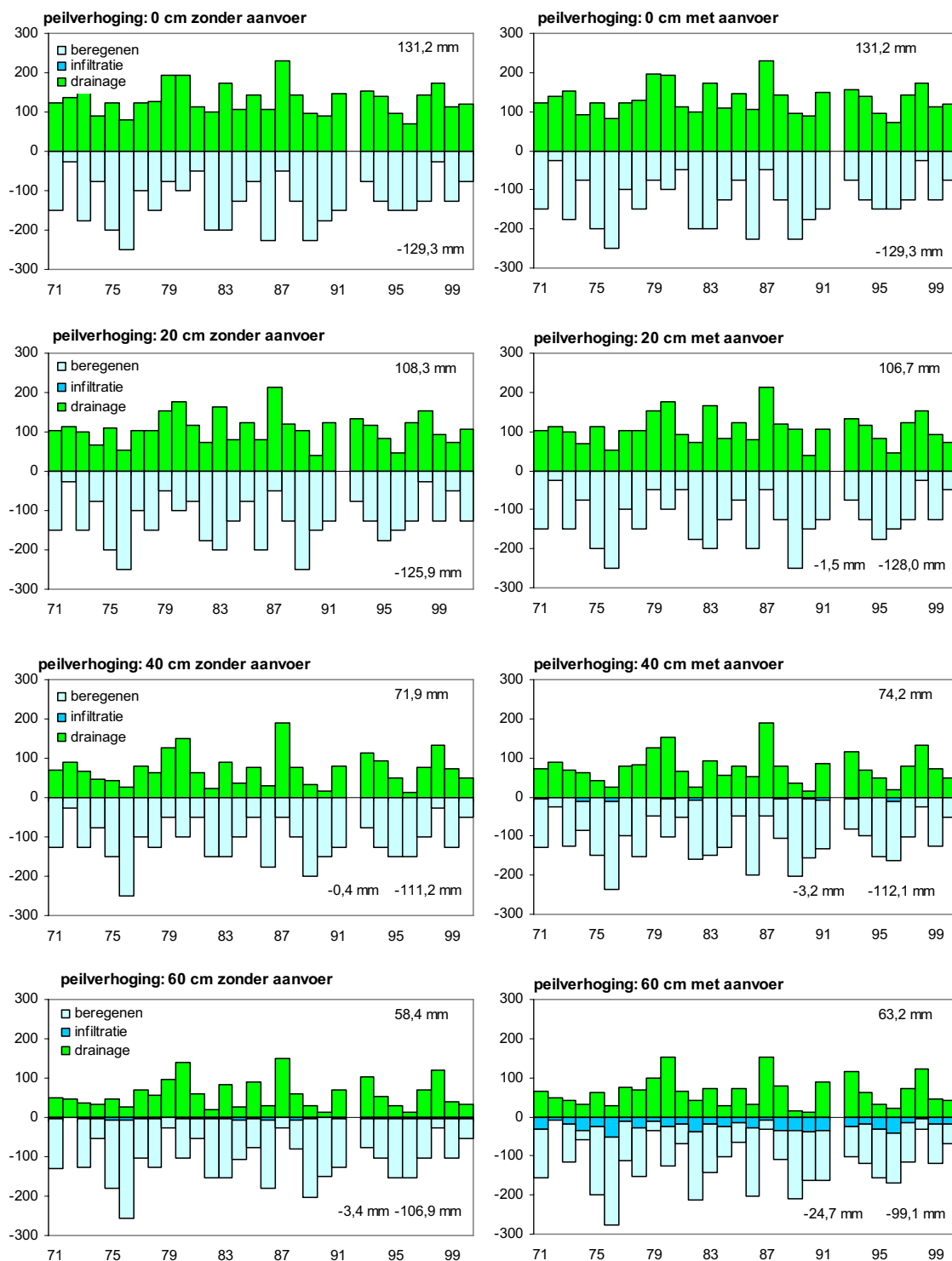
De hoeveelheid water dat van elders voor peilhandhaving aangevoerd dient te worden, komt nagenoeg overeen met de hoeveelheid geïnfiltreerd water, namelijk resp. 0,3; 12,8 en 46,0 mm als niet beregend wordt en 0,3; 4,3 en 26,0 mm als wel beregend wordt.

Zonder beregenen



Figuur 4.11. Drainage u_i (positief) en infiltratie i_i (negatief) in het doorgerekende perceel bij een peilverhoging van 0, 20, 40 of 60 cm zonder en met aanvoer van oppervlaktewater gedurende de periode 1 mei t/m 31 augustus (1971 – 2000). In de figuren zijn ook gemiddelden weergegeven (zie Tabel 4.2) voor het kleiprofiel.

Met beregenen



Figuur 4.12. Drainage (positief), infiltratie en beregenen (negatief) in het doorgerekende perceel bij een peilverhoging van 0, 20, 40 of 60 cm zonder en met aanvoer van oppervlaktewater gedurende de periode 1 mei t/m 31 augustus (1971 – 2000) voor het kleiprofiel. In de figuren zijn ook de gemiddelden weergegeven (zie Tabel 4.5).

5 Discussie

5.1 Uitkomsten berekeningen

5.1.1 Opbrengstberekeningen

In dit onderzoek is de opbrengstderving berekend ten opzichte van de bruto fysieke opbrengst van aardappelen. De potentiële opbrengst is de opbrengst die bereikt wordt onder optimale bodemkundige en hydrologische omstandigheden. In deze studie is de gemiddelde bruto fysieke opbrengst voor de periode 1971-2000 14,7 ton ha⁻¹ droge stof. Uitgaande van een droge stofgehalte van 0,21 is de potentiële bruto versgewicht ca. 70 ton ha⁻¹, hetgeen lager is dan de potentiële fysieke opbrengst van 75 ton ha⁻¹ die in Brouwer & Huinink (2002) wordt genoemd. De werkelijk behaalde opbrengsten zijn iets lager. In het centraal kleigebied is de gemiddelde marktbaar opbrengst van goed gelukte oogsten (zowel beregende als niet beregende percelen) 57 ton ha⁻¹ (KWIN, 2002), de gemiddelde bruto opbrengst is ca. 6 ton ha⁻¹ hoger (mond. med. A. Veerman). Dit betekent dat in praktijk de opbrengsten door allerlei oorzaken iets lager zijn, waardoor ook de gewasverdamping lager zal zijn en daarmee de droogteschade. Immers het gewas onttrekt minder bodemvocht. Anderzijds zal in de praktijk ook door structuurschade droogteschade kunnen ontstaan, hetgeen in deze berekeningen niet is meegenomen.

Een vermindering van de opbrengstderving in consumptieaardappel van 50% bij 60 cm peilverhoging met wateraanvoer is goed te noemen. In hoeverre de opbrengstderving ook bij andere gewassen afneemt, hangt sterk samen met de wortelingsdiepte. Naarmate gewassen dieper wortelen zal de droogteschade normaal gesproken geringer zijn en is peilverhoging minder effectief. Te verwachten valt dan ook dat het effect bij granen en suikerbieten geringer zal zijn, bij uien (effectieve wortelingsdiepte 45 cm) zal het effect vergelijkbaar zijn met dat bij aardappelen.

5.1.2 Beregenen

De berekende beregeningsgiften zijn hoog. In de praktijk wordt in een normaal weerjaar gemiddeld genomen ongeveer 50 mm beregend, in droge jaren kan dit oplopen tot 150 mm (zie ook Clevering et al, 2006a; Huinink et al, 1998). Er kunnen verschillende redenen zijn waarom de berekende waarden afwijken van de praktijk: (i) in de praktijk zal rekening gehouden worden met de weersvoorspelling. Als regen wordt voorspeld, zal niet vlak daarvoor worden beregend, (ii) in praktijk zal zeker in droge jaren capaciteit en arbeid beperkend zijn. In praktijk zal een perceel niet vaker dan 1x in de vijf dagen worden beregend. Vooral in erg droge jaren zal de beregeningsgift dan ook achterblijven bij de behoefte en (iii) in de praktijk zal ook tegen schurft beregend worden, hetgeen in deze studie niet is meegenomen.

In deze studie komt maar weinig van het beregeningswater beschikbaar voor het gewas. In de referentiesituatie is gemiddeld genomen een gift van 134 mm nodig. Hierdoor neemt de gewasverdamping met ca. 20 mm toe (data niet gepresenteerd). Door te beregenen neemt de grondwaterstand toe van 164 naar 158 cm -mv, waardoor ook de ontwatering met 58 mm toeneemt. Een groot deel van het beregeningswater raakt dus definitief verloren voor het gewas. Door het opzetten van peilen kan het teveel aan beregeningswater beter vastgehouden worden. Volgens onze berekeningen is de efficiëntie van beregenen dus laag. Volgens Huinink (1998) komt gemiddeld genomen 70% van het beregeningswater beschikbaar voor het gewas, volgens van Bakel (pers. med.) is dit ongeveer 50%.

5.1.3 Vergelijking met de HELP-2005-tabel

In Nederland is de standaardmethode om nat- en droogteschade te bepalen het toepassen van de HELP-tabel (Werkgroep HELP-tabel, 1987). Recent is deze tabel verbreed en geactualiseerd: de zogenoemde HELP-2005-tabel (Van Bakel e.a., 2005, 2006). Met behulp van deze tabel kan, voor de meeste combinaties van 72 HELP-bodemgroepen en 14 gewassen of gewasgroepen, voor elke combinatie van Gemiddeld Hoogste (GHG) resp. Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) binnen het toepassingsdomein de nat- en droogteschade worden berekend. Deze werkwijze is ook toegepast voor de varianten die zijn doorgerekend. Daarbij is de GHG en GLG op 2 verschillende manieren berekend:

1. als 30-jarig gemiddelde van het gemiddelde van de 3 hoogste resp. laagste grondwaterstanden per jaar (HG₃ resp. LG₃) die op de 14^e en 28^e van elke maand zoals door SWAP worden berekend.
2. als 30-jarig gemiddelde van het gemiddelde van de 3 hoogste grondwaterstanden per jaar die op de 14^e en 28^e van de maanden januari-maart en oktober-december resp. de 3 laagste grondwaterstanden per jaar die op de 14^e en 28^e van de maanden april-september door SWAP worden berekend (formeel gezien dienen de maanden januari-maart aan te sluiten op de periode oktober-december).

De reden om beide berekeningswijzen te gebruiken is dat de verwachting was dat door het onnatuurlijk verloop van de grondwaterstanden bij meer dan 20 cm peil opzetten in combinatie met wateraanvoer (hoog in de zomer en lager in de winter) de GHG volgens de 2^e methode lager was dan de GLG waardoor we buiten het toepassingsdomein van de HELP-2005-tabel komen.

Voor het klei-op-zandprofiel is de HELP-bodemeenheid 27 genomen (Kz5hz) en voor het kleiprofiel eenheid 28 (Kz5h). Tabel 5.1 geeft de resultaten. In de laatste kolom worden ook de schades zoals door SWAP berekend gegeven.

Tabel 5.1 De met behulp van de HELP-2005-tabel berekende nat- en droogteschade bij op 2 manieren berekende GHG en GLG, en de droogteschade zoals door SWAP direct wordt berekend bij 0, 20, 40 en 60 cm peilverhoging in de periode 1 mei t/m 31 augustus bij wel en geen water aanvoer. In de referentiesituatie worst het peil jaarrond gehandhaafd op 175 cm –mv.

| Peilbeheers-variant | Methode 1 | | | | Methode 2 | | | | Swap |
|---------------------|------------|------------|-----------------------|----------|------------|------------|-----------------------|----------|----------|
| | GHG/GLG | | nat- en droogteschade | | GHG/GLG | | nat- en droogteschade | | schade |
| | cm -mv | | % | | cm -mv | | % | | % |
| | GHG | GLG | n | d | GHG | GLG | n | d | s |
| klei-op-zand | | | | | | | | | |
| 0-wel | 126 | 169 | 2 | 13 | 126 | 169 | 2 | 13 | 11 |
| 0-niet | 126 | 169 | 2 | 13 | 126 | 169 | 2 | 13 | 12 |
| 20-wel | 123 | 164 | 2 | 11 | 126 | 162 | 2 | 13 | 10 |
| 20-niet | 122 | 164 | 2 | 10 | 126 | 163 | 2 | 13 | 10 |
| 40-wel | 116 | 162 | 2 | 9 | 126 | 160 | 2 | 13 | 8 |
| 40-niet | 118 | 163 | 2 | 9 | 126 | 161 | 2 | 13 | 9 |
| 60-wel | 105 | 161 | 2 | 7 | 128 | 158 | 2 | 13 | 5 |
| 60-niet | 112 | 163 | 2 | 8 | 126 | 161 | 2 | 13 | 9 |
| klei | GHG | GLG | n | d | GHG | GLG | n | d | s |
| 0-wel | 86 | 165 | 2 | 4 | 88 | 165 | 2 | 4 | 12 |
| 0-niet | 86 | 165 | 2 | 4 | 88 | 165 | 2 | 4 | 12 |
| 20-wel | 86 | 159 | 2 | 3 | 86 | 159 | 2 | 3 | 10 |
| 20-niet | 85 | 159 | 2 | 3 | 87 | 159 | 2 | 3 | 10 |
| 40-wel | 82 | 156 | 3 | 3 | 87 | 153 | 2 | 3 | 9 |
| 40-niet | 83 | 157 | 2 | 3 | 87 | 155 | 2 | 3 | 9 |
| 60-wel | 77 | 154 | 3 | 3 | 87 | 150 | 2 | 3 | 7 |
| 60-niet | 80 | 157 | 3 | 3 | 87 | 155 | 2 | 3 | 9 |

De resultaten geven aanleiding tot de volgende opmerkingen:

- vooral bij hoge peilen in de zomermaanden met wateraanvoer zijn de resultaten van beide methoden van berekening van GHG en GLG verschillend maar minder dan verwacht. De reden is dat de GLG berekend over alleen de zomermaanden toch laag uitvalt omdat de maanden april en september lage

- grondwaterstanden hebben;
- om dezelfde reden is het effect van wateraanvoer op GHG en GLG beperkt. De volgens de HELP-2005-tabel bepaalde droogteschadeverschillen tussen wel en niet aanvoer zijn dan ook kleiner dan volgens de SWAP-berekeningen;
- de met SWAP berekende droogteschade komt bij het klei-op-zandprofiel redelijk overeen met droogteschade volgens de HELP-2005-tabel; voor kleigronden geeft de HELP-2005-tabel veel minder droogteschade;
- de verschillen van de nat –en droogteschade tussen beide methoden van berekening van de GHG en GLG zijn in de regel beperkt. Maar bij het klei-op-zandprofiel en een hoog peil met wateraanvoer is het verschil in droogteschade van 6% aanzienlijk;
- door de hogere grondwaterstanden bij kleigronden (door de hogere weerstand) is de droogteschade ook duidelijk minder in vergelijking met het klei-op-zandprofiel. Maar de voornaamste verklaring is dat de HELP-2005-tabel bij gelijke GHG en GLG voor het kleiprofiel minder droogteschade aangeeft dan het klei-op-zandprofiel. Bijvoorbeeld bij een GHG van 126 cm –mv en een GLG van 169 cm –mv zijn de droogteschades resp. 7 en 13%;
- zowel de HELP-2005-tabel als de SWAP-berekeningen indiceren weinig natschade in alle varianten. De reden is dat de het winterpeil van 175 cm –mv erg diep is en zorgt voor relatief lage grondwaterstanden.

De resultaten geven in ieder geval aan dat voor een dergelijk kunstmatig verloop van de grondwaterstand het toepassen van de HELP-tabel een ander beeld van de relatie tussen grondwaterstandsverloop en de droogteschade laat zien dan fysisch (met SWAP) is berekend. Bovendien is een aantal combinaties van GHG en GLG buiten het toepassingsdomein en is de schade bepaald door vóór de natschade het punt op de rand van het domein te nemen met dezelfde GHG en voor de droogteschade het punt met dezelfde GHG. De daarbij behorende veronderstelling is dat de natschade vooral wordt bepaald door de GHG en de droogteschade door de GLG. De vraag kan daarom worden gesteld of toepassing van de HELP-tabel in dergelijke situaties geoorloofd is.

De indicatoren voor natschade bij zowel de HELP-2005-tabel als de SWAP-berekeningen geven aan dat de natschade in alle varianten beperkt is. Dit komt overeen met de praktijk. Indien de drains ondieper zouden liggen, zou een peilverhoging ook in de winter te overwegen zijn.

5.1.4 Piekafvoeren

Een van de wateropgaven voor waterschappen is te zorgen voor reductie van piekafvoeren, met het oog op klimaatverandering. Een vraag daarbij is of andere vormen van peilbeheer of de aanleg of intensivering van buisdrainage leiden tot een andere reactie van de afvoer op de neerslag. Het idee is dat door peil opzetten en de aanleg van drainage de piekafvoeren toenemen. Er is daarom voor een paar varianten onderzocht hoe de maatgevende en 1,5 keer maatgevende afvoer (MA) verandert. De maatgevende afvoer is in ons geval (niet geheel correct) gedefinieerd als de door SWAP berekende op 29 na hoogste dagafvoer uit de reeks van 30 jaar dagafvoeren en 1,5 keer de maatgevende afvoer de op 1 na hoogste dagafvoer uit de reeks. Tabel 5.2 geeft de resultaten.

Tabel 5.2 Op 1 en 29 na hoogste dagafvoer (mm/d) voor een aantal varianten

| Drainweerstand | Zomerpeilverhoging | | | |
|----------------|--------------------|--------|--------|--------|
| | 0 cm | | 60 cm | |
| | 1,0 MA | 1,5 MA | 1,0 MA | 1,5 MA |
| 150 dagen | 12,3 | 28,6 | 13,2 | 28,8 |
| 75 dagen | 12,3 | 27,0 | 13,3 | 25,9 |

De effecten van opzetten van peilen in de maanden mei t/m augustus op de piekafvoeren zijn laag maar verklaarbaar doordat deze pieken veelal in de winter optreden. Het effect van een intensivering van drainage is verrassend gering maar verklaarbaar doordat een snellere reactie kennelijk wordt gecompenseerd door

diepere grondwaterstanden en dus meer berging.

5.1.5 Efficiency van wateraanvoer

Uit de literatuur (zie o.a. Van Bakel, 1986) is bekend dat wateraanvoer voor subinfiltratie een lage efficiency heeft: in de orde van maximaal 20%. Dat wil zeggen dat 20% van het aangevoerde water daadwerkelijk wordt gebruikt voor gewasverdamping en daarmee voor productieverhoging. In het door ons onderzochte klei-op-zandprofiel met 60 cm peilverhoging is de veeljarig gemiddelde aanvoer 62 mm en die leidt tot ca. 16 mm meer verdamping. De efficiency is daardoor $16/62$ maal 100% is 26% en is daarmee in lijn met de verwachting. Wateraanvoer voor beregening heeft een lagere efficiency. In ons geval 14% maar dat komt grotendeels door de wijze van beregenen. In de praktijk moet 60% haalbaar zijn. Tegenover deze in praktijk hogere efficiency staan uiteraard kosten van beregenen. Ook stelt beregenen hogere eisen aan de betrouwbaarheid van wateraanvoer. Het water moet er ook echt zijn als er beregend moet worden. Bij wateraanvoer voor subinfiltratie zijn die eisen veel minder: een paar dagen peilonderschrijding is geen ramp. Voor toekomstige plannen ten aanzien van wateraanvoer kunnen de hier genoemde punten van belang zijn.

5.2 Perspectieven van peil opzetten

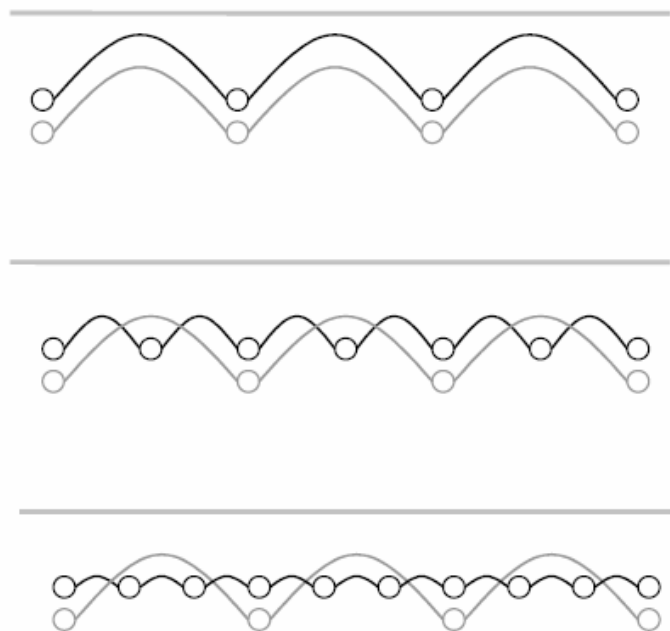
5.2.1 Drains onder water

Een belangrijk aspect van drainage onder water is de invloed hiervan op de doorlatendheid van de bodem rondom de drains. De doorlatendheid van de bodem is van grote betekenis voor een vlotte toestroming naar en in de drains en daarmee een belangrijke randvoorwaarde voor het goed functioneren van drainage. Voor goed doorlatende en stabiele gronden zijn bij drainage onder water geen problemen te verwachten (Stuyt, 1998ab). Problemen zijn wel te verwachten als er sprake is van een slechte doorlatendheid of van een niet volledig gerijpte, slappe ondergrond. Zeker het permanent onder water houden van drains is om deze reden dan ook in veel gevallen ongewenst.

In geval dat drains niet permanent onder water staan, kunnen verstoppingen in de drains ontstaan bij het wisselen van streefpeilen. Het is dan ook van belang dat sloten goed geschoond worden, het schonen van sloten kan echter wel ten koste gaan van een gezond slootecosysteem. Sterke wisselen van het slootpeil kunnen ten koste gaan van de capaciteit van sloten. Er is kans dat de slootbodemp dieper wordt, stroomsnelheden toenemen, taluds afkalven, eindbuizen wegspoelen etc. Wisselingen groter dan 10 à 15 cm per dag moeten dan ook zoveel mogelijk vermeden worden, aldus Stuyt (1998a, b).

5.2.2 Benodigde afstand tussen drains voor infiltratie

Voor infiltratie is een kleinere drainafstand noodzakelijk dan voor drainage. Aangezien SWAP een ééndimensionaal model is, was het in deze studie niet mogelijk om de invloed van peilverhoging op het verloop van de grondwaterstand op verschillende afstanden van de drains te onderzoeken. Uit het TNO onderzoek blijkt dat voor zandgronden gemiddeld genomen tot een afstand van 15 m van de sloot nog een aanzienlijk effect gevonden wordt. Dit zou betekenen dat de drains op het onderzochte bedrijf voor het doel van infiltratie nogal ver uit elkaar liggen. Een hogere draindichtheid betekent echter ook dat de grondwaterstanden dieper worden. Voorgesteld wordt dan ook om een nieuwe drainreeks minder diep (ca. 130 cm –mv) met een hogere dichtheid (ca. 25 m) aan te leggen, zie ter illustratie Figuur 5.1. Het hanteren van een hogere draindichtheid heeft ook als voordeel dat de vochtverdeling in de bodem, door een geringere opbolling, uniformer is. Als drains in klei zijn gelegen, is een veel hogere draindichtheid nodig. Daarbij is het de vraag in hoeverre door een mogelijk verminderde doorlatendheid van de bodem rond de drains überhaupt infiltratie op zal treden.



Figuur 5.1. Fictieve voorstelling van opbolling bij ondiepe drainage en traditionele drainage (boven) en ondiepe, intensieve drainage en traditionele drainage (midden en onder). Zwart lijn: ondiepe drainage; grijze lijn traditionele drainage. Overgenomen van De Louw, TNO-NTG (2001).

5.2.3 Waterbeheer

Zonder wateraanvoer

De mogelijkheid om water aan te voeren bepaalt sterk de effectiviteit van peilverhoging. In de doorgeredende situaties met peilverhoging voor de periode 1 mei t/m 31 augustus wordt slechts een gering effect gevonden als geen water wordt aangevoerd. Er zal dan ook vroeger in het seizoen met peilopzetten begonnen moeten worden. Echter het opzetten van peilen in de winter of vroeg in het voorjaar gaat ten koste van de tijdigheid van bewerkingen.

Met wateraanvoer

In grote delen van Flevoland is wateraanvoer mogelijk. Het Waterschap Zuiderzeeland hanteert een aanvoernorm van 30 mm per week ($4,3 \text{ mm dag}^{-1}$). Deze aanvoernorm lijkt ruimschoots voldoende, ook als water in percelen wordt geïnfiltreerd. Uit de berekeningen blijkt dat voor aardappelpercelen voor zowel infiltratie als beregenen er niet meer water nodig is dan voor alleen beregenen. Dit ligt in praktijk ongunstiger, omdat minder wordt beregend en een groot deel van het areaal uit minder droogtegevoelige gewassen bestaat. Voor substantiële infiltratie van oppervlaktewater in percelen zijn aanpassingen aan drainagesystemen noodzakelijk, zie 5.2.2. Omdat door een peilverhoging ook het waterbergend vermogen van percelen afneemt, zal het bijv. nodig kunnen zijn om het peil anticiperend te verlagen als veel neerslag wordt verwacht, om zodoende de piekafvoeren niet te laten toenemen.

5.2.4 Overige consequenties van peilopzetten

In Flevoland komt het regelmatig voor dat een sloot gedurende de periode van 1 april tot 1 oktober nauwelijks tot geen water bevat, in dat geval is een teeltvrije zone niet verplicht, omdat het risico van verontreiniging van het oppervlaktewater te verwaarlozen is. Wanneer door waterconservering de betreffende sloot wel water bevat dan is de sloot volgens de regels watervoerend en is een teeltvrije zone verplicht.

Een ander aspect waarmee rekening moet worden gehouden is dat in gebieden waar bruinrot voorkomt, het vooralsnog verboden is om oppervlaktewater voor infiltratie van poot aardappelpercelen te gebruiken (Bus et al., 2003).

5.2.5 Tot slot

In gebieden in Flevoland waar drains in het zandpakket liggen is het goed mogelijk om gedurende het zomerseizoen slootpeilen op te zetten, hierdoor wordt meer water in percelen vastgehouden en slootwater kan in percelen infiltreren. Voor een substantiële infiltratie dient het drainagesysteem aangepast te worden. Voorgesteld wordt iets minder diep met een hogere intensiteit te draineren. Uit de berekeningen blijkt dat bij infiltratie er mogelijk iets meer water door het waterschap aangevoerd moet worden, maar dat aanzienlijk op de beregeningsgift kan worden bespaard.

Het opzetten van slootpeilen (en infiltratie van slootwater in percelen) heeft ook een aantal neveneffecten: positief is dat per saldo peilverhoging goed is voor het slootleven, hierbij moet wel de kanttekening worden geplaatst dat het beter schonen van sloten negatief kan doorwerken op de ecologie van sloten, negatief is dat peilverhoging kan leiden tot de verplichting van teeltvrije zones en dat het waterbergend vermogen van de bodem afneemt. Bovendien is het de vraag of infiltratie van slootwater toegestaan is bij de teelt van poot aardappelen in bruinrotgebieden. Deze aspecten zouden in een gebiedspilot moeten worden meegenomen.

6 Conclusies en Aanbevelingen

De landbouwkundige gevolgen van het opzetten van het oppervlaktewaterpeil gedurende de periode 1 mei t/m 31 augustus is onderzocht voor klei-op-zand en klei. In de eerste situatie gaat klei op 1,10 m diepte over in zand. De drains zijn gelegen in het zandpakket op een diepte van 1,70 m –mv. Opbrengstberekeringen van consumptieaardappel zijn uitgevoerd voor een situatie zonder en met wateraanvoer, en wel en geen beregenen. Zonder wateraanvoer wordt alleen het locale neerslagoverschot vastgehouden, met wateraanvoer kan het gewenste slootpeil gehandhaafd worden.

6.1 Conclusies

Op basis van de modelberekeringen is een aantal conclusies te trekken waarbij de genoemde waarden betrekking hebben op veeljarig gemiddelden.

- Uit literatuuronderzoek is gebleken dat voor zandgrond het niet bezwaarlijk is drains onder water te zetten. Ook infiltratie is goed mogelijk. Wel moet bij het wisselen van slootpeilen voorkomen worden dat verstoppingen optreden.
- Door zwel en krimp kan de doorlatendheid van kleigrond sterk af kan nemen. Dit is vooral het geval op zware kleigrond en niet gerijpte grond. Voor deze gronden wordt het jaarrond onder water zetten van drains afgeraden.
- De gemiddelde meerjarige opbrengstderving van consumptieaardappel in de referentiesituatie (geen peilverhoging) is 11,7% bij het klei-op-zandprofiel. Bij 60 cm peilverhoging is dit resp. 8,8 en 5,9% zonder en met wateraanvoer.
- In de referentiesituatie neemt de opbrengstderving door te beregenen af tot 2,6%. Wordt beregenen gecombineerd met 60 cm peilverhoging dan is de restschade iets hoger, resp. 2,7 en 3,0% zonder en met wateraanvoer. Deze restschade wordt veroorzaakt door wateroverlast.
- Zonder wateraanvoer kan er weinig slootwater in de bodem infiltreren. De ontwatering van kavels neemt in de maanden mei t/m augustus wel sterk af, namelijk van 87 naar 28 mm bij 60 cm peilverhoging. Is wateraanvoer mogelijk dan vindt wel infiltratie plaats, namelijk 62 mm bij 60 cm peilverhoging, drainage neemt hierdoor iets minder sterk af dan als geen wateraanvoer mogelijk is, van 87 naar 36 mm.
- In de referentiesituatie is gemiddeld genomen een beregeningsgift nodig van 134 mm. Bij 60 cm peilverhoging neemt dit af tot 111 mm zonder en 99 mm met wateraanvoer.
- Voor peilverhoging in combinatie met beregenen moet evenveel water aangevoerd worden dan voor alleen beregenen zonder peilverhoging.
- Bij het kleiprofiel is de opbrengstderving in de referentiesituatie 0,2% hoger dan bij klei-op-zand. Peilverhoging resulteert in een minder sterke daling van de opbrengstderving dan bij het klei-op-zandprofiel, resp. 6,6 en 5,9%. Deze verschillen worden veroorzaakt door hogere natschade bij het kleiprofiel door gemiddeld hogere grondwaterstanden.
- Beregenen in combinatie met peilverhoging resulteerde ook in een hogere natschade bij het klei dan klei-op-zandprofiel.
- Hogere draindichtheden leiden tot een betere ontwatering van percelen. De droogteschade neemt in de referentiesituatie dan ook toe. Met wateraanvoer neemt de droogteschade juist af, dit vanwege een toename van infiltratie in de bodem.
- De afstand tussen de drains is in de onderzochte situatie aan de hoge kant om ook een snelle grondwaterstandsverhoging in het midden tussen de drains te kunnen bewerkstellingen.

6.2 Aanbevelingen

- Uit de brainstorm 'drains onder water' (Stuyt, 1998ab) komt naar voren dat agrariërs vaak te weinig

afweten van de werking van drains. Vaak wordt ervan uitgegaan dat diep draineren altijd beter is, ook is er veel weerstand tegen het onder water zetten van drains. Er bestaat vaak dan ook weerstanden tegen aanpassingen in peilbesluiten. Echter ondieper en intensiever draineren, en drains tijdelijk onder water zetten, kunnen landbouwkundig gezien voordelen bieden. Goede voorlichting is dan ook onontbeerlijk. Daarnaast wordt in de rapportage van Stuyt (1998ab) aanbevolen agrariërs zelf grondwaterstanden te laten meten.

- Indien drains ook voor infiltratie worden gebruikt dan dienen watergangen goed geschoond te worden. Dit kan ten koste gaan van ecologische doelstellingen voor sloten. Nader onderzoek is dan ook wenselijk naar de combineerbaarheid van functies van sloten.
- In een gebiedspilot kan onderzocht worden in hoeverre het opzetten van slootpeilen in combinatie met aanpassingen aan drains inderdaad de beregeningsbehoefte van akkerbouwgewassen vermindert, zonder dat de kans op natschade toeneemt.
- Bij herdrainage wordt geadviseerd iets minder diep maar intensiever te draineren. Hierdoor blijft de ontwatering nagenoeg gelijk, maar kan bij peilopzetten meer water in het perceel infiltreren. Een hogere draindichtheid zorgt ook voor een homogener ruimtelijke verdeling van bodemvocht.
- Ook als er geen water wordt aangevoerd, is het wellicht zinvol de ontwatering van percelen in het zomerseizoen te verminderen door flexibel stuwbeheer. De effecten daarvan moeten echter niet worden overschat.
- In gebieden waar poot aardappelen worden verbouwd zou nagegaan moeten worden in hoeverre diepe infiltratie van oppervlaktewater, zoals in dit onderzoek, inderdaad de kans op bruinrot verhoogt.

Referenties

- Bakel PJT van 1986. Planning, design and operation of surface water management systems. A case study. Proefschrift LUW.
- Bakel PJT 2003. Controlled drainage in the Netherlands revisited? In: Paper No 012. Presented at the 9th International Drainage Workshop, September 10-13, 2003, Utrecht, The Netherlands
- Bakel PJT, Huinink J, Prak H, Bolt F. van der 2005. HELP-2005 Uitbreiding en actualisering van de HELP-tabellen ten behoeve van het Waterlood-instrumentarium. Stowa rapport 2005-16.
- Bakel PJT, Prak H, Huinink J, Talsma MG 2006. De verbreding van de HELP-tabellen. H₂O 1; 33-34.
- Bersselaar D, Jaarsma M, Loeve R, Droogers P. 2004. Mogelijkheden tot vasthouden van water in Flevoland. H₂O 24: 21-24.
- Bus CB, Bos D, Veerman A 2003. De risico's van een besmetting van aardappelen met bruinrot via infiltratiewater. PPO 515309.
- Droogers P, Loeve R 2004. Regionale analyse van mogelijkheden tot vasthouden van water in het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland. Rapport FutureWater
- Bos L, Louw de P, Bruin R de 2004. Eindrapportage Kenniscirkel agrarisch waterbeheer. Deelproject 'Monitoren en kennisontwikkeling door boeren' van 'Waterconservering 2^e generatie'. CLM Onderzoek en Advies. Op: www.waterconserveringtweedegeneratie.nl
- BOW-subwerkgroep drainage 1997. Eindrapport drainage onder water. Provincie Zeeland.
- Clevering OA 2006. Droogteschade en rendement van beregenen met brakwater. In LC Stuyt (Ed). Transitie en toekomst van Deltalandbouw. Alterra-rapport 1132.
- Clevering OA, Bakel PJT van, Kroes JG 2006a. Opbrengstdervingen landbouw. Simulatie opbrengst van consumptieaardappel. In LC Stuyt (Ed). Transitie en toekomst van Deltalandbouw. Alterra-rapport 1132.
- Clevering OA, Alblas J, Weijers G, Verstegen HAG en Werf MM van der 2006b. Agronomische gevolgen van peilverhoging. Resultaten van vijf jaar onderzoek naar de gevolgen van peilverhoging voor beregenen, nutriëntenbeschikbaarheid en gewasopbrengsten in de akkerbouw. PPO 510183
- Dik PE, Kroes JG, Smit AAMFR 2004. Water- en zoutbeheer Polder de Noordplas. Schematisatie, parameterisatie en verkennende scenarioanalyse. Alterra-rapport 986.
- Diepen CA van, Wolf J, Keulen H. van (1989). WOFOST: a simulation model of crop production. Soil Use and Management 5: 16-24.
- Feddes RA, Kowalik PJ, Zaradny H 1978. Simulation of field water use and crop yield. Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen.
- Flevobericht 65-M 1970. Bodemkundige code- en profielenkaart van Oostelijk Flevoland Sectie M Schaal 1: 10.000. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders.
- Hardeveld HA van, Vaarkamp WG, Uran O 2004. Flexibel peilbeheer in veenweidegebied met een agrarische functie. Eindrapportage WBP-2000 werkgroep flexibel peilbeheer polderwateren. Waterbeheerders beheersgebied van Rijnland, Leiden.
- Hoekstra JR, Bos L, Ruiters HRG de, Boer CN de, Essen EA van, Berkum J van, Landheer GJ 2005. Fean – Wetter – Buorkje. Experiment met hogere zomerpeilen in het Friese veenweidegebied. Eindrapportage 2002 t/m 2004. CLM Onderzoek en Advies en DLV Adviesgroep.
- Hoving IE, Akker J van den, Hendriks R 2004. Zegveld gaat zakken veengrond te lijf. Op: www.syscope.nl/upload/alinea_1273.pdf
- Huinink JTM 1988. Optimale draaindiepte. Ad Fundum 7: 1-9.
- Huinink JTM, Verstraten F, Janssen J, Mooij M, Beijer L, Wees A van der 1998. Het economisch belang van water in de landbouw. IKC-L, Ede.
- Kwantitatieve Informatie voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroententeelt KWIN 2002. PPO-rapport 301.
- Louw P de 2001. Waterconservering en peilbeheer in het Benelux Middengebied. TNO-NITG docblad 5.17-01
- Louw P de, Bakkum R, Fokerts H, Hardeveld H van 2003. Het effect van waterbeheer op de chloride- en nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater in Polder de Noordplas. Syntheserapport: Definitieve water- en stoffenbalans en effecten van verschillende waterbeheersscenario's. TNO rapport

005.54009

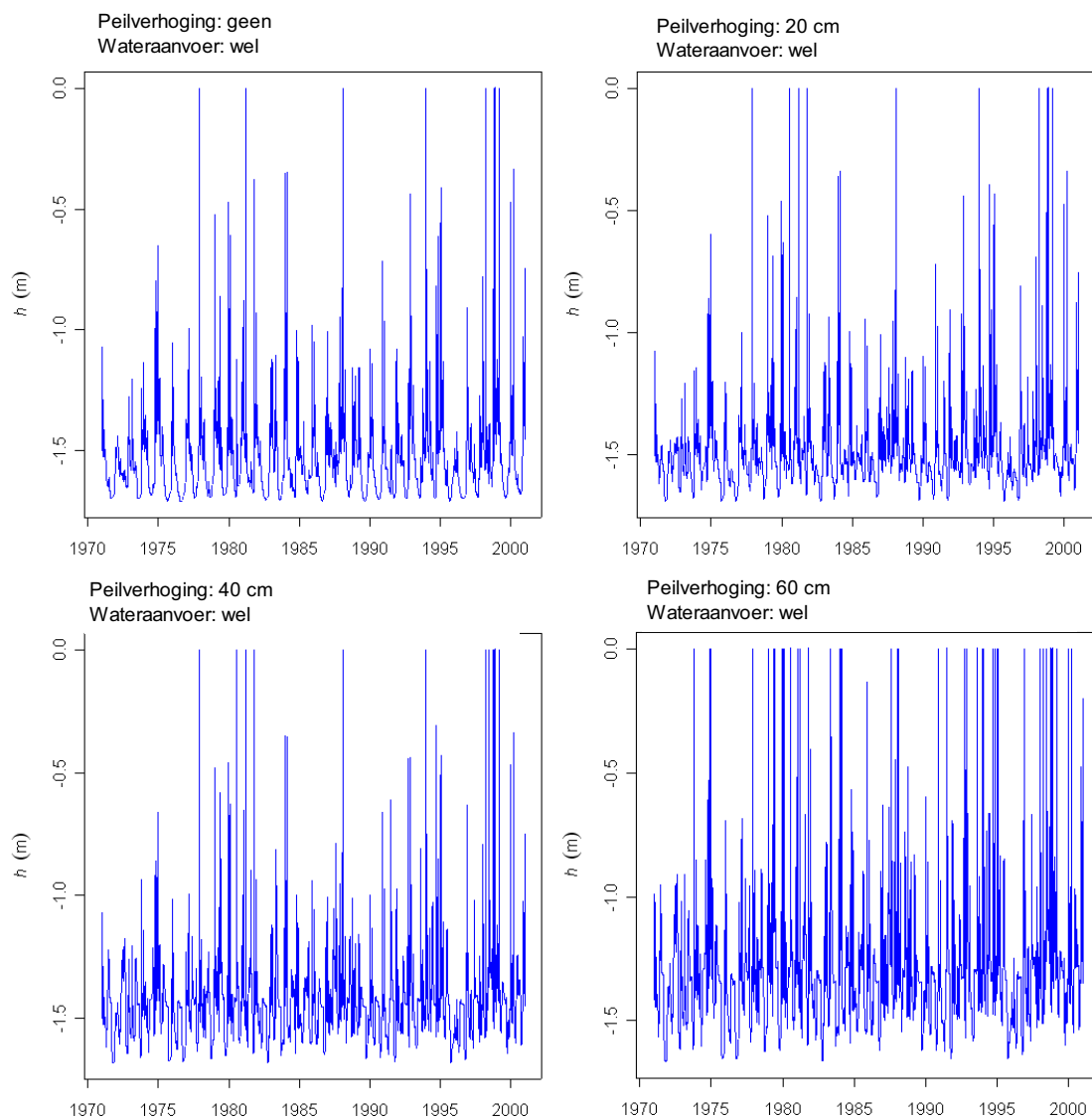
- Meeuwse R 2002. (Landbouw) Economische benadering WB21 t.b.v. de Deelstroomgebiedsvisie Zeeland. DLG-Zeeland
- Neut van der D 1994. Effecten van peilopzetten in de Hoeksche Waard. Een evaluatie over 42 jaren van de opbrengstveranderingen van aardappelen en bieten bij vier verschillende dieptes van de drainagebasis. Landbouwniversiteit Wageningen.
- Rienks WA, Gerritsen AL, Meulenkamp WJH, Ottburg FGWA, Schouwenberg EPAG, Akker JJH van den, Hendriks RFA 2004. Veenweiden in Fryslan – de effecten van vier peilstrategieën. Alterra rapport 989.
- Sival FP, Clevering OA, Vos de JA, Werff van der MM, Kleef J van 2006. Stikstof- en fosfaatverliezen naar grond- en oppervlaktewater bij vernatting van landbouwgronden. Veldexperimenten Vredepeel 2003-2005. Alterra rapport xxxx
- Snepvangers J, Peters A, Louw P de, Geenen B 2004. 'Drainage nieuwe stijl' Drainage ten behoeve van waterconservering. TNO-rapport NITG 04-100-B.
- Stuyt LCPM 1998a. Schade aan onderlopende buisdrainage. Verslag brainstorm met betrokkenen op 19 februari 1998. DLO-Staring Centrum
- Stuyt LCPM 1998b. Schade aan onderlopende buisdrainage. DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Vlotman WF, Jansen HC (2003) Controlled drainage for integrated water management. In: Paper No 125. Presented at the 9th International Drainage Workshop, September 10-13, 2003, Utrecht, The Netherlands
- Vos de JA, Hoving IE, Bakel PJT van, Wolf J, Conijn JG, Holshof G 2004. Effecten van peilbeheer in de polders Zegveld en Oud-Kamerik op de nat- en droogteschade in de landbouw. Alterra rapport 987.
- Vos de JA, Clevering OA, Sival FP, Kleef van J 2006. Stikstof- en fosfaatverliezen naar grond- en oppervlaktewater van landbouwgronden. Synthese rapport. Alterra-rapport xxxx.

Bijlage 1: Opbrengsten van consumptieaardappel op een klei-op-zandprofiel

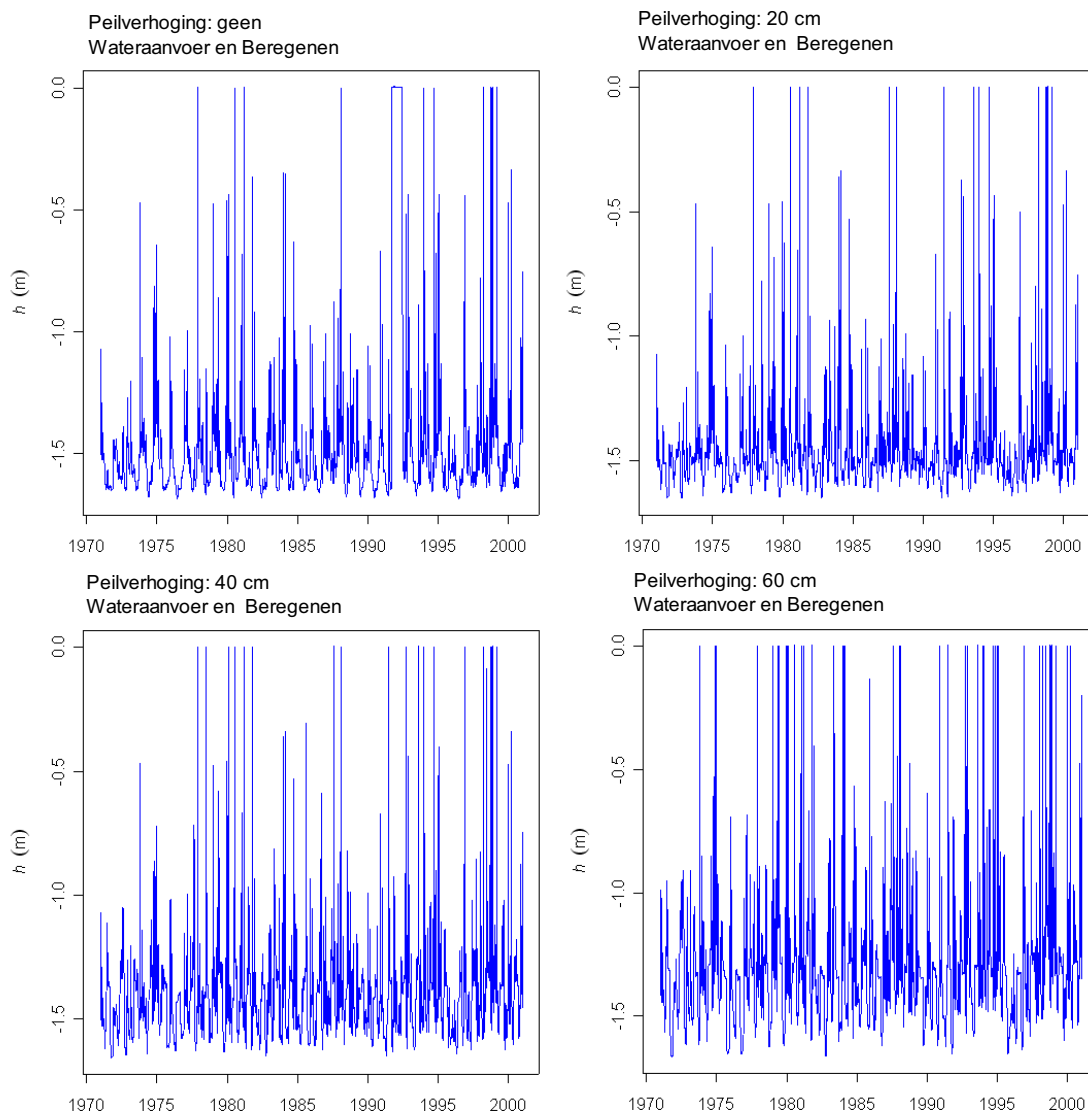
Codering: Peilverhoging 0, 20, 40 of 60 cm; W = wateraanvoer; G=geen wateraanvoer; Pot = potentiële opbrengst. De referentiewaarden zijn in blauw aangegeven; hogere waarden in groen; en lagere waarden in rood. NB: De waterbalans kon voor het jaar 1992 beregenen niet berekend worden.

| peilverhoging | | niet beregenen | | | | | | | | beregemen | | | | | | | |
|---------------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 0 cm | | 20 cm | | 40 cm | | 60 cm | | 0 cm | | 20 cm | | 40 cm | | 60 cm | |
| jaar | pot | W | G | W | G | W | G | W | G | W | G | W | G | W | G | W | G |
| 71 | 15857 | 14846 | 14846 | 15090 | 15081 | 15337 | 15286 | 15523 | 15345 | 15607 | 15580 | 15585 | 15580 | 15658 | 15519 | 15681 | 15623 |
| 72 | 15636 | 15411 | 15411 | 15413 | 15413 | 15364 | 15357 | 15294 | 15302 | 15072 | 15216 | 15300 | 15300 | 15180 | 15173 | 15294 | 15303 |
| 73 | 15302 | 13049 | 13049 | 13450 | 13450 | 13928 | 13840 | 14443 | 14109 | 15071 | 14846 | 15014 | 15014 | 15003 | 14955 | 14807 | 14800 |
| 74 | 15918 | 15816 | 15816 | 15784 | 15786 | 15708 | 15788 | 15668 | 15787 | 15544 | 15684 | 15483 | 15485 | 15588 | 15467 | 15617 | 15548 |
| 75 | 13357 | 9517 | 9517 | 9985 | 9984 | 10681 | 10462 | 11585 | 10595 | 13173 | 13223 | 13139 | 13139 | 13207 | 13209 | 13105 | 13191 |
| 76 | 13138 | 7399 | 7399 | 8028 | 7984 | 8958 | 7981 | 10113 | 7984 | 13254 | 13242 | 13248 | 13245 | 13245 | 13163 | 13256 | 13150 |
| 77 | 14769 | 13423 | 13423 | 13702 | 13702 | 13981 | 13961 | 14248 | 14091 | 14365 | 14297 | 14320 | 14320 | 14197 | 14201 | 14029 | 14051 |
| 78 | 16335 | 15626 | 15626 | 15811 | 15811 | 15986 | 15937 | 16113 | 15940 | 15965 | 16018 | 16018 | 16017 | 15912 | 15926 | 15856 | 15822 |
| 79 | 15300 | 15263 | 15263 | 15332 | 15331 | 15381 | 15382 | 15402 | 15403 | 15318 | 15318 | 15331 | 15330 | 15246 | 15248 | 15344 | 15359 |
| 80 | 14433 | 14083 | 14083 | 14025 | 13961 | 13916 | 13947 | 13813 | 13915 | 13665 | 13702 | 13581 | 13593 | 13496 | 13550 | 13313 | 13361 |
| 81 | 15353 | 15022 | 15022 | 15015 | 15020 | 15037 | 15046 | 15044 | 15054 | 14990 | 14990 | 14954 | 14954 | 14947 | 14988 | 14691 | 14962 |
| 82 | 14508 | 11125 | 11125 | 11420 | 11965 | 12249 | 11479 | 13125 | 11534 | 14266 | 14288 | 14352 | 14351 | 14422 | 14377 | 14253 | 14413 |
| 83 | 13141 | 9235 | 9235 | 9707 | 9707 | 10331 | 10193 | 11181 | 10550 | 12999 | 12993 | 12997 | 12998 | 12903 | 12907 | 13052 | 13012 |
| 84 | 15055 | 14219 | 14219 | 14389 | 14397 | 14596 | 14583 | 14771 | 14626 | 14546 | 14526 | 14562 | 14562 | 14686 | 14548 | 14638 | 14758 |
| 85 | 15612 | 15337 | 15337 | 15320 | 15320 | 15313 | 15319 | 15235 | 15314 | 15105 | 15072 | 15014 | 15037 | 14991 | 14994 | 14859 | 14851 |
| 86 | 16060 | 11145 | 11145 | 11749 | 11744 | 12541 | 12130 | 13549 | 12130 | 15455 | 15318 | 15438 | 15438 | 15252 | 15239 | 15533 | 15532 |
| 87 | 13930 | 13484 | 13484 | 13367 | 13367 | 13331 | 13393 | 13178 | 13144 | 13084 | 13095 | 13108 | 13108 | 13069 | 13024 | 12951 | 13072 |
| 88 | 14960 | 14475 | 14475 | 14531 | 14530 | 14564 | 14541 | 14549 | 14540 | 14333 | 14353 | 14262 | 14262 | 14404 | 14302 | 14176 | 14156 |
| 89 | 14406 | 9592 | 9592 | 10265 | 10254 | 11145 | 10647 | 12347 | 10647 | 14502 | 14528 | 14526 | 14526 | 14587 | 14639 | 14564 | 14642 |
| 90 | 14525 | 11237 | 11237 | 11809 | 11800 | 12453 | 11890 | 13365 | 11890 | 14412 | 14350 | 14410 | 14404 | 14275 | 14389 | 14415 | 14390 |
| 91 | 13910 | 12955 | 12955 | 13115 | 13111 | 13283 | 13328 | 13410 | 13469 | 13002 | 12996 | 13535 | 13510 | 13477 | 13549 | 12877 | 13585 |
| 92 | 14263 | 12645 | 12645 | 12951 | 12951 | 13057 | 13226 | 13453 | 13293 | | | | | | | | |
| 93 | 15738 | 15217 | 15217 | 15229 | 15229 | 15238 | 15225 | 15069 | 15209 | 14992 | 15016 | 14917 | 14921 | 14710 | 14915 | 14556 | 14693 |
| 94 | 12987 | 11424 | 11424 | 11655 | 11655 | 11938 | 11918 | 12237 | 12119 | 12460 | 12568 | 12483 | 12483 | 12465 | 12472 | 12505 | 12533 |
| 95 | 12280 | 8665 | 8665 | 9101 | 9120 | 9648 | 9529 | 10400 | 9802 | 12176 | 12090 | 12167 | 12167 | 12172 | 12175 | 12238 | 12213 |
| 96 | 15352 | 12493 | 12493 | 13041 | 12998 | 13766 | 12998 | 14470 | 12998 | 15027 | 15037 | 15160 | 15141 | 13766 | 15093 | 15254 | 15110 |
| 97 | 13665 | 13178 | 13178 | 13319 | 13296 | 13397 | 13391 | 13418 | 13431 | 13124 | 13126 | 13009 | 13008 | 13240 | 13099 | 13156 | 13207 |
| 98 | 15331 | 14903 | 14903 | 14901 | 14898 | 14800 | 14785 | 14596 | 14621 | 14501 | 14527 | 14702 | 14709 | 14588 | 14585 | 14315 | 14323 |
| 99 | 14634 | 13635 | 13635 | 13887 | 13890 | 14124 | 14069 | 14318 | 14074 | 14024 | 14178 | 14086 | 14108 | 14095 | 14076 | 14247 | 14211 |
| 00 | 14968 | 14931 | 14931 | 14957 | 14957 | 14948 | 14958 | 14919 | 14953 | 14809 | 14698 | 14846 | 14845 | 14820 | 14730 | 14703 | 14627 |
| gem | 14691 | 12978 | 12978 | 13212 | 13224 | 13500 | 13353 | 13828 | 13396 | 14305 | 14306 | 14329 | 14329 | 14262 | 14294 | 14251 | 14293 |
| | % | 88.3 | 88.3 | 89.9 | 90.0 | 91.9 | 90.9 | 94.1 | 91.2 | 97.4 | 97.4 | 97.5 | 97.5 | 97.1 | 97.3 | 97.0 | 97.3 |
| derving % | | 11.7 | 11.7 | 10.1 | 10.0 | 8.1 | 9.1 | 5.9 | 8.8 | 2.6 | 2.6 | 2.5 | 2.5 | 2.9 | 2.7 | 3.0 | 2.7 |

Bijlage 2 Verloop grondwaterstand bij peilverhoging zonder beregenen bij het klei-op-zandprofiel

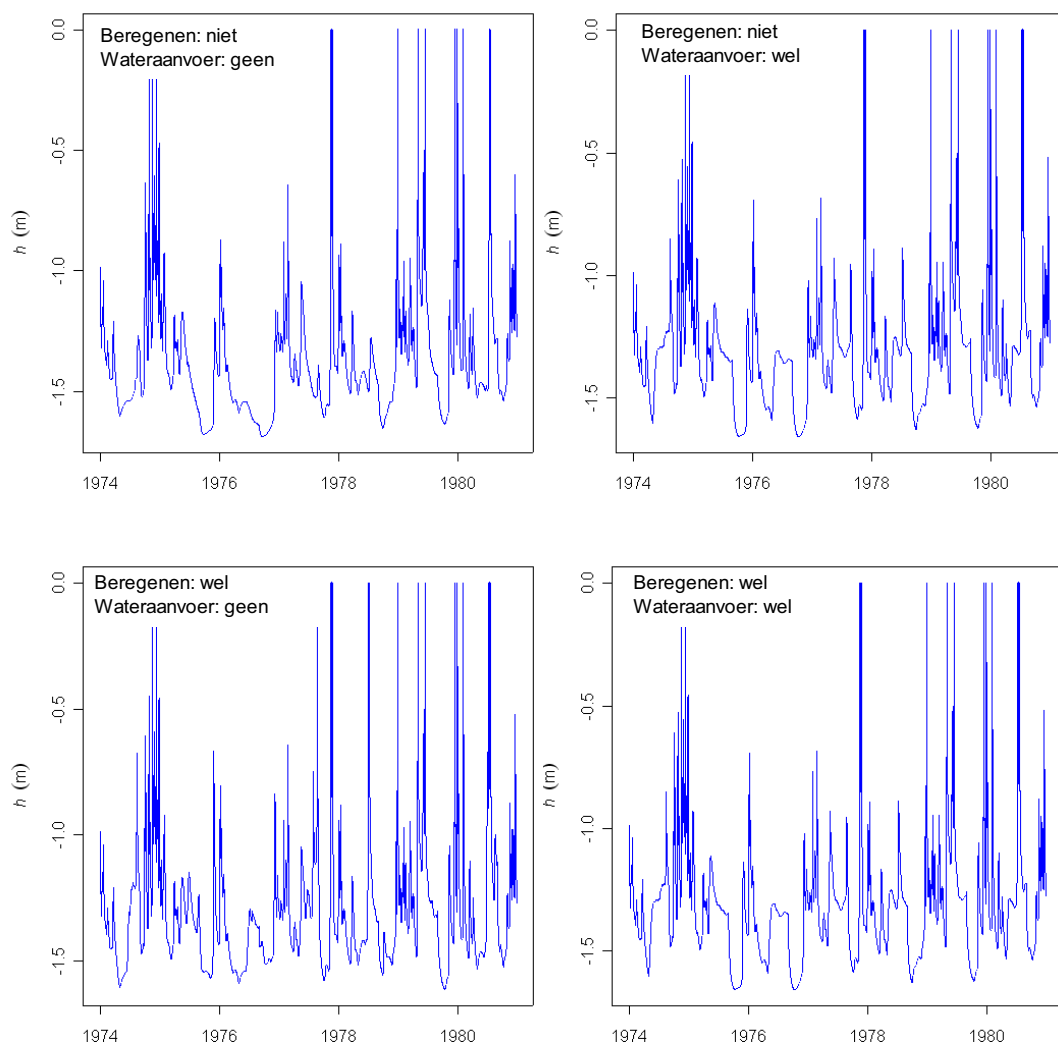


Bijlage 3: Verloop grondwaterstand bij peilverhoging met beregenen bij het klei-op-zandprofiel

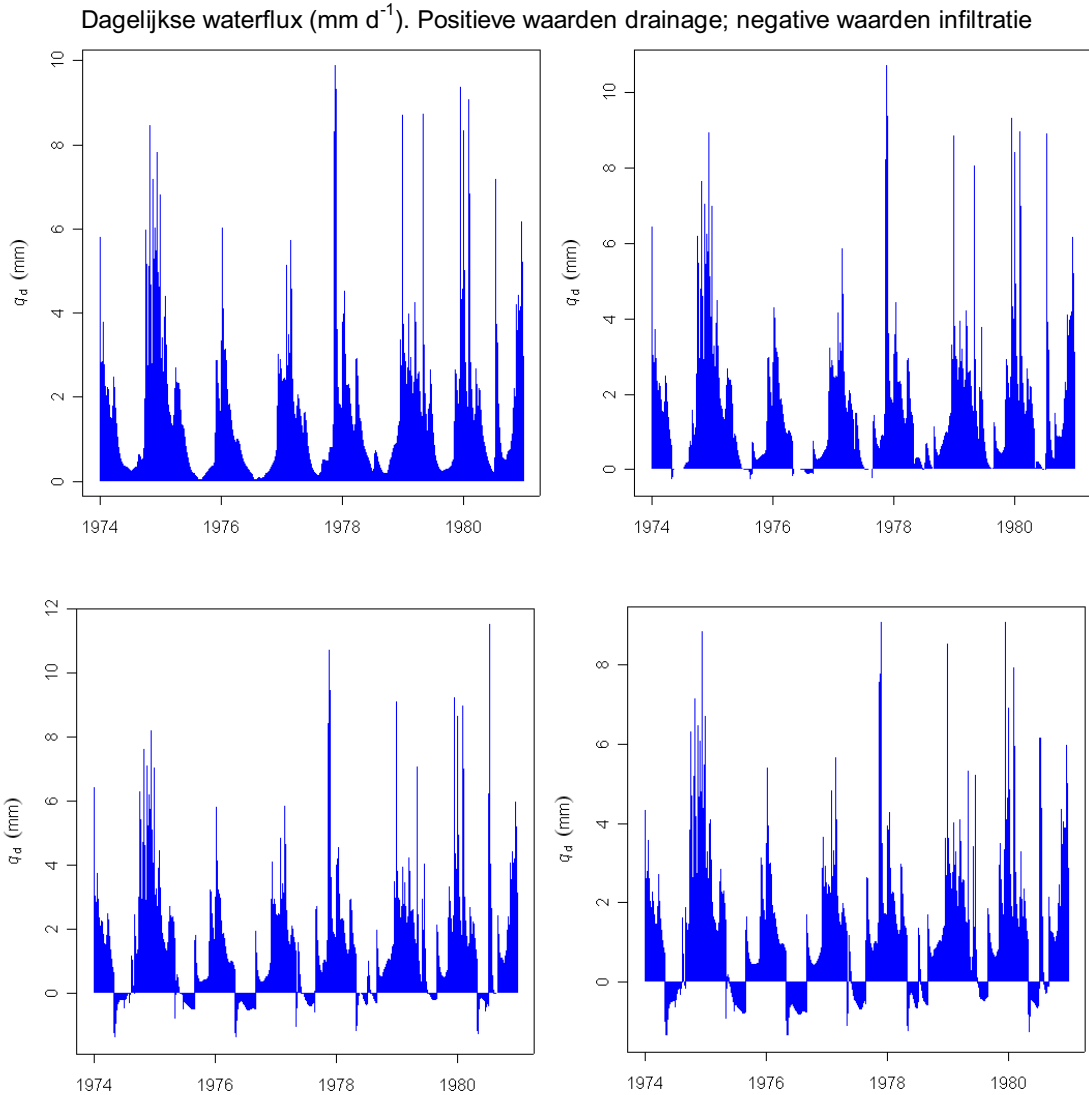


Bijlage 4: Grondwaterstandsverloop in de jaren 1974-1980 bij het klei-op-zandprofiel

Grondwaterstandsverloop (m mv) bij 60 cm peilverhoging



Bijlage 5: Dagelijkse waterfluxen (mm d⁻¹) in en uit het perceel zonder beregenen bij het klei-op-zandprofiel

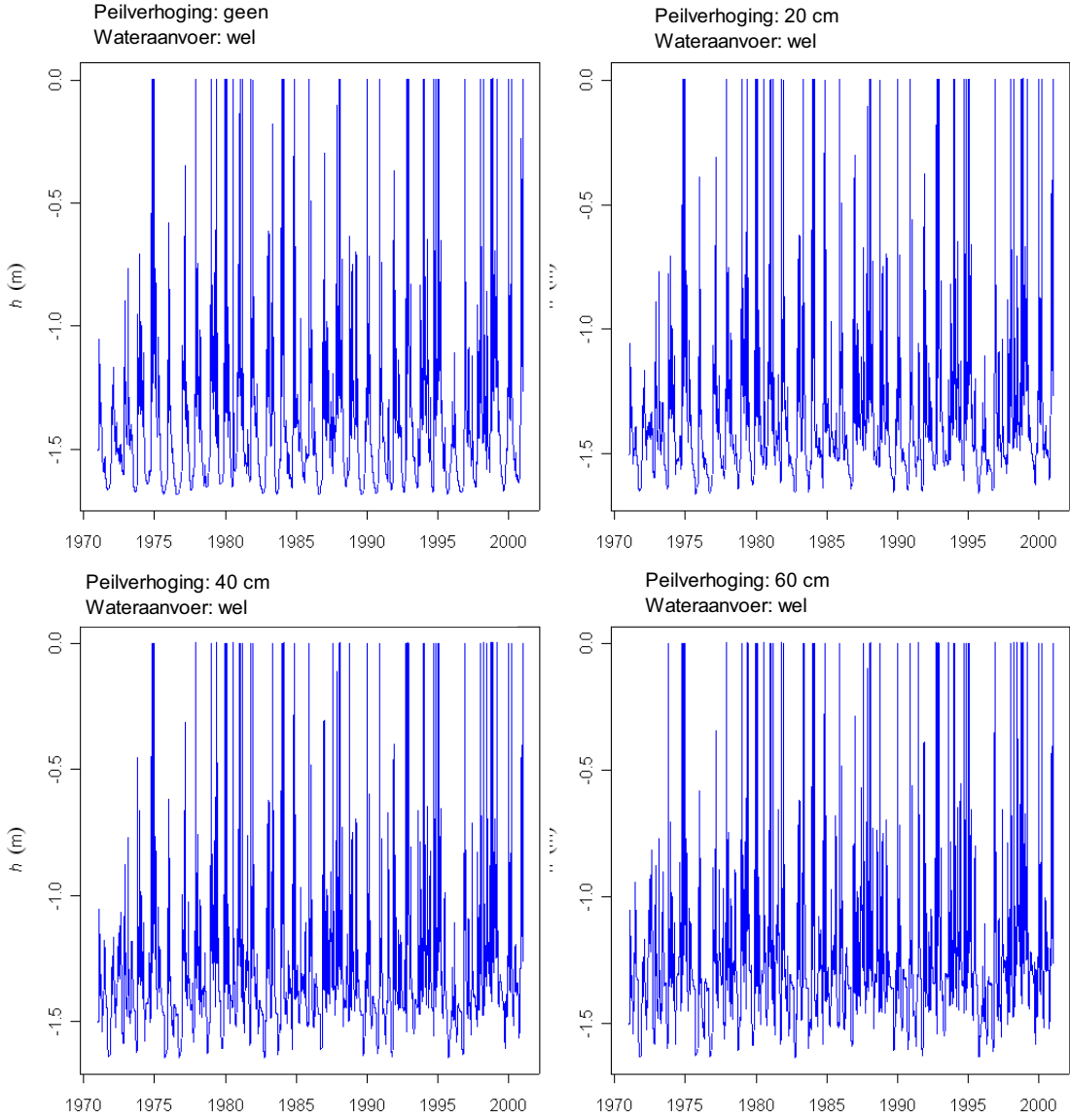


Bijlage 6: Opbrengsten van consumptieaardappel op het kleiprofiel

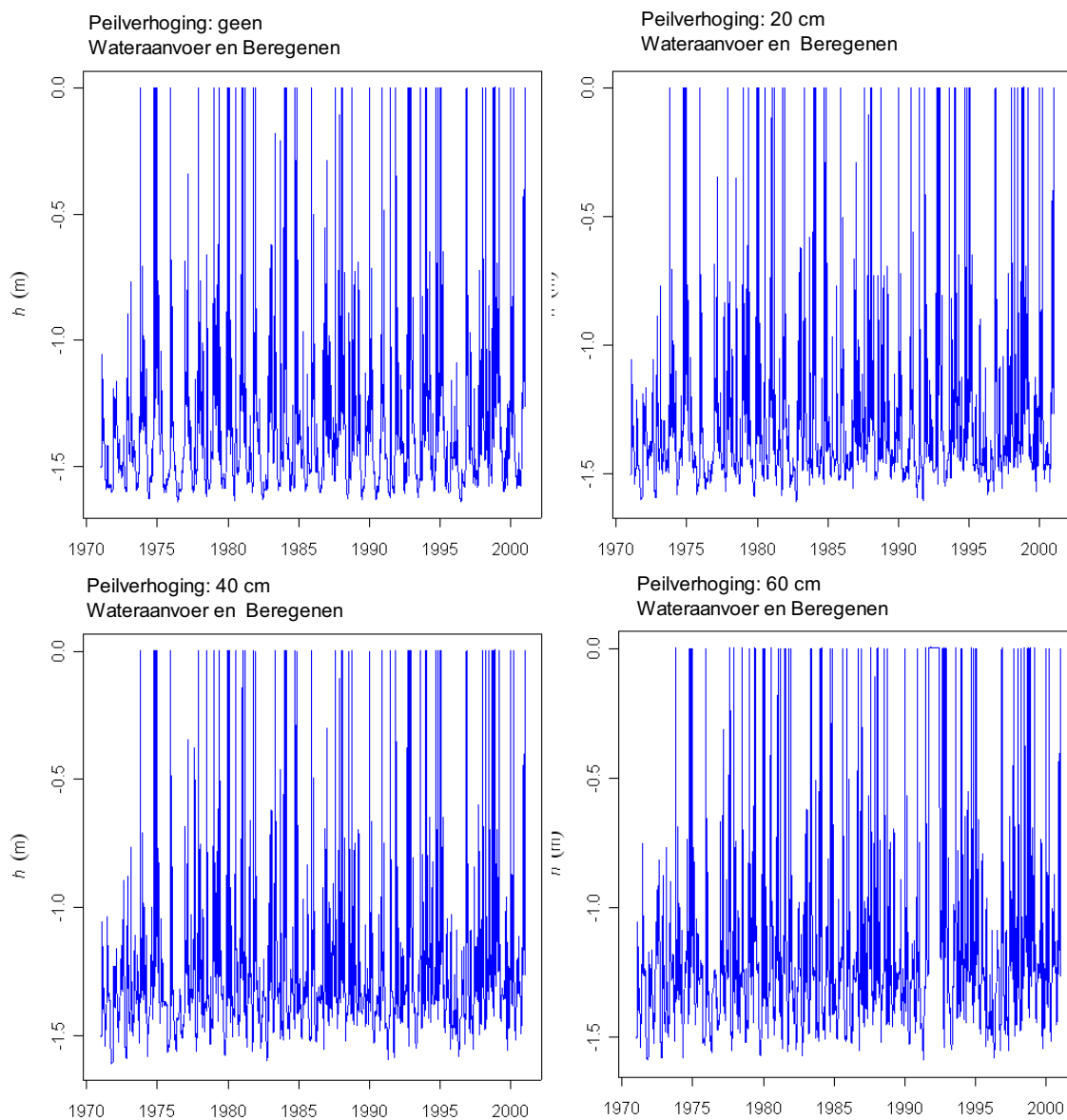
Codering: Peilverhoging 0, 20, 40 of 60 cm; W = wateraanvoer; G=geen wateraanvoer; Pot = potentiële opbrengst. De referentiewaarden zijn in blauw aangegeven; hogere waarden in groen; en lagere waarden in rood. NB: De waterbalans en daarmee de opbrengst kon voor het jaar 1992 beregenen niet goed berekend worden.

| peilverhoging | | niet beregenen | | | | | | | | beregennen | | | | | | | |
|---------------|-----------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 0 cm | | 20 cm | | 40 cm | | 60 cm | | 0 cm | | 20 cm | | 40 cm | | 60 cm | |
| jaar | pot | W | G | W | G | W | G | W | G | W | G | W | G | W | G | W | G |
| 71 | 15857 | 14854 | 14854 | 15095 | 15095 | 15337 | 15317 | 15533 | 15413 | 15554 | 15554 | 15601 | 15601 | 15660 | 15657 | 15657 | 15655 |
| 72 | 15636 | 15431 | 15431 | 15368 | 15368 | 15323 | 15335 | 15280 | 15273 | 15323 | 15323 | 15177 | 15177 | 15235 | 15236 | 15279 | 15273 |
| 73 | 15302 | 13177 | 13177 | 13548 | 13547 | 13906 | 13950 | 14470 | 14224 | 15007 | 15007 | 15028 | 15028 | 14970 | 14970 | 15104 | 15008 |
| 74 | 15918 | 15809 | 15809 | 15762 | 15762 | 15712 | 15767 | 15652 | 15764 | 15522 | 15522 | 15459 | 15460 | 15526 | 15381 | 15614 | 15463 |
| 75 | 13357 | 9362 | 9362 | 9843 | 9842 | 10503 | 10371 | 11357 | 10613 | 13156 | 13156 | 13131 | 13131 | 13240 | 13241 | 13170 | 13173 |
| 76 | 13138 | 7034 | 7034 | 7662 | 7659 | 8428 | 7809 | 9672 | 7807 | 13247 | 13247 | 13235 | 13236 | 13202 | 13207 | 13227 | 13135 |
| 77 | 14769 | 13476 | 13476 | 13733 | 13733 | 13999 | 14009 | 14209 | 14145 | 14307 | 14307 | 14297 | 14297 | 14103 | 14006 | 13775 | 13879 |
| 78 | 16335 | 15616 | 15616 | 15799 | 15799 | 15981 | 15957 | 16112 | 15983 | 16039 | 16039 | 15893 | 15885 | 15797 | 15768 | 15511 | 15725 |
| 79 | 15300 | 15294 | 15294 | 15369 | 15360 | 15399 | 15399 | 15404 | 15406 | 15245 | 15245 | 15325 | 15314 | 15324 | 15323 | 15333 | 15364 |
| 80 | 14433 | 13913 | 13913 | 13909 | 13866 | 13750 | 13752 | 13378 | 13604 | 13446 | 13446 | 13502 | 13469 | 13194 | 13162 | 12779 | 12845 |
| 81 | 15353 | 15018 | 15018 | 15043 | 15033 | 15038 | 15043 | 15044 | 14983 | 14975 | 14975 | 14974 | 14972 | 14913 | 14917 | 14718 | 14866 |
| 82 | 14508 | 11152 | 11152 | 11228 | 11226 | 11751 | 11475 | 12822 | 11534 | 14329 | 14329 | 14391 | 14384 | 14393 | 14407 | 14241 | 14398 |
| 83 | 13141 | 9215 | 9215 | 9686 | 9683 | 10309 | 10232 | 11114 | 10627 | 12924 | 12924 | 12868 | 12854 | 12916 | 12917 | 13072 | 13014 |
| 84 | 15055 | 14192 | 14192 | 14343 | 14408 | 14620 | 14615 | 14758 | 14644 | 14479 | 14479 | 14528 | 14546 | 14699 | 14752 | 14674 | 14734 |
| 85 | 15612 | 15343 | 15343 | 15326 | 15325 | 15314 | 15315 | 15136 | 15267 | 15086 | 15086 | 15012 | 14998 | 15125 | 15059 | 14532 | 14564 |
| 86 | 16060 | 10968 | 10968 | 11553 | 11552 | 12341 | 12166 | 13296 | 12202 | 15389 | 15389 | 15451 | 15455 | 15488 | 15568 | 15283 | 15554 |
| 87 | 13930 | 13462 | 13462 | 13214 | 13214 | 13194 | 13265 | 13143 | 13159 | 12908 | 12908 | 12849 | 12849 | 12743 | 12735 | 12617 | 12680 |
| 88 | 14960 | 14489 | 14489 | 14541 | 14540 | 14574 | 14572 | 14548 | 14570 | 14305 | 14305 | 14278 | 14290 | 14184 | 14300 | 13861 | 14221 |
| 89 | 14406 | 9272 | 9272 | 9927 | 9926 | 10765 | 10475 | 11936 | 10523 | 14480 | 14480 | 14411 | 14411 | 14573 | 14567 | 14514 | 14556 |
| 90 | 14525 | 11040 | 11040 | 11586 | 11585 | 12183 | 11876 | 13132 | 11877 | 14411 | 14411 | 14385 | 14386 | 14249 | 14348 | 14406 | 14343 |
| 91 | 13910 | 12996 | 12996 | 13157 | 13146 | 13332 | 13342 | 13321 | 13477 | 13456 | 13456 | 13537 | 13507 | 13325 | 13496 | 12621 | 12844 |
| 92 | 14263 | 12621 | 12621 | 12888 | 12887 | 13195 | 13182 | 13534 | 13189 | | | | | | | | |
| 93 | 15738 | 15211 | 15211 | 15230 | 15230 | 15217 | 15218 | 14709 | 15197 | 14883 | 14883 | 14846 | 14751 | 14442 | 14473 | 14196 | 14271 |
| 94 | 12987 | 11513 | 11513 | 11720 | 11720 | 12020 | 12007 | 12286 | 12203 | 12500 | 12500 | 12463 | 12463 | 12590 | 12467 | 12503 | 12527 |
| 95 | 12280 | 8689 | 8689 | 9111 | 9145 | 9667 | 9588 | 10320 | 9912 | 12195 | 12195 | 12149 | 12149 | 12163 | 12175 | 12241 | 12201 |
| 96 | 15352 | 12319 | 12319 | 12914 | 12908 | 13511 | 13020 | 14333 | 13020 | 15144 | 15144 | 15147 | 15147 | 15111 | 15134 | 15214 | 15150 |
| 97 | 13665 | 13202 | 13202 | 13306 | 13306 | 13422 | 13400 | 13443 | 13433 | 13227 | 13227 | 13045 | 13045 | 13168 | 13276 | 13101 | 13080 |
| 98 | 15331 | 14867 | 14867 | 14868 | 14875 | 14595 | 14594 | 14383 | 14387 | 14649 | 14649 | 14602 | 14609 | 14292 | 14282 | 13937 | 13944 |
| 99 | 14634 | 13635 | 13635 | 13870 | 13870 | 14133 | 14126 | 14306 | 14139 | 14191 | 14191 | 14168 | 14168 | 14178 | 14179 | 14248 | 14171 |
| 00 | 14968 | 14936 | 14936 | 14955 | 14951 | 14952 | 14947 | 14928 | 14931 | 14798 | 14798 | 14839 | 14839 | 14841 | 14814 | 14776 | 14714 |
| gem | 14691 | 12937 | 12937 | 13152 | 13152 | 13416 | 13337 | 13719 | 13384 | 14316 | 14316 | 14296 | 14290 | 14264 | 14270 | 14145 | 14185 |
| | % | 88.1 | 88.1 | 89.5 | 89.5 | 91.3 | 90.8 | 93.4 | 91.1 | 97.5 | 97.5 | 97.3 | 97.3 | 97.1 | 97.1 | 96.3 | 96.6 |
| | derving % | 11.9 | 11.9 | 10.5 | 10.5 | 8.7 | 9.2 | 6.6 | 8.9 | 2.5 | 2.5 | 2.7 | 2.7 | 2.9 | 2.9 | 3.7 | 3.4 |

Bijlage 7 Verloop grondwaterstand bij peilverhoging zonder beregenen bij het kleiprofiel

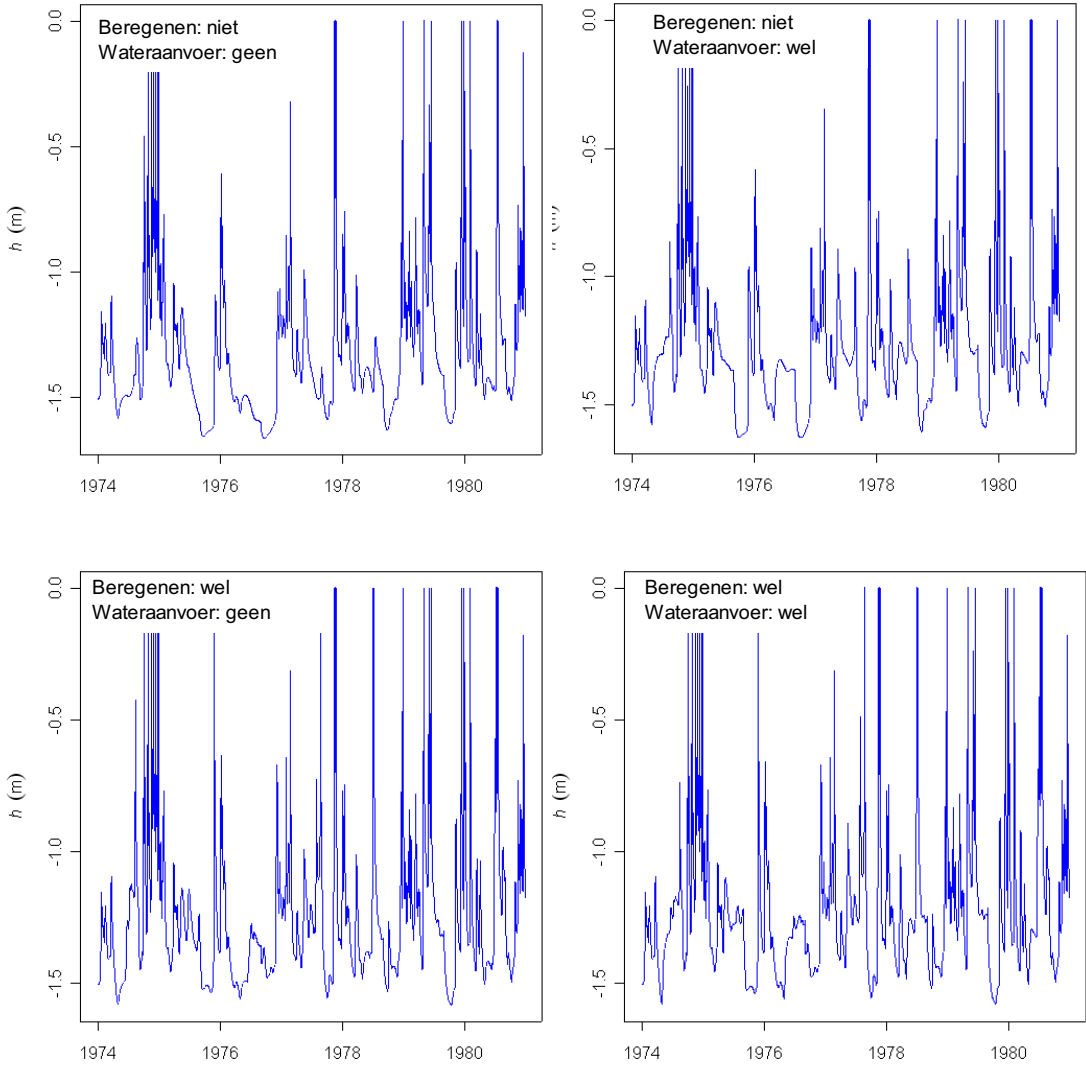


Bijlage 8: Verloop grondwaterstand bij peilverhoging met beregenen bij het kleiprofiel



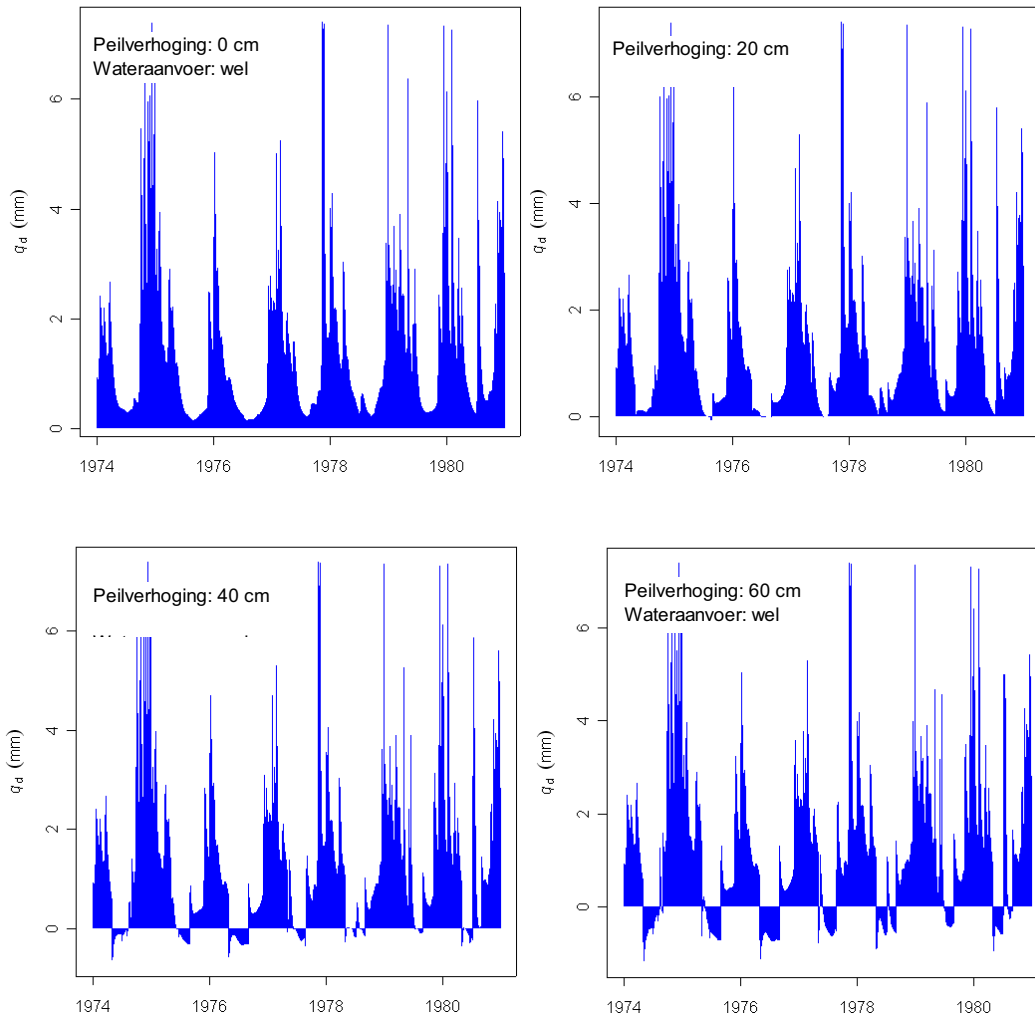
Bijlage 9: Grondwaterstandsverloop in de jaren 1974-1980 bij het kleiprofiel

Grondwaterstandsverloop (m mv) bij 60 cm peilverhoging



Bijlage 10: Dagelijkse waterfluxen (mm d^{-1}) in en uit het perceel zonder beregenen bij het kleiprofiel

Dagelijkse waterflux (mm d^{-1}). Positieve waarden drainage; negatieve waarden infiltratie



stelsel

· innovatie
