

# **Waterbeheer en indirecte eutrofiëring**

## **Effecten op het Weidekervelgrasland (*Sanguisorbo-Silaetum*) in de Hengstpolder nabij Sliedrecht**

**R.H. Kemmers**

**P.C. Jansen**

**S.P.J. van Delft**

**Alterra-rapport 413**

**Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2001**

## REFERAAT

Kemmers, R.H., P.C. Jansen en S.P.J. van Delft, 2001. *Waterbeheer en indirecte eutrofiëring: Effecten op het Weidekervelasland (Sanguisorbo-Silaetum) in de Hengstpolder nabij Sliedrecht*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 413. 72 blz. 20. fig.; 9 tab.; 25 ref.

In opdracht van Staatsbosbeheer is onderzocht of het huidige peilregime in het Weidekervelasland van de Hengstpolder de oorzaak kan zijn van geconstateerde verzuivering. Naast veldgegevens van bodem, waterhuishouding en vegetatie is experimenteel onderzocht of inundatie met sulfaathoudend oppervlaktewater leidt tot indirecte eutrofiëring. Geconcludeerd wordt dat inundatie leidt tot een geringe verhoging van de fosfaatconcentratie ongeacht het watertype. Inundatie van kalkrijke gronden leidt niet tot alkalisering en indirecte eutrofiëring door het in oplossing komen van Fe-P mineralen, maar tot verzuring en het in oplossing komen van Ca-P mineralen. De geconstateerde verzuivering kan niet in verband worden gebracht met verhoogde fosfaatconcentraties omdat de productie van de vegetatie door fosfor wordt beperkt. Geadviseerd wordt een peilregime in te stellen waarbij in de winter hogere en in de zomer lagere grondwaterstanden voorkomen.

Trefwoorden: Hengstpolder, indirecte eutrofiëring, kalkrijkdom, peilregime, weidekervelasland,

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €25 over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 413. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2001 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,  
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.  
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.nl

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

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alterra is de fusie tussen het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN) en het Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC). De fusie is ingegaan op 1 januari 2000.

# Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
2 Werkwijze	15
2.1 Verzameling veldgegevens	15
2.1.1 Profielbeschrijvingen	16
2.1.2 Bodembemonstering	17
2.1.3 Chemische analyses	18
2.2 Experimenteel onderzoek	18
2.3 Hydrologisch onderzoek	19
3 Veldwaarnemingen	21
3.1 Bodem en humusprofielen	21
3.2 Bodemchemische eigenschappen	24
3.3 Bodemvocht en redoxpotentiaal	24
3.4 Productiviteit gewas	25
4 Experimenteel onderzoek	27
4.1 Opzet experiment	27
4.2 Resultaten	29
4.2.1 Samenstelling inundatiewater	29
4.2.2 Verloop redoxpotentiaal	30
4.2.3 Verloop stofconcentraties	31
4.2.4 Relaties tussen variabelen	34
4.3 Bodemchemische evaluatie van de experimentele resultaten	36
4.3.1 Toetsing hypothese	36
4.3.2 Het model ECOSAT	36
4.3.2.1 Systemdefinitie	36
4.3.2.2 Berekeningen	37
4.3.2.3 Resultaten	38
4.4 Discussie en conclusies	39
4.4.1 Discussie	39
4.4.2 Conclusies	39
5 Hydrologisch onderzoek	41
5.1 Inleiding	41
5.2 Werkwijze	42
5.2.1 Beschrijving van het model	42
5.2.2 Gebruikte gegevens	43
5.2.3 Selectie van karakteristieken	46
5.3 Resultaten	47
5.3.1 Kalibratie	47
5.3.2 De actuele versus de vroegere situatie	48

5.3.3 Toekomstscenario	50
5.4 Discussie, conclusies en aanbevelingen	51
6 Synthese en conclusies	53
Literatuur	55
<b><i>Aanhangsels</i></b>	
1 Verklaring coderingen in profielbeschrijvingen	57
2 Profielbeschrijvingen	63
3 Redoxpotentialen per grondkolom tijdens het experiment	67
4 Concentratie van stoffen per grondkolom tijdens het inundatie-experiment	69
5 Resultaten Ecosat	71





## Woord vooraf

Het Weidekervelgrasland is in Nederland een uiterst zeldzame plantengemeenschap, waarvan de belangrijkste vindplaats voorkomt in de Hengstpolder in de Zuidhollandse Biesbosch. In de jaren negentig is in de Hengstpolder een geleidelijke verruiging geconstateerd van deze plantengemeenschap. Deze verruiging werd in verband gebracht met een verandering van het peilbeheer sinds 1985. Daarbij werden de fluctuaties van de grondwaterstand die onder invloed van de rivier de Merwede tot stand komen afgevlakt. Met name de zomergrondwaterstanden hebben daardoor een hoger niveau gekregen. Uit een verkennend onderzoek ter onderbouwing van mogelijke maatregelen ter bestrijding van deze verruiging werd geconcludeerd dat het sterk geëxtensiveerde waterbeheer de voornaamste oorzaak van de achteruitgang is. De verruiging werd in verband gebracht met vernatting als gevolg van hogere zomerpeilen in de polder en een daarop volgende versterkte mineralisatie onder invloed van sulfaatrijk oppervlaktewater.

In vervolg op het verkennend onderzoek heeft Staatsbosbeheer aan Alterra verzocht te onderzoeken of de verruiging inderdaad in verband kan worden gebracht met een vergrote invloed van het met sulfaat verrijkte oppervlaktewater en in hoeverre de dynamiek van de rivier via een geautomatiseerd peilbeheer zou kunnen worden teruggebracht.

Het onderzoek werd uitgevoerd in de periode april tot november 2001. Naast experimenteel onderzoek werden ook waarnemingen in het veld verricht. De overtocht naar de polder werd steeds verzorgd door de terreinbeheerder Jacques van der Neut, die ons ook in het veld wegwijs maakte en uitleg gaf. Vanuit Staatsbosbeheer werd het onderzoek geïnitieerd en begeleid door de ecologisch onderzoeker Han Sluiter, die er ook voor zorgde dat wij de beschikbare gegevens en kaarten konden gebruiken. Aan beide medewerkers zijn wij dank verschuldigd voor hun enthousiaste bijdragen.





## Samenvatting

Het Weidekervelgrasland is in Nederland een uiterst zeldzame plantengemeenschap, waarvan de belangrijkste vindplaats voorkomt in de Hengstpolder in de Zuidhollandse Biesbosch. In de jaren negentig is in de Hengstpolder een geleidelijke verruiging geconstateerd van deze plantengemeenschap. Deze verruiging werd in verband gebracht met een verandering van het peilbeheer sinds 1985. Daarbij werden de fluctuaties van de grondwaterstand die onder invloed van de rivier de Merwede tot stand komen afgevlakt.

Een vooronderzoek ter onderbouwing van herstelmaatregelen (Bakker en al., 1999) leidde tot de hypothese dat de verruiging waarschijnlijk het gevolg is van indirecte eutrofiëring waarvoor de sulfaathoudende kwaliteit van het toestromende rivierwater verantwoordelijk wordt gehouden. In opdracht van Staatsbosbeheer is nader onderzoek uitgevoerd om deze hypothese te onderbouwen. Tevens werd onderzocht in hoeverre via een peilgestuurd grondwaterbeheer de dynamiek van de rivier in de polder zou kunnen worden teruggebracht. Het onderzoek moet ertoe bijdragen dat Staatsbosbeheer een instrument in handen krijgt waarmee waterbeheer gericht op een duurzaam behoud van het vegetatietype mogelijk wordt. Omdat de oorzaak van de verruiging wordt toegeschreven aan een veranderd waterbeheer, heeft het onderzoek zich gericht op de relatie tussen peilbeheer en indirecte eutrofiëring.

Het onderzoek is uitgevoerd in drie onderdelen:

1. Verzameling van veldgegevens over bodem (opbouw en chemie), hydrologie (waterstanden, bodemvocht en aeratie c.q. redoxpotential) en vegetatie (gewasproductie) bij drie peilbuizen ter onderbouwing van onderdeel 2 en 3.
2. Experimenteel onderzoek naar effecten van inundatie op de nutriëntenuishouding ter toetsing van de hypothese over de relatie tussen waterkwaliteit, indirecte eutrofiëring en verruiging.
3. Simulatie van de waterhuishouding van de Hengstpolder met het hydrologische model SWAP en afleiding van relaties tussen oppervlaktewaterpeilen en grondwaterpeilen.

De bodems onder de Weidekervelvegetatie in de Hengstpolder bestaan uit nauwelijks verweerde klei die tot in de bovenste bodemhorizont kalkrijk is. Het humusprofiel wijst op een intensieve afbraak van organische stof, zodat voedingstoffen door mineralisatie ruim beschikbaar zijn. Op de natste plekken heeft zich meer organische stof opgehoopt als gevolg van een minder actief bodemleven. Het fosfaat in de bodem komt voor 33% tot 46% voor in anorganische vorm.

In de zomerperiode van mei tot oktober daalt de grondwaterstand tot maximaal 50 a 60 cm-mv. De redoxpotential is goed gecorreleerd aan de grondwaterstand en varieert in de zomer tussen 100 en 500 mV. In de zomerperiode wordt geen oppervlaktewater ingelaten. Wel dringt er water de polder binnen via de zandbanen

in de ondergrond. Dit water staat hydraulisch in contact met het water in de Nieuwe Merwede.

De productie van de vegetatie blijkt in de voorzomer door stikstof beperkt te worden en varieert van 2,5 ton.ha<sup>-1</sup> op de droogste en 4 ton.ha<sup>-1</sup> op de natste standplaats.

Voor het inundatie-experiment werden grondkolommen aan 4 verschillende behandelingen onderworpen, die elk in 3-voud werden uitgevoerd:

1. Anaërobe behandeling met sulfaatrijk oppervlaktewater;
2. Aerobe behandeling met sulfaatrijk oppervlaktewater;
3. Anaërobe behandeling met sulfaatvrij kalkverzadigd 'kwel'water;
4. Aerobe behandeling met sulfaatvrij kalkverzadigd 'kwel'water.

In de verschillende behandelingen werd gedurende een periode van drie maanden het verloop gemeten van de redoxpotentiaal, de concentratie van sulfaat, ijzer, nitraat, ammonium, fosfaat, kalium, calcium, chloride, anorganisch koolstof en de pH. Hoewel er in een aantal variabelen tijdens het experiment een verloop optreedt, zijn er aan het eind van het experiment geen significante verschillen tussen de geïnundeerde en de niet-geïnundeerde behandelingen. De gemeten concentraties van de stoffen aan het einde van het experiment in aerobe series verschillen niet significant van de anaërobe series. Evenmin is er aan het einde van het experiment een significant effect te meten van het watertype: aan het einde zijn er geen verschillen tussen de series met sulfaathoudend water en sulfaatvrij kwelwater.

Uit het experiment kan worden geconcludeerd dat er geen aanwijzingen zijn dat ondanks reducerende omstandigheden ijzer-fosfaat verbindingen in oplossing komen, waardoor de fosfaatconcentratie zou stijgen in het bodemvocht;

Uit de berekeningen met het chemische evenwichtmodel ECOSAT blijkt dat de experimentele waarnemingen goed zijn te verklaren. Hoewel in de kalkrijke grond van de Hengstpolder door inundatie geen effecten van indirecte eutrofiëring optreden via oplossing van ijzerfosfaatmineralen onder reducerende omstandigheden, kan er wel een eutrofiëring optreden door het in oplossing komen van calciumfosfaatmineralen als gevolg van een pH daling door reductie onder kalkrijke omstandigheden. Tevens blijkt dat er geen verschillen optreden tussen de behandelingen tijdens het experiment. Zowel inundatie met oppervlaktewater als met 'kwelwater' hebben eenzelfde effect:

Bij het hydrologisch onderzoek is gebruik gemaakt van het model SWAP. Het model is ontwikkeld ten behoeve van de landbouw om aan de hand van een gesimuleerde vochthuishouding uitspraken te kunnen doen over de gewasopbrengst. Maar door de onderliggende fysiologische processen is het model ook in algemene zin goed toepasbaar en kan het bijvoorbeeld ook worden ingezet om de vochthuishouding van meer natuurlijke vegetaties te beschrijven.

Van drie plekken (buis 1, 2 en 5) zijn gegevens verzameld om de grondwaterstand te kunnen simuleren in afhankelijkheid van het oppervlaktewaterpeil, de bodemfysische

eigenschappen, drainage karakteristieken, verdampings- en neerslaggegevens en gewaseigenschappen. De resultaten werden gecalibreerd door berekende grondwaterstanden te vergelijken met meetgegevens uit de periode 1997-1998. Met het gecalibreerde model werd het grondwaterstandregime berekend voor de periode voor 1985 met behulp van bekende gegevens over het toen gangbare peilbeheer. Hieruit zijn gemiddelde hydrologische kengetallen berekend.

Uit het hydrologisch onderzoek kan worden geconcludeerd dat in tegenspraak met de veronderstelling van Bakker et al. (1999) de waterhuishouding in de Hengstpolder afhankelijk is van de omgeving. Voorts dat het oppervlaktewaterregime in de Hengstpolder een cruciale rol speelt voor de grondwaterstand en de vochtvoorziening van de vegetatie. De veranderingen in het peilbeheer na 1985 resulteerden in een droger voorjaar, een beduidend nattere zomer en een kleiner vochttekort in de zomer. In de actuele situatie is de GLG ongeveer 25 cm hoger dan in de vroegere situatie. In vergelijking met de vroegere situatie is de GHG 3 cm hoger geworden. Het verloop van de gemiddelde luchtfractie op 11 cm diepte in de wortelzone laat zien dat er minder lucht in de actuele situatie aanwezig is waardoor een sterkere reductie zal optreden. Ook is een faseverschuiving opgetreden in de luchthuishouding. In de actuele situatie is er in het voorjaar meer bodemlucht terwijl dat in het najaar veel minder is.

Met het model is een toekomstscenario opgesteld voor een regime waarmee de vroegere grondwaterkarakteristieken zo goed mogelijk benaderd worden met een zo gering mogelijk arbeidinzet. Dit regime gaat uit van een plas-/dras situatie in de maanden januari en februari zoals dat in de actuele situatie ook wordt nagestreefd. Vervolgens wordt tot 1 juni een vrij hoog peil aangehouden en van juni tot december een langdurig laag peil.

Hoewel inundatie vooral een (gering) fosfaateffect lijkt te hebben is het merkwaardig dat de vegetatie door stikstof in zijn productiviteit wordt beperkt. Fosfaatverrijking zou derhalve niet productieverhogend en verruigend uitwerken. De verruiging van de vegetatie lijkt zich met name te uiten in een toename van riet. Dit kan in verband worden gebracht met de minder extreme hoge winterstanden van het grondwater sinds de 80-er jaren. Riet is zeer gevoelig voor inundatie in een periode zeer kort na het maaien. Dit pleit ervoor de winterstanden weer wat op te zetten. *Pimpernel* en *Weidekervel* lijken eerder gebonden aan dynamische milieus dan aan rustige milieus en zouden daarom wel beter thuishoren bij de dynamiek van het waterbeheer van voor 1985. Uit het hydrologisch onderzoek komt naar voren dat vooral in de zomerperioden aanzienlijk hogere grondwaterstanden en een sterkere mate van anaërobie optreden dan in het verleden. Als er al een eutrofiëringseffect optreedt in de Hengstpolder, is dat het gevolg van de reactieketen: anaërobie, verzuring, oplossing calciumfosfaatmineralen, verhoogde fosfaatconcentratie. Dit pleit ervoor de zomergrondwaterstanden weer wat dieper te laten wegzakken dan nu het geval is.

De conclusie moet dan luiden dat alle argumenten aanwezig zijn om het waterregime weer iets dynamischer te maken. Een toekomstig scenario voor het stuwbeheer is daartoe beschikbaar.



# 1 Inleiding

## **Achtergrond**

Het Weidekervelgrasland (*Sanguisorbo-Silaetum*, Schaminée et al., 1996) is in Nederland een uiterst zeldzame plantengemeenschap, waarvan de belangrijkste vindplaats voorkomt in de Hengstpolder in de Zuidhollandse Biesbosch. Deze plantengemeenschap komt voor op vochtige basenrijke, voedselrijke gronden, die bij hoge rivierstanden in de winter en het vroege voorjaar een tijdlang onder water kunnen staan, maar 's zomers oppervlakkig uitdrogen. Tussen 1970 en 1990 werd de waterhuishouding dagelijks geregeld, waarbij gestreefd werd naar plas-dras situaties en afvoer van overtollig regenwater. Daarbij werd in de winter regelmatig rivierwater ingelaten en weer uitgelaten via een klepstuw, waarbij gebruik gemaakt werd van het getijverschil dat in de rivier aanwezig was. Na uitlaat van het rivierwater werd een periode van berging met regenwater toegestaan. Vanaf het voorjaar werd een peil aangehouden van 30 cm-mv. en in de zomer van 75 cm-mv. Dit beheer resulteerde in een dynamisch grondwaterstandverloop met een relatief grote amplitude met zowel langdurig natte (al dan niet geïnundeerd) en droge perioden.

Vanaf 1990 is het waterbeheer gewijzigd, wat geresulteerd heeft in een minder dynamisch en gelijkmatiger grondwaterregime, waarbij hoge grondwaterstanden lager zijn geworden en lage grondwaterstanden hoger zijn geworden.

## **Probleemstelling**

Staatsbosbeheer heeft een nationale verantwoordelijkheid voor het behoud van het unieke weidekervelgrasland. In de jaren negentig is in de Hengstpolder echter een geleidelijke verruiging geconstateerd van de Weidekervelvegetatie. Een mogelijke oorzaak van de verruiging is de verandering in de waterhuishouding van het laatste decennium (Bakker et al., 1999). Op lagere terreindelen is hierdoor sprake van vernatting met sulfaathoudend water wat mogelijk indirecte eutrofiëring tot gevolg heeft. Verdere verruiging kan tot gevolg hebben dat het voor Nederland zeldzame Weidekervel-grasland verloren gaat.

Een vooronderzoek ter onderbouwing van herstelmaatregelen (Bakker et al., 1999) leidde tot de hypothese dat de verruiging waarschijnlijk het gevolg is van indirecte eutrofiëring waarvoor de sulfaathoudende kwaliteit van het toestromende rivierwater verantwoordelijk wordt gehouden. Nader onderzoek om deze hypothese te onderbouwen wordt door het vooronderzoek aanbevolen. Tevens werd op basis van de resultaten van het vooronderzoek een pleidooi gehouden om te onderzoeken in hoeverre via een peilgestuurd grondwaterbeheer de dynamiek van de rivier in de polder zou kunnen worden teruggebracht.

## **Projectdoelstelling**

Het onderzoek moet ertoe bijdragen dat Staatsbosbeheer een instrument in handen krijgt waarmee waterbeheer gericht op een duurzaam behoud van het vegetatietype mogelijk wordt. Omdat de oorzaak van de verruiging wordt toegeschreven aan een

veranderd waterbeheer, zal het onderzoek zich richten op de relatie tussen peilbeheer en indirecte eutrofiëring. De uiteindelijke doelstelling is het beschikbaar komen van een operationele methode van peilgestuurd grondwaterbeheer zonder effecten van indirecte eutrofiëring.

Tijdens het onderzoek zal de hypothese worden getoetst dat indirecte eutrofiëring de oorzaak van de gesignaleerde verzuivering is. Tevens zal daarbij het verband worden gelegd tussen indirecte eutrofiëring, waterkwaliteit, grondwater- en oppervlaktewaterpeil. Tenslotte zal een protocol worden opgesteld waarin richtlijnen zijn geformuleerd voor een peilbeheer waarbij effecten van indirecte eutrofiëring worden voorkomen.

### ***Projectafbakening***

Voor het hydrologisch onderzoek zijn geen nieuwe gegevens verzameld. Er is gebruik gemaakt van de bestaande gegevens. Het onderzoek heeft zich toegespitst op drie standplaatsen: een droge plek, een natte plek en een natte verzuiverde plek.

### ***Leeswijzer***

Na deze inleiding wordt in hoofdstuk 2 de globale werkwijze uiteengezet, waarbij veldonderzoek, experimenteel onderzoek in het laboratorium en hydrologisch modelonderzoek is verricht. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van gegevens die in het veld zijn verzameld en het gebied karakteriseren: bodemkundige gegevens, bodemchemische eigenschappen, grondwaterstanden en bodemvochtgehalten, redoxpotentialen en de productiviteit van het gewas. Hoofdstuk 4 beschrijft de opzet en resultaten van een experiment waarbij de effecten van inundatie in een aantal grondkolommen zijn bestudeerd. De resultaten worden getoetst met een chemisch evenwichtsmodel. Hoofdstuk 5 behandelt het hydrologisch modelonderzoek waarin de effecten van het oude, het huidige en het mogelijk toekomstige peilbeheer op de grondwaterstanden wordt gesimuleerd. Tenslotte worden in hoofdstuk 6 alle bevindingen bij elkaar gevoegd tot een synthese, waarop ons advies is gebaseerd.

## 2 Werkwijze

Het uitgevoerde onderzoek kan worden opgesplitst in drie onderdelen:

4. Verzameling veldgegevens ter onderbouwing van onderdeel 2 en 3.
5. Experimenteel onderzoek naar effecten van inundatie op de nutriëntenhuishouding ter toetsing van de hypothese over de relatie tussen waterkwaliteit, indirecte eutrofiëring en verzuuring.
6. Simulatie van de waterhuishouding van de Hengstpolder met het hydrologische model SWAP en afleiding van relaties tussen oppervlaktewaterpeilen en grondwaterpeilen.

### 2.1 Verzameling veldgegevens

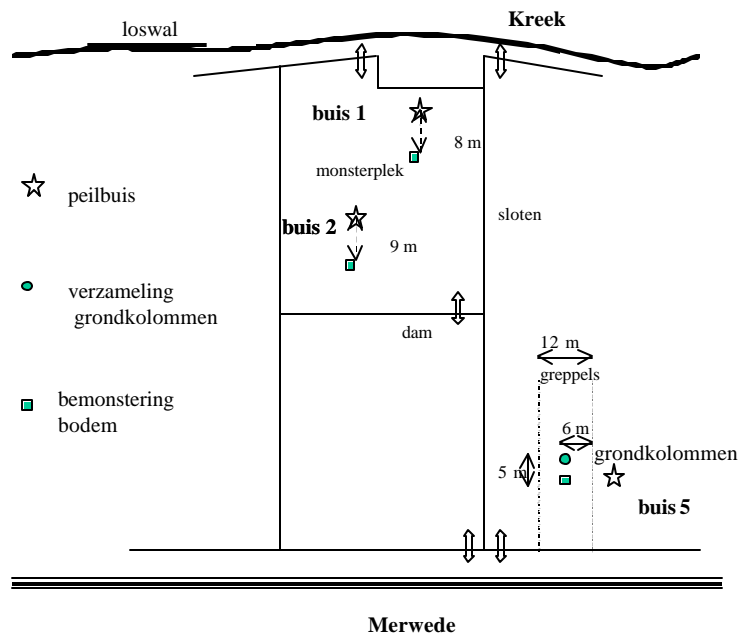
Op basis van het verkennende onderzoek van Bakker et al. (1998) werden drie locaties nabij bestaande peilbuizen geselecteerd voor ons onderzoek.:

Peilbuis 1: Droge, productieve omstandigheden

Peilbuis 2: Natte, laagproductieve omstandigheden

Peilbuis 5: Natte, regelmatig geïnundeerde, verzuigde omstandigheden

In figuur 1 zijn de exacte locaties weergegeven.



Figuur 1 Positie van de onderzochte locaties in de Hengstpolder

Van elke locatie werd het bodem en humusprofiel beschreven (zie 2.1.1). Bij locatie 5 werd bodemmateriaal verzameld voor het experiment (zie 2.1.2). Bij elke locatie werd op 9 mei, 11 juni en 4 oktober de redoxpotentiaal en het bodemvochtgehalte (TDR) gemeten en indien mogelijk bodemvocht verzameld voor chemische analyse (zie

2.1.3). Op 11 juni werd op elke locatie een gewasmonster geoogst (25x25 cm) om de productiviteit (drooggewicht, standing crop) te meten en de N, P en K-gehalten (Kjeldahldestructie) te bepalen om vast te kunnen stellen welke factoren beperkend zijn voor de productie (Koerselman, ).

### **2.1.1 Profielbeschrijvingen**

De humusprofielen zijn beschreven door met een humushapper een deel van het profiel uit te steken en de kenmerken hiervan te beschrijven. Voor een humusprofielbeschrijving wordt het profiel beschreven tot 40 cm – mv. De rest van het profiel hebben we met een edelmanboor verder uitgeboord tot in de verzadigde zône, en met een zuigerboor (Van der Staaiboor) tot een maximale boringsdiepte van 180 cm. Voor meer achtergrondinformatie bij de beschrijving van humusprofielen en de classificatie van humusvormen verwijzen we naar de betreffende literatuur: (Green et al. 1993; Van Delft, 1995; Kemmers en De Waal, 1999; Kemmers et al. 2001; Van Delft, 2001).

De profielbeschrijvingen bestaan uit een algemeen gedeelte en de informatie per laag. In het algemene gedeelte staat informatie over de locatie. Tevens worden hier gegevens over het profiel samengevat. De meeste van deze gegevens spreken voor zich. In aanhangsel 1 worden ze kort toegelicht.

Bij de profielbeschrijvingen hebben we de volgende kenmerken van de horizonten gemeten of geschat:

- typering van de horizont, op grond van moedermateriaal en bodemvorming. Dit komt tot uiting in de Horizontcode (zie tabel 1)
- begin- en einddiepte van de horizont
- vorm en afmeting van de grens
- organische stofgehalte
- aard van de organische stof of de veensoort
- textuur (% lutum, % leem en zandgrofheid)
- pH van een aantal horizonten, bepaald met indicatorstrookjes
- kalkklasse
- geologische formatie
- structuurtype
- dichtheid, dikte en oriëntatie van aanwezige wortels

Voor een efficiënte en consequente opname van deze kenmerken is gebruik gemaakt van coderingen die verklaard worden in aanhangsel 1. De profielbeschrijvingen zijn opgenomen in aanhangsel 2 en worden besproken in paragraaf 3.1.

Op basis van de diktes van verschillende horizonten hebben we bepaald bij welke humusvorm het profiel gerekend moet worden. De gebruikte humusvormtypologie wordt besproken in het rapport “Ecologische typering van bodems; Deel 2 Humusvormtypologie voor korte vegetaties” (Van Delft, 2001).



Tabel 1 Codering van de horizonten in de Hengstpolder.

Code	Toevoeging	Omschrijving
AMh		Overgangshorizont tussen een Ah- en een M-horizont (M-horizont komt niet voor in de Hengstpolder). Deze horizont is ontstaan door accumulatie van wortels in een minerale Ah horizont. (% humus < 30)
Ah		Niet verwerkte, minerale A-horizont die door natuurlijke processen is verrijkt met organische stof
AC		Overgangshorizont tussen A en C
C		Minerale horizont die weinig of niet is veranderd door bodenvormende processen.
	g	horizont met roestvlekken
	gr	gedeeltelijk gereduceerde horizont met roestvlekken
	r	geheel gereduceerde horizont

## 2.1.2 Bodembemonstering

### Grondmonsters

Op basis van de beschrijving van het humusprofiel werden met een humushapper zowel de dagzomende horizont (Ah- of AMh) als de onderliggende AC horizont verzameld (zie tabel 1). Van elke horizont werden op elke locatie enkele deelmonsters samengevoegd tot een mengmonster. Van de monsters werd in het laboratorium de vochtfractie gescheiden van de vaste fractie via vacuümfiltratie. Zowel in de vochtfractie als de vaste fractie werden chemische analyses uitgevoerd.

Tabel 1 Diepte en aard van bemonsterde horizonten bij de verschillende peilbuizen

Horizont	Locatie		
	Peilbuis 1	Peilbuis 2	Peilbuis 5
Ah	0-10		
AMh		0-10	0-5
C	15-25	20-30	13-20

### Grondkolommen

Op 9 mei is nabij buis 5 (zie figuur 1) een stukje grond afgeplagd van ca. 75 x 75 cm. De AMh horizont (ter dikte van ca. 7 cm) werd verwijderd. Van de onderliggende Ah horizont (overgaand in AC) werd met een PVC-cilinder ( 8,5 cm hoogte, Ø 10 cm) een grondkolom gestoken. Hiertoe werd een stalen snijring gemonteerd aan de onderzijde van de PVC-ring die vervolgens met een metalen stempel de grond werd in gedreven met een rubber hamer. Daarna werd de kolom uitgegraven met een schop, de snijring en stempel verwijderd en de uitpuilende grond met een mes afgesneden. De cilinder werd aan weerszijden afgedekt met een sluitende deksel, die in het midden was voorzien van een boorgat (Ø 1 cm) dat met cellotape was afgeplakt. De cilinders werden 's avonds naar het lab gebracht en in een klimaatkamer (15 °C, rel hum 70%) bewaard.

Van dezelfde diepte werden ca 5 meter verderop mengmonsters verzameld voor chemische analyse.

### 2.1.3 Chemische analyses

#### **Vaste fase**

Het chemisch onderzoek is beperkt tot de vaste fractie, omdat via vacuümfiltratie onvoldoende vocht kon worden onttrokken aan de kleigrond. Ter indicatie van de concentraties in het bodemvocht is gebruik gemaakt van de analysegegevens van Bakker et al.(1999).

Na scheiding van de vochtfractie werd de vaste fase gedroogd (<35 °C, 40-50 uur), gemalen (0,5 mm) en bij 10 °C bewaard. Van de vaste fractie werden de volgende analyses uitgevoerd door het bureau Giessen & Geurts:

- pH-KCl (potentiometrisch; 1:2,5)
- Organische stof (4 uur, 350 °C)
- Uitwisselbaar  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  ( $\text{BaCl}_2$  extract volgens Bascomb, AAS)
- Uitwisselbaar  $\text{H}^+$  (pH=8,1 volgens Bascomb)
- Fe-totaal (Koningswaterextract, AAS)
- Actief-Al en -Fe (oxalaat extractie ter bepaling amorfe verbindingen, ICP/AES)
- Potentieel beschikbaar-Al (extractie met 0,43N  $\text{HNO}_3$  voor kristallijne verbindingen)
- P-oxalaat (Fe en Al gebonden fosfaat)
- P- en N-totaal (Kjeldahl destructie)
- Pyriet (Begheijn et al., 1978; werkgroep pyriet)

De analyseresultaten zijn onder andere gebruikt voor de calibratie van een chemische evenwichtsmodel (zie 2.2).

### 2.2 Experimenteel onderzoek

Uit onderzoek van Lamers et al. (1998) blijkt dat onder anaërobe omstandigheden als gevolg van inundatie met sulfaatrijk water de stikstofmineralisatie in de bodem kan worden gestimuleerd en fosfaat beschikbaar kan komen. Fosfaat komt beschikbaar omdat van het moeilijk oplosbare Fe(III)-P het  $\text{Fe}^{3+}$ -ion wordt gereduceerd tot  $\text{Fe}^{2+}$ , waardoor de oplosbaarheid toeneemt. Indien tevens sulfaat wordt gereduceerd tot sulfide kan er pyrietvorming plaatsvinden. Deze stof is zeer slecht oplosbaar, zodat bij anaërobie uiteindelijk al het Fe(III)-P wordt omgezet in FeS, waarbij fosfaat in oplossing achterblijft en beschikbaar komt voor de vegetatie. Dit proces wordt indirecte of interne eutrofiëring genoemd.

Onder zure omstandigheden is reductie een zuurconsumerend proces wat tot een hogere alkaliniteit leidt. De biologische activiteit van de bodem neemt hierdoor toe, waardoor de stikstofmineralisatie wordt gestimuleerd. Onder basische, kalkrijke omstandigheden is reductie juist een zuur producerend proces. Reductie leidt daarom uiteindelijk onder alle omstandigheden tot een neutrale zuurgraad.

Door Bakker et al. (1998) wordt vermoed dat interne eutrofiëring de oorzaak van de geconstateerde verzuivering in de Hengstpolder is.

In het experimentele onderzoek wordt de hypothese getoetst dat onder anaërobe omstandigheden de aanvoer van sulfaathoudend water leidt tot mobilisatie van fosfaat en versterkte stikstofmineralisatie.

### **2.3 Hydrologisch onderzoek**

De bestaande hydro(geo-)logische gegevens zijn verzameld om het hydrologisch systeem van de Hengstpolder met het hydrologische model SWAP (van Dam et al., 1997) te kunnen beschrijven. In het model SWAP is het oppervlaktewatersysteem gekoppeld aan het grondwatersysteem en kunnen hydrologische karakteristieken zoals sloot- en drainageweerstand worden ingevoerd. Als onderrand kan een kwel of wegzijging worden ingevoerd of een potentiaal van het grondwatervoerend pakket. Gegevens over neerslag minus verdamping werden verzameld om gebruikt te kunnen worden als bovenrandvoorwaarde. Sloot- en greppelafstanden en slootpeilen werden ingevoerd om de drainage naar het oppervlaktewatersysteem te berekenen.

Het model is geïjkt aan datareeksen van de grondwaterstand die in het gebied op drie standplaatsen (peilbuis 1, 2 en 5) zijn verzameld. Met behulp van het geïjkte model is het grondwaterregime gesimuleerd dat overeenkomt met de duurlijnen uit de tachtiger jaren. Naast grondwaterstanden zijn tevens berekeningen uitgevoerd voor het bodemvochtgehalte en is het daaraan complementaire bodemluchtgehalte berekend. Daarmee kan een verband worden gelegd tussen het grondwaterregime en perioden met anaërobe omstandigheden, waarin reducerende processen een rol spelen.

De gevonden relatie tussen oppervlaktewaterpeil, grondwaterstand en aeratie vormt de basis voor een protocol voor het operationele waterbeheer, gericht op voorkoming van indirecte eutrofiëring.



### 3 Veldwaarnemingen

#### 3.1 Bodem en humusprofielen

De bodem in de Hengstpolder is ontwikkeld in zeeklei-afzettingen op matig fijn zand die behoren tot de formatie van Tiel (Damoiseaux en Vos, 1987; Mekking et al., 1999). Ze worden gerekend tot de fluviatiele beïnvloede, zoete getijdenafzettingen. In deze afzettingen komen resten van kreekruigen en geulen voor. Door de Hengstpolder loopt waarschijnlijk een oude stroomrug, waardoor kwelwater makkelijker tot bovenin het profiel kan doordringen (Bakker et al. 1999). Uit onze profielbeschrijvingen en die van Bakker et al. blijkt dat de begindiepte van zandige afzettingen sterk kan variëren.

De profielbeschrijvingen die wij hebben gemaakt bij de meetplekken hebben we opgenomen in aanhangsel 2. In figuur 2 hebben we een foto opgenomen van de vegetatie en het humusprofiel bij buis 2.

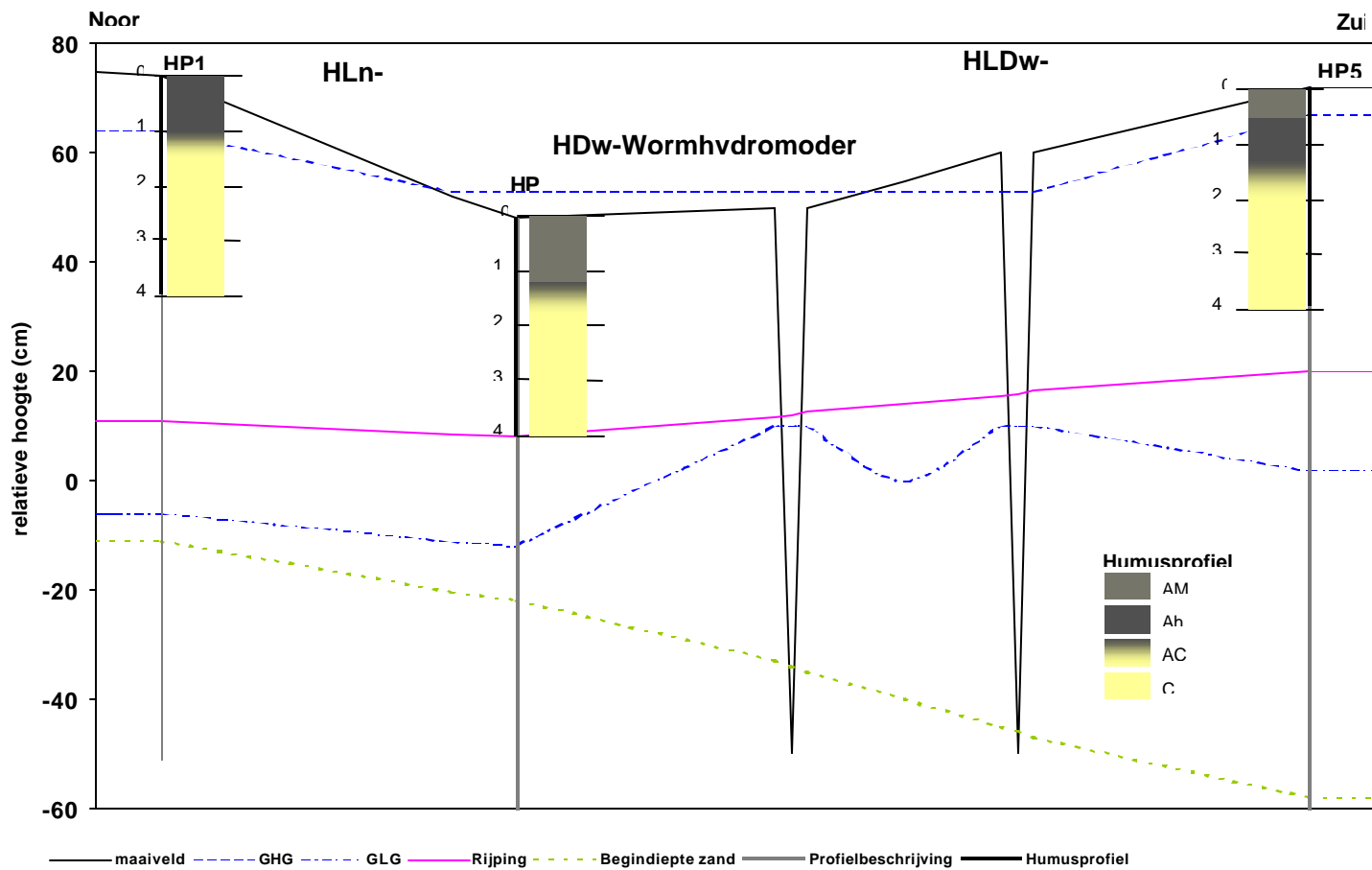


*Figuur 2 Vegetatie en humusprofiel bij buis 2*

De profielopbouw is schematisch weergegeven in figuur 3. De bovenste 70 tot 130 cm bestaat uit matig lichte, kalkrijke klei. De bovenste 5 tot 12 cm is kalkarm. Onder dit kleipakket komt matig fijn, lutumhoudend zand voor. De klei is tot 40 à 65 cm – mv. gerijpt. Daaronder is de klei bijna tot half gerijpt. Alle drie de profielen worden gerekend tot de nesvaaggronden in zoete getijafzettingen van kalkrijke lichte klei (eMo80A).

Het grondwaterstandsverloop is afgeleid uit gleyverschijnselen die we in het profiel hebben waargenomen. Dit geldt vooral voor de GLG die ongeveer samenvalt met de begindiepte van de Cr-horizont die uit geheel gereduceerd materiaal bestaat. De GLG hebben we geschat tussen 60 (bij buis 2) en 80 cm – mv. (bij buis 1). De GHG valt ongeveer samen met de begindiepte van roest in het profiel. Bij buis 2 is de GHG geschat op 5 cm boven mv., bij de andere 2 buizen 5 (buis 5) en 10 cm – m.v (buis 1). Deze waarden lijken goed overeen te komen met de berekende GHG en GLG (zie hoofdstuk 5). Het grondwaterstandsverloop behoort bij alle buizen tot grondwatertrap IIa. Buis 1 vormt een overgang naar grondwatertrap IIIa. In verband met periodieke inundaties bij buis 2 kennen we hier de toevoeging w.. toe aan de Gt-code.

Ook de humusprofielen zijn schematisch weergegeven in figuur 3. Bij buis 1 komt een 10 cm dikke Ah-horizont voor, waarbij in de onderste 4 cm roest langs wortelgangen is afgezet. Alle organische stof wordt hier door de aanwezige regenwormen gehomogeniseerd met de minerale delen. De humusvorm is een *kleihydromull (HLn)*. Bij buis 5 en buis 2 wordt deze Ah-horizont in toenemende mate vervangen door een AMh-horizont die gekenmerkt wordt door accumulatie van dode wortels. Omdat bij buis 5 de AMh-horizont dunner is dan de Ah-horizont wordt deze bij de *wormhydromullmoders (HLDw)* gerekend. Bij buis 2 is alleen een AMh-horizont aanwezig. Dit is een *wormhydromoder (HDw)*. De accumulatie van wortels in deze serie kan in verband gebracht worden met toenemende wortelsterfte en afname van de aantallen en activiteit van regenwormen bij hoge grondwaterstanden en periodieke inundaties (Van Delft 2001).



*Figuur 3 Noord-zuid transect door de Hengstpolder met humusprofielen bij de buizen 1, 2 en 5 in relatie tot maaiveld, GHG, GLG, rijpingsdiepte en begindiepte van de zandondergrond*

### 3.2 Bodemchemische eigenschappen

In tabel 2 zijn de bodemchemische analysesresultaten weergegeven.

Tabel 2 resultaten van bodemchemische analyses van verschillende horizonten uit het humusprofiel van de bodem bij de peilbuizen 1, 2 en 5

Code	Horizont	Diepte cm-mv	Datum	pH-KCl	Org. stof %	Uitwisselbaar (pH=8,1)						CEC	Ca-verz (-)
						Ca	Mg	K	Na	H	Fe		
						cmol+/kg							
H1	Ah	0-10	10.5.2001	6.3	11.2	52.12	2.76	0.52	0.16	10.8	1.21	67.55	0.77
H1	C	15-25	10.5.2001	6.8	3.8	31.76	1.45	0.39	0.08	2.0	0.35	36.01	0.88
H2	Ahm	0-10	10.5.2001	6.2	17.6	64.76	3.46	0.66	0.47	15.3	1.75	86.44	0.75
H2	C	20-30	10.5.2001	6.7	4.9	46.44	2.09	0.45	0.52	7.0	0.36	56.91	0.82
H5	Ahm	0-5	10.5.2001	6.5	15.9	76.67	1.97	0.72	0.25	12.8	1.27	93.71	0.82
H5	C	13-20	10.5.2001	6.8	27.3	67.91	1.66	0.55	0.20	8.3	0.94	79.58	0.85

				Fe	P	Al	Fe	Al	FeS <sub>2</sub>	P	N	C/N	P-an fractie
				A.R.	oxalaat		HNO <sub>3</sub>		totaal				
				mg/100 g									
H1	Ah	0-10	10.5.2001	2598.2	33.2	121.4	671.7	271.2	29.8	90.4	595.4	9.4	0.37
H1	C	15-25	10.5.2001	2591.5	21.4	105.2	459.0	191.2	0.0	64.8	194.5	9.7	0.33
H2	Ahm	0-10	10.5.2001	3639.7	56.2	164.2	1065.9	342.6	12.7	128.3	866.6	10.2	0.44
H2	C	20-30	10.5.2001	3638.5	28.8	151.5	706.9	312.8	18.6	64.4	222.7	11.0	0.45
H5	Ahm	0-5	10.5.2001	3362.9	68.2	157.2	971.8	328.2	18.1	148.3	842.9	9.5	0.46
H5	C	13-20	10.5.2001	3401.2	44.5	141.6	973.7	302.4	26.5	118.7	397.1	34.4	0.37

Alle horizonten worden gekenmerkt door een hoge waarde van de pH-KCl. De Ca-verzadiging (uitw-Ca/CEC) is steeds hoger dan 75%, wat op kalkrijke omstandigheden duidt. De A-horizonten zijn daarbij iets zuurder dan de onderliggende C-horizonten wat op enige ontkalking wijst. De lage gehalten aluminiumoxalaat wijzen erop dat er sprake is van een nog slechts geringe verwerking van de kleimineralen. Het gehalte uitwisselbaar kalium is relatief hoog. Het percentage organische stof in de A-horizonten varieert tussen 11 en 18%. De C/N verhouding van de organische stof is laag, wat wijst op een intensief bodemleven en een snelle nutriëntenkringloop. Alle horizonten zijn ijzerrijk. Een gedeelte van het ijzer (Fe-oxalaat) komt voor in de vorm van amorfe hydroxiden. Van het totaalfosfor komt een fractie 0.33 tot 0.46 voor in anorganische vorm (P-oxalaat). Vrijwel alle horizonten bevatten enig pyriet (FeS<sub>2</sub>), wat wijst op vrij langdurig natte, reducerende omstandigheden.

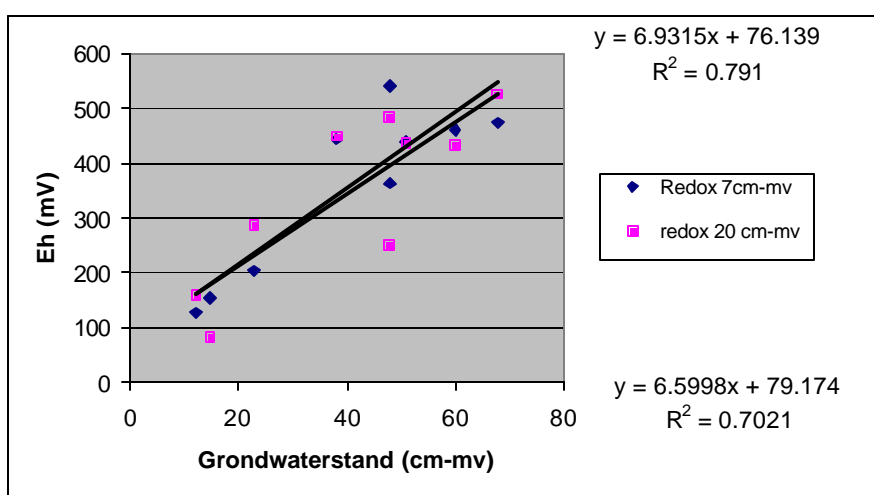
### 3.3 Bodemvocht en redoxpotentiaal

In tabel 3 zijn de bodemvochtgehalten van de onverzadigde grond (0-15 cm-mv), de grondwaterstand en de redoxpotentialen op drietal tijdstippen weergegeven. De redoxpotentiaal is vrij goed gecorreleerd aan de grondwaterstand (zie figuur 4). De relatie met het vochtgehalte is minder sterk. Bij een grondwaterstand van 15 a 20 cm-mv bereikt de redoxpotentiaal een waarde van ca. 100mV. Daarbij is er weinig verschil tussen de redoxpotentiaal op 7 en 20 cm-mv. Vanaf een redoxpotentiaal van ca. 300 kan de bodem als anaëroob worden beschouwd. In plaats van O<sub>2</sub> worden dan resp. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Fe<sup>3+</sup> en SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> gereduceerd. Er zijn geen waarnemingen uit de winter en voorjaarperiode



Tabel 3 Gemeten vochtgehalten, grondwaterstanden en redoxpotentialen in de periode mei tot oktober

Lokatie	Datum	Vochtgeh. %	Grw.st cm-mv	Redoxpotentiaal mV	
				7 cm-mv	20 cm-mv
H1	9 mei	50.8	60	460	433
	11 juni	23.2	68	472	526
	4 okt	56.8	23	205	286
H2	9 mei	63.3	48	363	249
	11 juni	26.3	48	541	485
	4 okt	55.7	15	152	85
H5	9 mei	58.8	38	442	450
	11 juni	30.1	51	441	436
	4 okt	69.3	12	127	159



Figuur 4 Relatie tussen de grondwaterstand en de redoxpotentiaal gemeten op twee verschillende dieptes

### 3.4 Productiviteit gewas

In juni werd nabij enkele peilbuizen de vegetatie geoogst ter analyse van het drooggewicht en enkele nutriëntgehalten. De totale productiviteit van de vegetatie is hoger, omdat er in de zomer nog een flinke nagroei is. Daarom is alleen aandacht besteed aan de nutriëntgehalten.

Tabel 4 Opbrengst, nutriëntgehalten en -ratio's van de vegetatie nabij de drie peilbuizen

Lokatie	Afmetingen plot (cm x cm)	Opbrengst g ds.	Totaal			N/P	N/K
			N	P	K		
			mg/100 g			ratio	
H1	25x25	62.1	1559.7	179.5	948.4	8.7	1.6
H2	25x25	92.3	1583.2	199.0	868.4	8.0	1.8
H5	25x25	101.7	1588.3	191.8	795.4	8.3	2.0

De vegetatie nabij peilbuis 5 is in de voorzomer het meest productief ( $408 \text{ g ds.m}^{-2}$ , wat overeenkomt met ca. 4 ton/ha). Op de droogste standplaats (H1) komt de minst productieve vegetatie voor. Op alle drie de plekken is de N/P ratio lager dan 14, hetgeen volgens Koerselman...(..) erop wijst dat de productiviteit van de vegetatie door stikstof wordt beperkt. Daarnaast is de N/K ratio steeds groter dan 1,2, wat volgens Peggel et al. (1996) wijst op kalium als beperkende factor.

Uit deze resultaten kan dus geconcludeerd worden dat zowel stikstof als kalium een beperkende factor voor de productiviteit van de vegetatie vormt.

## 4 Experimenteel onderzoek

### 4.1 Opzet experiment

#### Ontwerp

Tijdens het experiment werden grondkolommen aan 4 verschillende behandelingen onderworpen, die elk in 3-voud werden uitgevoerd (zie ook fig 5):

5. Anaërobe behandeling met sulfaatrijk oppervlaktewater (serie A);
6. Aerobe behandeling met sulfaatrijk oppervlaktewater (serie B);
7. Anaërobe behandeling met sulfaatvrij kalkverzadigd 'kwel'water (serie C);
8. Aerobe behandeling met sulfaatvrij kalkverzadigd 'kwel'water (serie D).

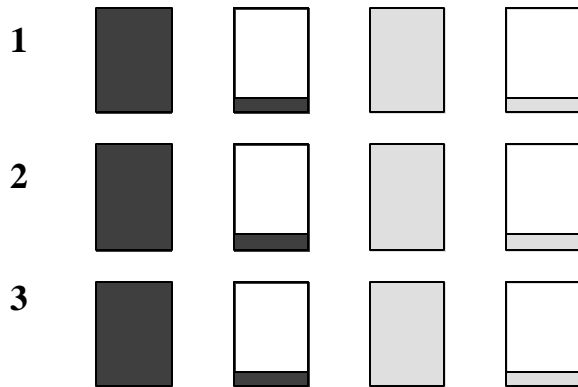
In de verschillende behandelingen werd gedurende een periode van drie maanden het verloop gemeten van de redoxpotentiaal, de concentratie van sulfaat, ijzer, nitraat, ammonium, fosfaat, kalium, calcium, chloride, anorganisch koolstof en de pH.

**A:** anaeroob sulfaathoudend

**B:** aeroob sulfaathoudend

**C:** anaeroob sulfaatvrij

**D:** aeroob sulfaatvrij

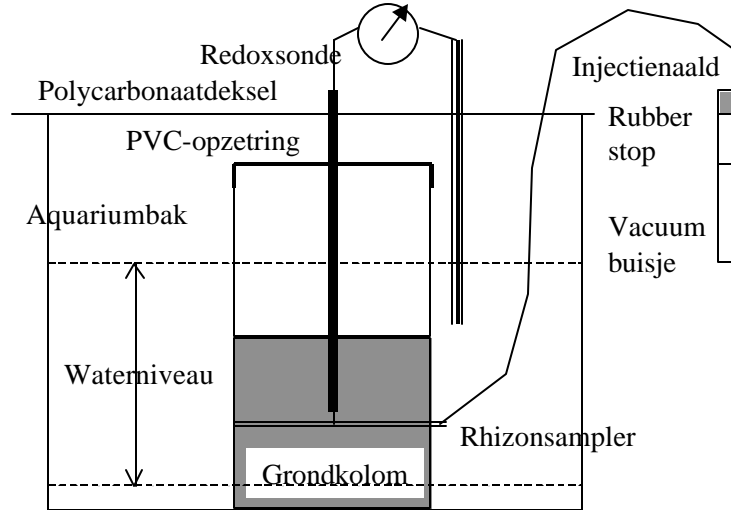


Figuur 5 Ontwerp van het inundatieexperiment met vier behandelingen (A t/m D) die elk in drievoud zijn uitgevoerd (1 t/m 3)

#### Voorbehandeling grondkolommen

De ochtend na de bemonstering werd een PVC-opzetting (8,5 cm hoogte, Ø 10 cm) op de gevulde cilinder gemonteerd met cellotape (zie figuur 6). Via een boorgat op 3 cm vanaf de bovenrand van de PVC-cilinder werd een rhizonsampler (Eykelkamp) horizontaal in de grondkolom geplaatst totdat het uiteinde de tegenoverliggende wand van de cilinder raakte. De rhizonsampler was van te voren door een voorgeboorde siliconen stop gevoerd die het boorgat in de PVC-cilinder precies afdichtte. Hierna werd de tape over het gat van de deksel aan de onderzijde van de stelling verwijderd. De

stellige werd in een aquariumbak geplaatst, waarna aan de bovenzijde gedemineraliseerd water tot aan de rand werd toegevoegd. Het water kon na percolatie door de grondkolom vrij draineren in de aquariumbak. Dit werd nog een keer herhaald. Totaal werd de grondkolom aldus met ca. 1500 ml demi-water doorgespoeld, opdat het bodemvocht uit het veld werd vervangen door het demi-water. Het in de aquariumbak verzameld drainwater werd afgezogen.



Figuur 6 Meetopstelling voor het experimenteel onderzoek

Na deze spoelbehandeling werd in het centrum aan de bovenzijde van de grondkolom met een guts een gat voorgeboord in de grond dat dezelfde diameter had als een platina redoxsonde. Deze redoxsonde was door een voorgeboorde siliconenstop gevoerd die precies in het boorgat van de bovendeksel paste. De bovendeksel werd teruggeplaatst op de PVC-opzetting, de redoxsonde door het boorgat van de bovendeksel gevoerd en in de grond gedrukt totdat de platina-sonde dezelfde diepte had bereikt waarop de rhizonsampler was aangebracht (3 cm-mv). De siliconenstop werd aangedrukt totdat het boorgat in de bovendeksel was afgesloten. Onder de onderdeksel werd een horegaasje gelegd, zodat voldoende porieruimte tussen de aquariumbak en de stellage aanwezig was om vrije drainage van water uit de kolom te kunnen verzekeren. De gehele stellage werd vervolgens gedurende vier dagen met rust gelaten, zodat resterend bodemvocht kon draineren.

### **Kwaliteit inundatiewater**

Uit het veld waren 3 jerrycans van 10 l elk met oppervlaktewater bij de klepstuw in de Hengstpolder (=Merwedewater) verzameld. Het water werd bewaard in een klimaatkamer bij 15 °C, en een relatieve vochtigheid van 70%. Tevens werden twee jerrycans van 10 l met een verzadigde kalkoplossing aangemaakt in het lab. Deze oplossing bleek een pH van ruim 10 te bezitten. Via titratie met 1N HCl werd de pH van deze oplossing teruggebracht tot 7,6.

## ***Uitvoering***

Na een rustperiode van vier dagen werd vanuit 1 kolom van elke serie een vochtmonster getrokken via vacuümextractie met 'blood vessels'. Per kolom werden twee buisjes met ca. 8 ml bodemvocht verzameld. Een buisje werd aangezuurd alvorens werd geanalyseerd. Deze monsters (A0 t/m D0) werden als representatief voor de uitgangstoestand beschouwd.

Vervolgens werden de verschillende behandelingen ingezet door de aquariumbakken tot verschillende niveau's te vullen met water van de twee verschillende watertypen. Nadat de bakken een uur tot rust waren gekomen om de grondkolommen zich te kunnen laten volzuigen met water, werd de redoxpotential van de grondkolommen gemeten. Daarna werden de bakken afgedekt met een polycarbonaatdeksel om verdamping zoveel mogelijk te voorkomen. In het polycarbonaatdeksel werd centraal gat geboord (Ø 2cm), waardoorheen de redoxsonde en de verlengslang van de rhizonsampler werd gevoerd. De volgende waterniveaus werden in de series tijdens het experiment aangehouden door indien nodig aan te vullen:

A1 t/m A3: Merwedewater tot 4,5 cm+mv van de grondkolom;

B1 t/m B3: Merwedewater tot 7 cm-mv van de grondkolom;

C1 t/m C3: 'Kwel'water tot 4,5 cm + mv van de grondkolom;

D1 t/m D3: 'Kwel'water tot 7 cm-mv van de grondkolom;

De bemonstering van de kolommen vond plaats met een afnemende frequentie naarmate het experiment langer duurde. Bij elke bemonstering werden per kolom 2 'blood vessels' gevuld via vacuümextractie, waarvan 1 buisje werd aangezuurd voor analyse. Tot het moment van analyse werden de buisjes in de klimaatkamer bewaard bij 15 °C.

## **4.2 Resultaten**

### **4.2.1 Samenstelling inundatiewater**

In tabel 5 is de chemische samenstelling gegeven van de beide watertypen waarmee het experiment werd uitgevoerd.

*Tabel 5 De chemische samenstelling van het 'behandelwater' in de aquariumbakken (A en C anaerob; B en D aerob) aan het begin en het einde van het experiment*

		datum	pH	Ortho-P	Ortho-fosfaat	Chloride	Ammonium	Nitrat
		[mg/l]						
Cont start	behandelingswater "kwel"		8.54	0.03	0.09	30.32	0.02	0.86
bak C3 einde	Water uit accubak C3	8/30/01	7.79	0.01	0.02	29.64	0.17	0.57
bak D3 einde	Water uit accubak D2	8/30/01	7.67	0.01	0.02	31.16	0.04	3.25
Merwede start	behandelingswater "opp. w"		8.24	0.03	0.10	81.08	0.27	1.39
bak A3 einde	Water uit accubak A3	8/30/01	7.88	0.01	0.04	73.75	0.16	1.85
bak B3 einde	Water uit accubak B3	8/30/01	7.65	0.01	0.02	78.04	0.08	3.22

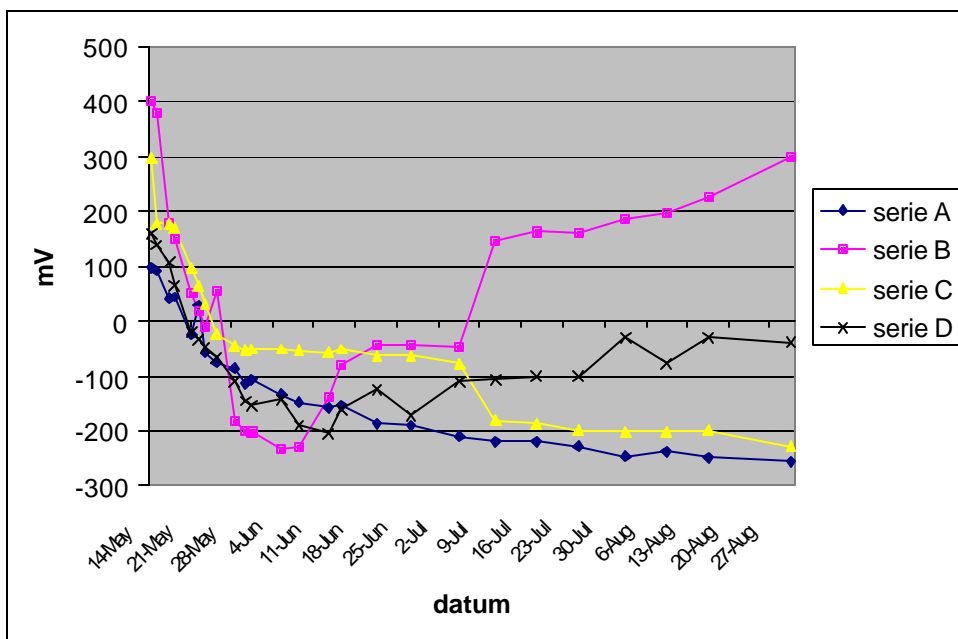
		TC	IC	TOC	Ca	Fe	K	SO4
		mg/l						
Cont start	behandelingswater "kwel"	12.78	7.67	5.12	27.80	0.04	0.54	2.25
bak C3 einde	Water uit accubak C3	11.06	8.91	2.15	32.03	0.04	3.75	4.47
bak D3 einde	Water uit accubak D2	22.52	11.66	10.86	39.13	0.04	1.48	4.62
Merwede start	behandelingswater "opp. w"	75.34	63.60	11.74	101.80	0.04	2.56	21.27
bak A3 einde	Water uit accubak A3	42.49	33.69	8.80	58.49	0.04	4.01	24.33
bak B3 einde	Water uit accubak B3	45.12	34.79	10.33	59.67	0.04	5.60	21.12

Zowel in het kwel als oppervlaktewater is er tijdens het experiment een duidelijk verloop in de pH en zwak verloop in het orthofosfaatgehalte. De chlorideconcentraties blijven constant. De nitraatconcentratie neemt in bak C3 met de anaerobebehandeling af en in de aerobe bak D2 toe. Dit is een indicatie dat er tijdens het experiment onder aerobe omstandigheden nitraat is gevormd dat in het water terecht is gekomen. Bij beide watertypen neemt de kaliumconcentratie tijdens het experiment toe ongeacht of er sprake is van een aerobe of anaerobe behandeling. Bij het opp.watertype neemt de calciumconcentratie sterk af tijdens het experiment evenals het totaal en anorganisch koolstofgehalte (TC resp. IC)

#### **4.2.2 Verloop redoxpotentiaal**

In aanhangsel 3 zijn de resultaten van de redoxmetingen van het experiment weergegeven per individuele kolom. Figuur 7 geeft het gemiddelde verloop van de redoxpotentiaal per serie. In de eerste twee weken van het experiment daalt in alle series de redoxpotentiaal tot negatieve waarden. Zowel de aerobe als de anaërobe behandelingen met en zonder sulfaat. In serie C (anaeroob, sulfaatvrij) stabiliseert de redoxpotentiaal zich vanaf de derde week rond  $-50$  tot  $-75$  mV. Vanaf half juli treedt een snelle daling op naar een nieuw evenwicht rond  $-200$ mV. Dit suggereert dat vanaf half juli het systeem overschakelt op een ander redoxsysteem.

In beide aerobe behandelingen B en D daalt de redoxpotentiaal tot ca.  $-200$ mV gedurende de eerste maand van het experiment. Daarna stijgt de redoxpotentiaal van beide series. In het sulfaathoudende systeem B stijgt de redoxpotentiaal tot een waarde rond  $300$  mV, wat op aanwezigheid van zuurstof wijst. Blijkbaar diffundeert zuurstof slechts uiterst langzaam in het kleiïge substraat. In de sulfaatvrije serie D dringt kennelijk geen zuurstof in het profiel door en zijn de porieën nog volledig met water verzadigd, ondanks dat het waterpeil beneden maaiveld is ingesteld. De sulfatrijke anaërobe serie A zakt, in tegenstelling tot bij de anaërobe serie C, direct door naar een evenwichtsniveau van ca.  $-250$ mV



Figuur 7 Gemiddelde verloop van de redoxpotentiaal per behandeling (n=3); serie A: anaeroob sulfaatrijk; serie B: aeroob sulfaatrijk; serie C: anaeroob sulfaatvrij; serie D aeroob sulfaatvrij.

### 4.2.3 Verloop stofconcentraties

In aanhangsel 4 zijn de resultaten weergegeven van de chemische analyses van het bodemvocht dat via vacuümextractie periodiek aan de grondkolommen is onttrokken tijdens het experiment. In figuur 8 en 9 is van een aantal stoffen het verloop in de tijd grafisch weergegeven. Figuur 8 geeft het verloop van stoffen die illustratief zijn voor de optredende processen in relatie tot inundatie.

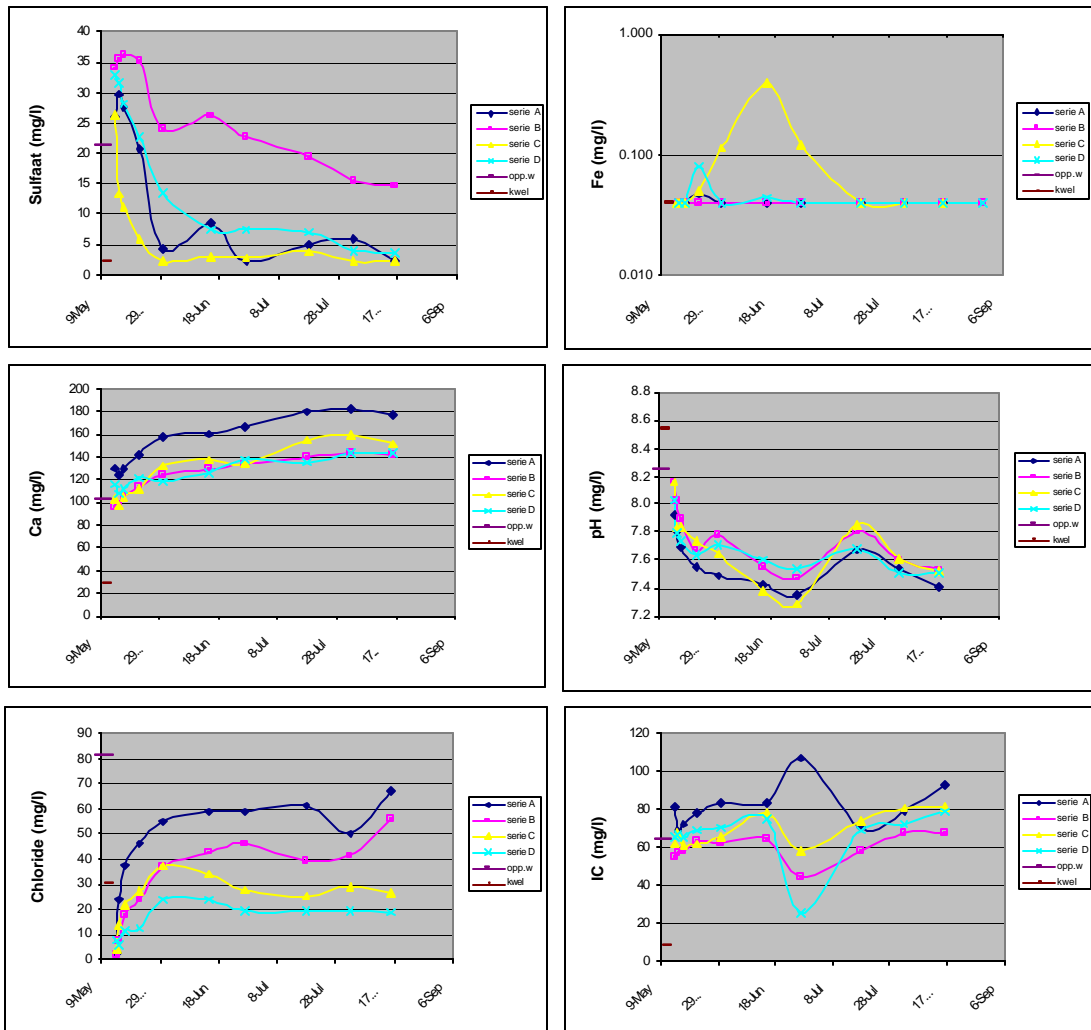
De sulfaatconcentratie loopt in alle behandelingen terug als gevolg van reducerende omstandigheden. Ondanks het lage waterpeil in serie D daalt ook daar de sulfaatconcentratie. Kennelijk waren de grondkolommen waterverzadigd door het goede capillaire geleidingsvermogen. Alleen in serie A wordt sulfaat niet gereduceerd en blijft daar min of meer op peil. De ijzerconcentratie ( $Fe^{2+}$ ) neemt alleen tijdelijk toe in de anaerobe serie C als gevolg van reductie van Fe(III)-oxiden in de grond.

De pH daalt bij alle behandelingen met ca. 0.5 tot 1.0 eenheid, omdat reductie in kalkrijke milieus tot een pH-daling leidt (Bolt en Bruggenwert, 1978). Dit is het gevolg van de vorming van  $CO_2$  (afbraakproduct), dat in aanwezigheid van vast kalk een verzurend effect heeft:



De tijdelijke pH toename in juli is moeilijk te verklaren. De calciumconcentratie stijgt bij alle behandelingen van ca 100 tot 150 mg/l. Dit is het gevolg van de zuurproductie waardoor het vaste kalk in de grond in oplossing komt (zie reactie-

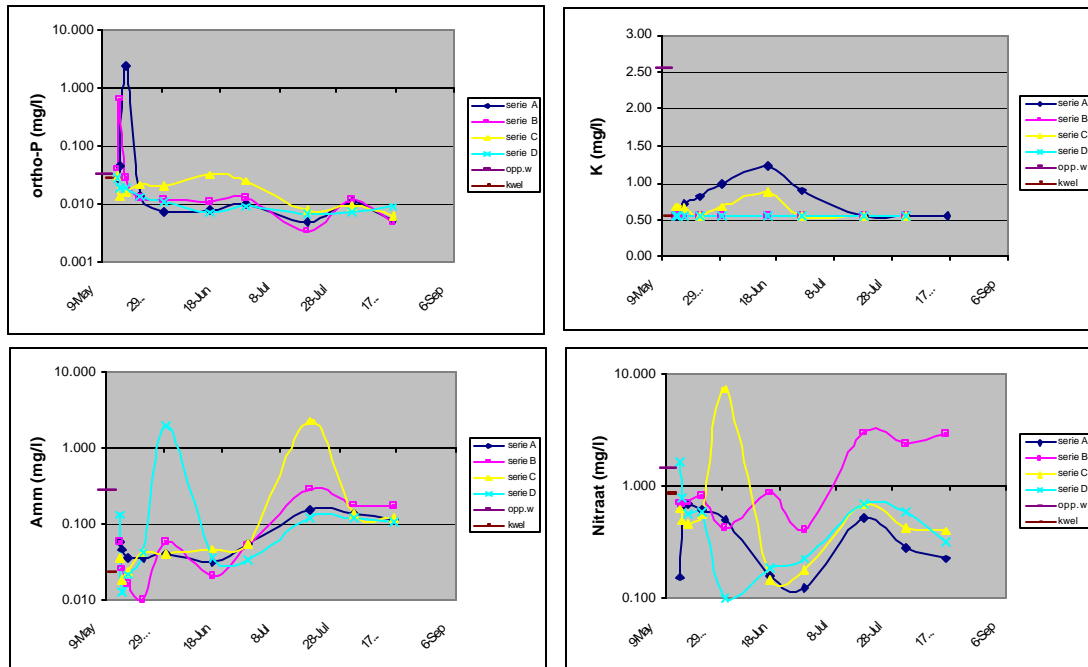
vergelijking 1). Het niveau in serie A ligt gemiddeld iets hoger. Omdat kalk in oplossing gaat neemt tevens de concentratie anorganisch koolstof (bicarbonaat, zie reactie 1) iets toe. Bij alle behandelingen zijn de fluctuaties in de tijd sterk. In alle behandelingen loopt de chlorideconcentratie op. Chloride is een inert ion dat geen reacties aangaat met andere componenten en daarom wel als tracer wordt gebruikt. Alle kolommen werden voor de start 'gewassen' met aquadest. De toename van de concentratie illustreert hoe het behandelingswater geleidelijk doordringt in de kolommen tot een evenwichtsconcentratie van ca. 50 mg/l bij de opp. water behandelingen en van ca. 25 mg/l bij de kwelwater behandelingen.



*Figuur 8 Verloop van de concentratie sulfaat, ijzer, calcium, chloride, anorganisch koolstof en de pH in het bodem vocht van de grondkolommen bij de verschillende behandelingen*

Figuur 9 geeft het verloop van een aantal voedingsstoffen die in de bodem vrijkomen tijdens het experiment. Ortho-P (anorganisch fosfaat) vertoont in de serie A en B direct aan het begin eenmalig een piek. Daarna verandert er in geen van de behandelingen nauwelijks iets en blijft de concentratie schommelen rond 0.01 mg/l.





Figuur 9 Verloop van ortho-fosfor, kalium, ammonium en nitraat in het bodemvocht van de grondkolommen bij de verschillende behandelingen

Aleen de anaërobie kwelwaterbehandeling lijkt gedurende de eerste helft een stijging te zien te geven, gevolgd door een daling in de tweede helft. Dit gedrag lijkt parallel te lopen met het ijzergehalte in deze serie (zie figuur 8). De ammoniumconcentratie fluctueert sterk bij alle behandelingen. Na een daling gedurende de eerste week van het experiment is in alle behandelingen een geringe stijging in concentratie waar te nemen. Dit betekent dat ongeacht de behandeling ammonificatie optreedt in de grondkolommen. Nitraat vertoont een grillig gedrag. Alleen bij de aerobe opp. waterbehandeling lijkt een stijging in de concentratie op te treden. Dit zou kunnen betekenen dat bij een goede zuurstofvoorziening het gevormde ammonium kan worden omgezet in nitraat. In de overige series lijkt eerder sprake van een daling van de concentratie. Kennelijk is onvoldoende zuurstof aanwezig voor omzetting van ammonium in nitraat. In serie A en C (inundatie) blijkt in de eerste helft van het experiment een stijging van de kaliumconcentratie op te treden gevolgd door een daling in de tweede helft. Mogelijk dat kalium beschikbaar komt vanaf het adsorptiecomplex via een verdringsreactie. Rivierkleien staan erom bekend dat zij kalium fixeren.

### **Toetsing van verschillen**

In tabel 6 zijn de verschillen tussen de behandelingen die aan het eind optreden getoetst met behulp van een t-toets. Ongeacht de behandeling zijn alle startwaarden vergeleken met alle eindwaarden. Aan het eind zijn de concentraties van chloride, ammonium, totaal koolstof (TC) en totaal organisch koolstof (TOC) sterk significant hoger dan aan het begin. Sulfaat is juist significant lager aan het einde. Het verschil in

chloride is het gevolg dat aan het begin van het experiment de grondkolommen werden gespoeld met aquadest.

Aan het eind van het experiment zijn er geen significante verschillen tussen de geïnundeerde en de niet-geïnundeerde behandelingen. De gemeten concentraties van de stoffen aan het einde van het experiment in serie B+ D (aeroob) verschillen niet significant van serie A+C (anaëroob). Evenmin is er aan het einde van het experiment een significant effect te meten van het watertype: aan het einde zijn er geen verschillen tussen de serie A+B (sulfaathoudend water) en C+D (kwelwater).

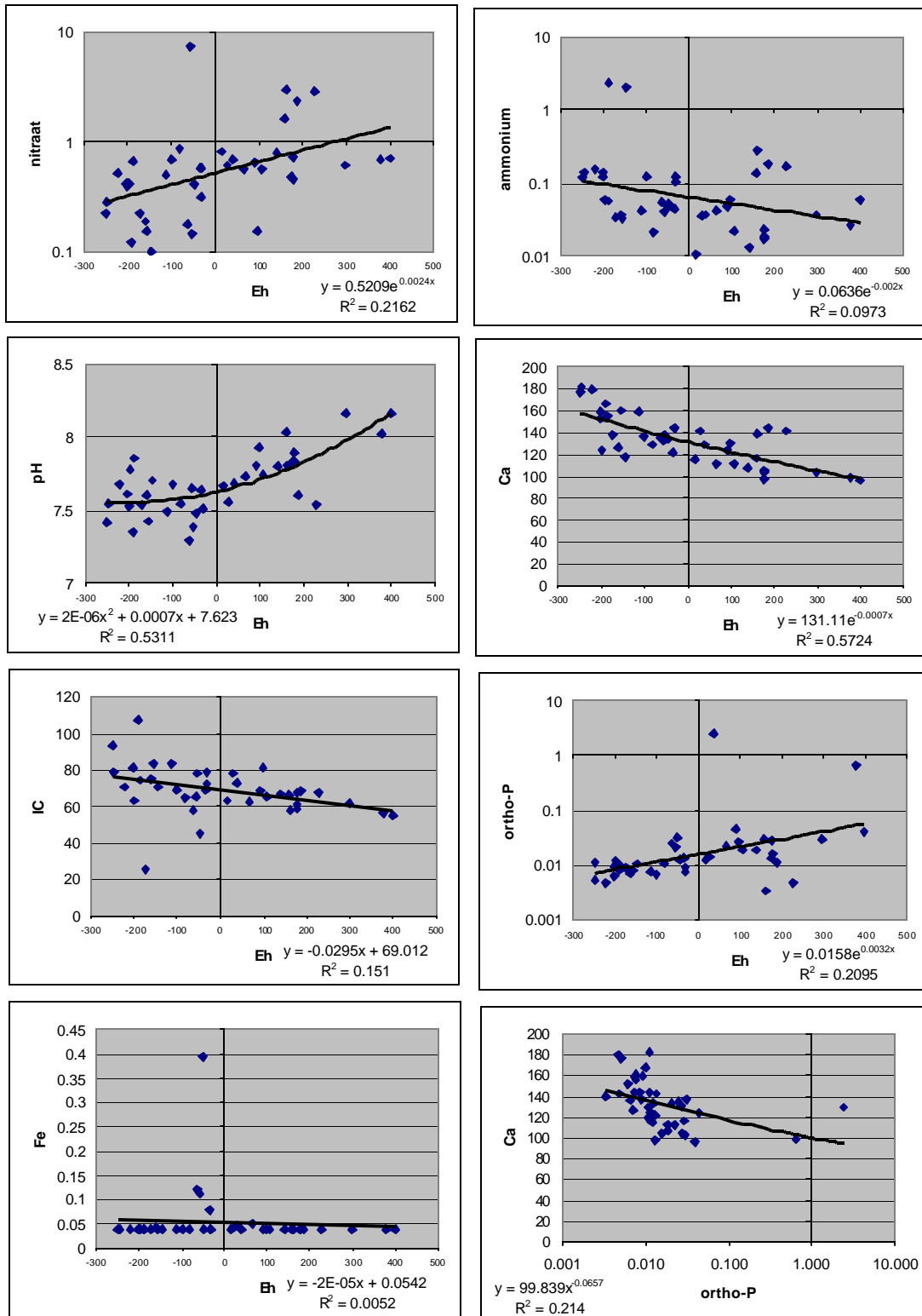
Tabel 6 Resultaten t-toets om verschillen tussen de behandelingen te toetsen op significantie

		Ortho-P [mg/l]	Ortho-fosfaat [mg/l]	Chloride [mg/l]	Ammonium [mg/l]	Nitraat [mg/l]	pH	TC [mg/l]	IC [mg/l]	TOC [mg/l]	Ca [mg/l]	Fe [mg/l]	K [mg/l]	S [mg/l]	SO <sub>4</sub> mg/l
<i>Overall effect</i>															
Mean start	A1 t/m D3	0.18	0.56	12.71	0.03	0.66	7.86	78.82	64.76	14.06	106.93	0.04	0.58	9.17	27.52
Mean eind	A1 t/m D3	0.01	0.02	42.10	0.13	0.96	7.49	102.84	80.03	22.81	#DIV/0!	0.04	0.54	0.75	5.67
	<i>P-prob</i>	0.295	0.295	0.000	0.001	0.499	0.000	0.008	0.024	0.008				0.000	0.000
<i>Effect inundatie</i>															
Mean start A+C		0.03	0.09	18.84	0.03	0.57	7.82	82.94	67.94	14.99	110.72	0.04	0.63	7.17	21.50
Mean start B+D		0.33	1.03	6.59	0.02	0.74	7.91	74.70	61.57	13.13	103.15	0.04	0.54	11.18	33.55
A+C vs B+D	<i>P-prob</i>	0.387	0.387	0.018	0.088	0.207	0.296	0.255	0.263	0.350	0.452	0.270	0.018	0.018	
Mean eind A+ C		0.01	0.02	46.89	0.12	0.31	7.47	112.42	87.01	25.41		0.04	0.54	0.75	2.25
Mean eind B+D		0.01	0.02	37.30	0.14	1.61	7.52	93.26	73.05	20.21		0.04	0.54	0.75	9.08
A+C vs B+D	<i>P-prob</i>	0.606	0.606	0.619	0.648	0.168	0.076	0.149	0.127	0.404					0.264
<i>Effect watertype</i>															
Mean start A+B		0.35	1.07	15.51	0.04	0.68	7.91	76.45	62.46	14.00	111.63	0.04	0.56	10.86	32.59
Mean start C+D		0.02	0.05	9.92	0.02	0.64	7.81	81.19	67.06	14.13	102.23	0.04	0.61	7.49	22.46
A+B vs C+D	<i>P-prob</i>	0.345	0.345	0.092	0.060	0.785	0.244	0.445	0.396	0.947	0.317		0.363	0.049	0.049
Mean eind A+B		0.01	0.02	61.56	0.14	1.57	7.47	102.73	80.29	22.44		0.04	0.54	0.75	8.44
Mean eind C+D		0.01	0.02	22.64	0.11	0.36	7.52	102.95	79.77	23.18		0.04	0.54	0.75	2.89
A+B vs C+D	<i>P-prob</i>	0.169	0.169	0.000	0.617	0.214	0.414	0.987	0.958	0.910					0.370

#### 4.2.4 Relaties tussen variabelen

Omdat er weinig verschillen tussen de behandelingen optreden zijn in figuur 10 de waarnemingen uit alle behandelingen samengevoegd om voor enkele variabelen relaties weer te geven.

Het blijkt dat er een zwakke relatie bestaat tussen de nitraatconcentratie en de redoxpotentiaal. Als de redoxpotentiaal daalt neemt de nitraatconcentratie af. Dit wijst erop dat de omstandigheden voor nitrificatie ongunstiger worden als de reducerende omstandigheden sterker worden. De relatie met ammonium is vrijwel afwezig, wat erop wijst dat de stikstofmineralisatie (ammonificatie) nauwelijks wordt beïnvloed door de redoxpotentiaal. Verder blijkt de pH te dalen en de calciumconcentratie te stijgen als de redoxpotentiaal daalt. Beide relaties zijn vrij sterk en zijn te verklaren uit het in oplossing gaan van kalk onder invloed van CO<sub>2</sub> productie door biologische activiteit in de bodem. Tenslotte blijkt dat de orthofosfaatconcentratie bij een lage redoxpotentiaal lager is dan bij een hoge redoxpotentiaal. De daling van de orthofosfaatconcentratie gaat samen met een stijging van de calciumconcentratie. Het is niet duidelijk of dit een oorzakelijk verband is of een toevallig verband. De redoxpotentiaal heeft geen effect op de ijzerconcentratie.



Figuur 10 Relaties tussen enkele variabelen ongeacht de behandeling

## **4.3 Bodemchemische evaluatie van de experimentele resultaten**

### **4.3.1 Toetsing hypothese**

De gemeten concentraties in de kolomexperimenten zijn vergeleken met concentraties, die door het chemisch evenwichtsmodel ECOSAT (Keizer & van Riemsdijk, 1996) zijn berekend. Daartoe werd het chemisch systeem van de kolommen gedefinieerd conform de karakteristieken die uit de bodemchemische analyses van de in het veld verzamelde grondmonsters werden verkregen. Met dit model kan inzicht worden verkregen of meetgegevens daadwerkelijk verklaard kunnen worden uit de theoretische processen die een rol spelen bij indirecte eutrofiëring. Een van de doelstellingen daarbij is te toetsen of daadwerkelijk Fe-P verbindingen in oplossing komen bij inundatie met sulfaatrijk water.

### **4.3.2 Het model ECOSAT**

Met het model ECOSAT kunnen evenwichtsconcentraties van ionen in het bodemvocht worden berekend in afhankelijkheid van evenwichtsreacties, redoxreacties en ionenwisseling tussen verschillende chemische componenten in een bodem-water-systeem.

#### **4.3.2.1 Systeemdefinitie**

Om het model te kunnen toepassen moet eerst het aanwezige bodem-water-systeem worden gedefinieerd. Het model vraagt gegevens over componenten, mineralen, gassen, geadsorbeerde ionen en ionwisselingsconstanten. Als omgevingsvariabelen vraagt het model tevens gegevens van de ionsterkte, temperatuur en het gasvolume. Het model berekent alleen evenwichtsconcentraties voor die ionen die zijn te herleiden uit de componenten die voor het systeem zijn gedefinieerd. Omdat ECOSAT steeds evenwichtssituaties berekent die momentaan verlopen, kan het procesverloop van het experiment niet worden gesimuleerd.

Het systeem maakt onderscheid tussen componenten en ionen. Componenten zijn als chemische bouwstenen op te vatten. De volgende componenten zijn door ons voor de systemen in beschouwing genomen:  $H^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $OH^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$  en  $e^-$ . Ionspecies ontstaan door combinatie van componenten zoals,  $HCO_3^-$  uit  $H^+$  en  $CO_3^{2-}$  of  $Fe^{2+}$  uit  $Fe^{3+}$  en  $e^-$  etc. Het model selecteert automatisch alle mogelijke ionsoorten. Het model houdt tijdens de berekening de massabalans bij van elke component. Er kan gerekend worden met ofwel een vaste massabalans per component, waarna ionconcentraties worden berekend of met een vaste concentratie, waarna de massabalans wordt berekend. Wij hebben gerekend met een vaste massabalans voor ijzer, sulfaat, carbonaat en fosfaat.

Voor calcium en de redoxpotentiaal (=electronenconcentratie) hebben we met vaste concentraties gerekend, gebaseerd op meetgegevens van het bodemvocht. De

massabalans van de componenten was gebaseerd op de resultaten van de bodemchemische analyses:

- ijzer (Fe-oxalaat),
- pyriet (sulfaat),
- carbonaat (kalkgehalte van de bovengrond volgens Bakker et al. , 1998),
- fosfaat (P-oxalaat)

Als mineralen die in het systeem voorkomen of gevormd kunnen worden hebben wij die mineralen gedefinieerd die een belangrijke rol spelen bij de indirecte eutrofiëring (zuurhuishouding, ijzerhuishouding, zwavelhuishouding en fosfaathuishouding). Verondersteld is dat onder aerobe omstandigheden het ijzeroxide goethiet ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) en strengiet ( $\text{FePO}_4$ ) en onder anaerobe omstandigheden sideriet ( $\text{FeCO}_3$ ), pyriet ( $\text{FeS}_2$ ) of vivianiet ( $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ ) kan worden gevormd. Omdat de bovengronden kalkrijk zijn is ook verondersteld dat calciet ( $\text{CaCO}_3$ ) en de calciumfosfaat-zouten hydroxyapatiet of octocalciumfosfaat kunnen voorkomen. ECOSAT voegt automatisch de relevante oplosbaarheidsconstanten van de mineralen (of ioncomplexen) toe.

Door ons zijn alleen  $\text{H}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  als componenten beschouwd die tevens door het adsorptiecomplex kunnen worden gebonden en een rol spelen bij zuurbuffering via ionenwisseling. De benodigde gegevens voor de ionenwisselingconstante (Gaponcoefficient) zijn afgeleid uit de meetresultaten. De ionsterkte is berekend uit de concentratie van de gemeten ionen. Als temperatuur is 283 K aangehouden (10 °C). Als gasvolume is steeds 0,01 l.l<sup>-1</sup> aangehouden.

#### **4.3.2.2 Berekeningen**

Uit het laboratoriumexperiment bleek (zie figuur 7), zoals ook in handboeken vermeld (Bolt en Bruggenwert, 1978), dat reductie in kalkrijke milieus niet tot een pH stijging maar een pH daling tot min of meer neutrale waarden leidt. Dit is het gevolg van de vorming van koolzuurgas (afbraakproduct), dat in aanwezigheid van vast kalk een verzurend effect heeft (zie vergelijking 1). Dit proces van pH-daling tijdens reductie is in ECOSAT niet te simuleren omdat de vorming van  $\text{CO}_2$  het gevolg is van de afbraak van organische stof. Om toch het effect van pH-daling te simuleren is er een multiple-run procedure voor verschillende pH-waarden bij een constante pe-waarde uitgevoerd. Voor de verschillende variabelen is gerekend met de volgende variabelen:

- Voor de pH-waarden is uitgegaan van de range die werd gemeten tijdens het lab. experiment. Tijdens het experiment daalde de pH van ca. 8.2 tot ca. 7.2
- De redoxpotentiaal schommelde tussen -150 en -200 mV ( $\text{pe}=-3$ ).
- Er werd gerekend met een calciumconcentratie die in dezelfde orde van grootte lag als tijdens het experiment gemeten: 100-150 mg  $\text{Ca}^{2+}$ .l<sup>-1</sup>.
- Voorts werd gerekend met een vaste totale hoeveelheid carbonaat die werd afgeleid uit het gemeten percentage koolzure kalk van ca. 7,5% in de bovenste bodemlaag (Bakker et al., 1999).

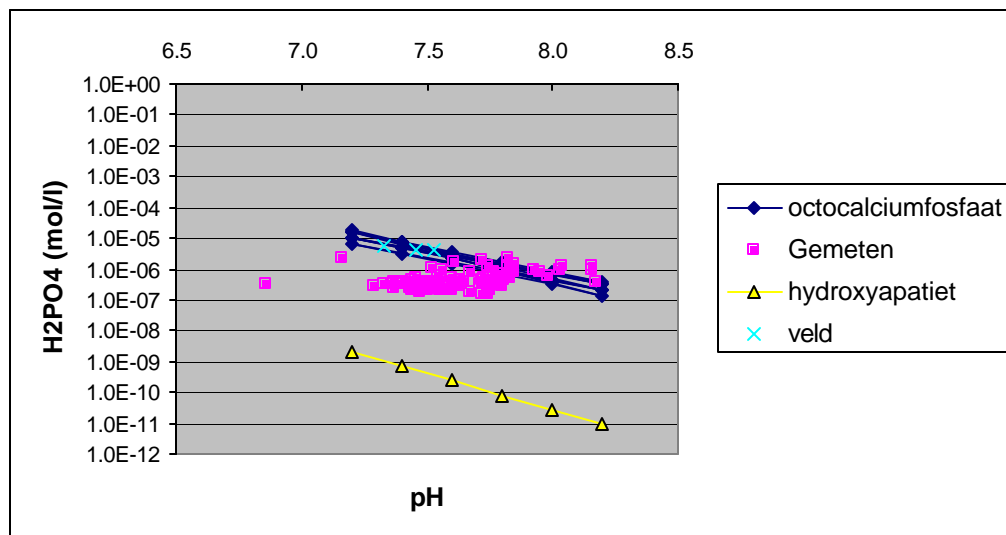
- Voor de overige componenten is uitgegaan van gehalten die in de bodemmonsters werden geanalyseerd.

### 4.3.2.3 Resultaten

In aanhangsel 5 zijn de resultaten van de ECOSAT-berekeningen voor de verschillende horizonten bij de peilbuizen 1, 2 en 5 vermeld. Hoewel de waarden van de verschillende variabelen in de berekeningen verschillen is de tendens vergelijkbaar. Uit de simulatie blijkt dat:

- calciet als vaste stof aanwezig is en in geringe mate oplost bij daling van de pH;
- goethiet bij de gesimuleerde pH en pe waarden niet in oplossing komt, zodat extreem lage  $\text{Fe}^{2+}$  waarden worden gesimuleerd;
- er een onverzadigde oplossing aanwezig blijft voor de vorming van pyriet en sideriet, waardoor deze mineralen niet gevormd worden;
- de concentraties  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  en fosfaat zo laag blijven, dat de oplossing onderverzadigd blijft voor de vorming van de fosfaatmineralen strengiet en vivianiet;
- het gedrag van fosfaat dus niet wordt gecontroleerd door deze ijzerfosfaatmineralen;
- dat de concentraties  $\text{Ca}^{2+}$  en fosfaat een verzadigde oplossing vormen voor de vorming van de Ca-P-mineralen tricalciumfosfaat, octocalciumfosfaat of hydroxyapatiet.

Uit een niet in het aanhangsel gepresenteerde berekening blijkt bovendien dat een verhoging van de redoxpotentiaal naar een waarde  $\text{Eh}=+175$  mV ( $\text{pe}=3$ ) geen effect heeft op de oplosbaarheid van de mineralen.



Figuur 11 Met ECOSAT berekende waarden van de zuurgraad en de fosfaatconcentratie in evenwicht met octocalciumfosfaat of hydroxyapatiet in vergelijking met waarden die tijdens het kolomexperiment werden gemeten.

In figuur 11 is de relatie aangegeven tussen de fosfaatconcentratie en de zuurgraad die volgens de berekeningen optreedt in aanwezigheid van het mineraal octocalciumfosfaat, dat de fosfaatconcentratie controleert (zie ook aanhangsel 5). In de figuur is tevens de relatie aangegeven indien hydroxyapatiet de fosfaatconcentratie controleert. Tenslotte zijn in de figuur alle gemeten waarden van fosfaat en de pH aangegeven die tijdens het kolomexperiment (zie aanhangsel 4) of tijdens de veldmonitoring werden gemeten. De gemeten waarden zijn gelegen tussen de lijnen die het evenwicht met octocalciumfosfaat en hydroxyapatiet weergeven. Met het theoretische model zijn de gemeten fosfaatconcentraties goed te verklaren.

Het gedrag van fosfaat is te begrijpen uit de oplosbaarheid van de calcium-fosfaatmineralen hydroxyapatiet of octocalciumfosfaat. Beide mineralen komen volgens de mineralen tot oplossing als de pH daalt.

## **4.4 Discussie en conclusies**

### **4.4.1 Discussie**

De resultaten van het experiment en de berekeningen lijken tegenstrijdig te zijn. Uit figuur 10, waarin alle data van het experiment zijn verwerkt, lijkt een lichte daling van de fosfaatconcentratie op te treden als de redoxpotentiaal zakt. Dit beeld wordt niet bevestigd als het daadwerkelijk verloop per serie (figuur 9) wordt bekeken. De berekeningen laten juist zien dat als de pH daalt calcië en calciumfosfaat-zouten in oplossing komen, waardoor de calcium- en fosfaatconcentratie stijgt (zie aanhangsel 5). Omdat het experiment echter geen significante verschillen tussen fosfaatconcentraties aan het begin en aan het eind laat zien en het bovendien om zeer geringe concentraties gaat die vaak op de grens van het detectievermogen liggen, houden wij de uitkomst van de berekeningen als doorslaggevend aan.

### **4.4.2 Conclusies**

Uit het experiment kan worden geconcludeerd dat

- inundatie van kalkrijke grond met sulfaathoudend water tot reductie van sulfaat leidt;
- er geen aanwijzingen zijn gevonden dat ijzer-fosfaat verbindingen daarbij in oplossing komen, waardoor de fosfaatconcentratie zou stijgen in het bodemvocht;
- inundatie, ongeacht het watertype, leidt tot iets verhoogde concentraties kalium en verlaagde concentraties nitraat in het bodemvocht;
- in alle behandelingen een verhoging van de ammoniumconcentratie in het bodemvocht wordt waargenomen;
- bij alle behandelingen de redoxpotentiaal op een niveau blijft waarbij geen zuurstof in de bodem aanwezig kan zijn. Bij elke behandeling heersten daardoor

reducerende omstandigheden, waarbij een pH verlagend effect optreedt en kalk in oplossing komt.

Uit de berekeningen met ECOSAT blijkt dat de experimentele waarnemingen goed zijn te verklaren. De bodem in de Hengstpolder is kalkrijk. Inundatie van kalkrijk sediment leidt tot:

- verlaging van de redoxpotentiaal en reductie van sulfaat;
- een daling van de pH ;
- een geringe oplossing van vast kalk;
- het in oplossing gaan van calciumfosfaatmineralen, waarbij de fosfaatconcentratie in het bodemvocht stijgt. Dit effect is overigens gering.

Tevens blijkt dat er geen verschillen optreden tussen de behandelingen tijdens het experiment. Zowel inundatie met oppervlaktewater als met 'kwelwater' hebben eenzelfde effect:

- Inundatie met sulfaathoudend oppervlaktewater leidt *niet* tot oplossing van ijzeroxiden en ijzerfosfaatmineralen
- In tegenstelling tot in zure kalkloze gronden leidt inundatie (zowel met bicarbonaat als met sulfaathoudend water) niet tot een stijging maar juist tot een daling van de pH tot neutrale waarden.

Hoewel in de kalkrijke grond van de Hengstpolder door inundatie geen effecten van indirecte eutrofiëring optreden via oplossing van ijzerfosfaatmineralen onder reducerende omstandigheden, kan er wel een eutrofiëring optreden door het in oplossing komen van calciumfosfaatmineralen als gevolg van een pH daling door reductie.



## 5 Hydrologisch onderzoek

### 5.1 Inleiding

De vochttoestand is een belangrijke factor voor de samenstelling en ontwikkeling van de vegetatie. In kwantitatieve zin is vocht van essentieel belang voor de fysiologie van de planten. Een tekort aan opneembaar bodemvocht betekent dat de verdamping reduceert. Daardoor wordt er minder water met opgeloste nutriënten opgenomen en stagneert de plantengroei. Een teveel aan water als gevolg van een hoge grondwaterstand in het groeiseizoen kan dezelfde gevolgen hebben. Veel plantensoorten kunnen onder anaërobe omstandigheden geen vocht uit de bodem opnemen. Als dergelijke omstandigheden echter structureel voorkomen is de samenstelling van de vegetatie vaak aangepast met soorten die intern de luchthuishouding kunnen regelen waardoor wel vochtopname mogelijk is.

Vocht is in conditioneel opzicht belangrijk voor veel bodemchemische processen. Zo kunnen onder natte omstandigheden fosfaten worden gemobiliseerd maar wordt het nitrificatieproces juist geremd. Inundaties van de Hengstpolder vinden voornamelijk in de winter plaats. De biochemische activiteit is op dat moment weliswaar gering, maar ook in de zomer komen natte perioden voor. Daarnaast kunnen ook slibafzetting en het binnendringen van het rivierwater in de bovengrond gevolgen hebben voor de nutriënten- en basenhuishouding.

Vermoed wordt dat de veranderingen die in de afgelopen decennia in de waterhuishouding hebben plaatsgevonden de oorzaak zijn van de achteruitgang van de weidekervelvegetatie in de Hengstpolder. Tot 1985 werd de waterhuishouding door de beheerder soms dagelijks geregeld via een stuw waardoor naar believen bij vloed water kon worden ingelaten en bij eb kon worden afgevoerd. In de winter werd de Hengstpolder zo gedurende 3 perioden van 10 dagen doelbewust onder water gezet, terwijl in de zomerperiode voldoende drooglegging werd nagestreefd. Na 1985 is het beheer veranderd. De stuw is aangepast en later voorzien van een dubbele klep waardoor waterinlaat en -afvoer zonder dagelijkse aanpassing kon plaatsvinden. Het gevolg daarvan is dat het oppervlaktewaterpeil in de polder minder fluctueert. Omdat de grondwaterstand nauw gecorreleerd is aan het slootpeil, treden ook daar minder fluctuaties en minder extreme standen in op.

Om de achterliggende gevolgen te doorgronden en herstelmaatregelen te kunnen voorstellen wordt met behulp van een hydrologisch model de vroegere en de actuele situatie doorgerekend. Van de actuele situatie zijn meetgegevens van een aantal plekken uit de periode juli 1997 – juni 1998 beschikbaar. Deze worden gebruikt om het hydrologisch model te kalibreren. Van de vroegere situatie is alleen een globale beschrijving bekend. Deze vormt de leidraad voor de reconstructie van de hydrologische omstandigheden uit de periode van voor 1985. Aan de hand van verschillen in factoren als grondwaterstandsfluctuatie en aeratie worden nieuwe scenario's doorgerekend die een zo beperk mogelijke inzet voor het waterbeheer

vergen, maar die omstandigheden opleveren die sporen met de vroegere situatie en de conclusies uit het waterkwaliteitsonderzoek.

## **5.2 Werkwijze**

### **5.2.1 Beschrijving van het model**

Voor de berekening van de vochttoestand is gebruik gemaakt van het model SWAP (Feddes et al., 1978; Belmans et al., 1983; van Dam et al., 1997). SWAP, dat staat voor Soil-Water-Atmosphere-Plant, is een ééndimensionaal waterbalansmodel dat de dynamiek beschrijft van het verticale vochttransport in de onverzadigde zone als gevolg van gradiënten in drukhoogten. Het model is ontwikkeld ten behoeve van de landbouw om aan de hand van een gesimuleerde vochthuishouding uitspraken te kunnen doen over de gewasopbrengst. Maar door de onderliggende fysiologische processen is het model ook in algemene zin goed toepasbaar en kan het bijvoorbeeld ook worden ingezet om de vochthuishouding van meer natuurlijke vegetaties te beschrijven.

Het model gaat uit van de stroming in de onverzadigde zone die aan de hand van een reeks vergelijkingen wordt berekend. Daarbij zijn de bodemfysische eigenschappen van eminent belang. Naast de beginvochttoestand moeten de voorwaarden aan de boven- en onderzijde van het profiel beschreven worden. De bovenrandflux bestaat uit de neerslag, bodemevaporatie en de transpiratie. De bodemevaporatie hangt af van de vraag uit de atmosfeer, van het soort bodem en van de bodembedekking. De transpiratie is gelijk aan de onttrekking van vocht aan de bodem door wortels, die weer afhangt van de vraag door de atmosfeer, de vochtigheid en de textuur van de bodem. Onder droge omstandigheden hangt de reductie van de wateropname door de wortels samen met de drukhoogte in de bodem. In de functie die deze reductie beschrijft zijn waarden gedefinieerd waartussen reductie optreedt. Dat kan het geval zijn onder natte en onder droge omstandigheden. Voor landbouwgewassen worden waarden gebruikt die voor natuurlijke vegetaties niet altijd geschikt zijn. Aangenomen is dat de vegetatie aan natte omstandigheden is aangepast en dat er onder die omstandigheden geen verdampingsreductie plaatsvindt. Voor droge omstandigheden wordt uitgegaan dat de verdamping reduceert vanaf een drukhoogte in de wortelzone van -320 cm tot het fysieke verwelkingspunt van -16000 cm.

De bodem kan worden opgebouwd uit maximaal 5 lagen die worden toegedeeld aan zogenaamde compartimenten waartussen het vochttransport wordt berekend. Het maximum aantal compartimenten bedraagt 40. De dikte van de compartimenten moet worden gedefinieerd, maar normaliter wordt voor dieptes waarvoor een grotere nauwkeurigheid vereist is dunne compartimenten gekozen. De bodemfysische eigenschappen die van de onderscheiden bodemlagen vereist zijn betreffen de waterretentiekaracteristiek ( $h$ - $\theta$  relatie) en de onverzadigde doorlatendheid ( $k$ - $h$  relatie).

De onderrandvoorwaarde is opgebouwd uit twee fluxen, een regionale flux en een laterale drainageflux. Dit zijn voor dit onderzoek de belangrijkste ijkpunten voor de kalibratie van de modellen omdat voor alle locaties wordt uitgegaan van een aantal gestandaardiseerde omstandigheden en eigenschappen. Doordat een ééndimensionaal model gebruikt wordt maakt het voor het doel van de berekeningen geen verschil of water aan de onderrand via drainage naar ontwateringsmiddelen verdwijnt of naar het diepere regionale grondwater percoleert, of omgekeerd via infiltratie of kwel toestroomt.

### **5.2.2 Gebruikte gegevens**

In de Hengstpolder zijn op 5 plekken van 17 juli 1997 tot 30 juni 1998 om de 14 dagen de grondwaterstanden gemeten. Van de 5 plekken zijn de plekken 1, 2 en 5 voor dit onderzoek gebruikt.

#### ***Vegetatie***

Bij de 3 plekken komt een grasvegetatie voor. Aspecten als gewashoogte, maaidata en beworteling zijn niet bekend. Daarom is voor de beschrijving in SWAP voor alle locaties uitgegaan van een zelfde grasvegetatie voor wat betreft hoogte, bedekking en ontwikkeling. Voor de beworteling is uitgegaan van een standaard verdeling en diepte (25 cm). De modeleigenschappen voor de standaardgrasvegetatie staan beschreven in van Dam et al. (1997).

#### ***Bodem***

De bodem van de meetplekken is aan de hand van profielbeschrijvingen geschematiseerd tot maximaal 5 bodemlagen. De bodemlagen zijn vervolgens toegeedeeld aan de 40 bodemcompartimenten waarmee in SWAP gerekend wordt. De 40 compartimenten bestrijken een totale dikte van 8 meter, waarbij de dikte van de compartimenten toeneemt van 1 cm aan het maaiveld tot 1 m aan de onderrand. De bovenste compartimenten zijn dun om de verschillende humushorizonten te kunnen beschrijven en de vochthuishouding in het topsysteem nauwkeurig te kunnen berekenen. De bodemfysische eigenschappen die van de onderscheiden bodemlagen voor SWAP vereist zijn betreffen de waterretentiekarakteristiek ( $h$ - $\theta$  relatie) en de onverzadigde doorlatendheid ( $k$ - $h$  relatie). Er is gebruik gemaakt van de bodemfysische eigenschappen van de standaardgronden uit de Staringreeks (Wosten et al., 1994). In tabel 7 wordt een overzicht gegeven van de geschematiseerde profielopbouw en de gebruikte standaardgronden. Bij de plekken 1 en 5 bestaat de bovengrond uit lichte klei met in de ondergrond een laagje fijn zand. Bij plek 2 is een kleidek op zand aangetroffen. Op een diepte van 65 cm is het zand grof en maakt het waarschijnlijk deel uit van de oost – west gerichte zandbaan die door het gebied loopt.

Tabel 7 Geschematiseerde profielopbouw van de meetplekken

Diepte	Plek 1		Plek 2		Plek 5	
	grond	diepte	grond	diepte	grond	diepte
0 – 10 cm	B10 *)	0 – 20	B10	0 – 12	B10	
10 – 85	O11	20 – 65	O11	12 – 125	O11	
85 – 105	O3	> 65	O5	125 – 150	O3	
> 105	O11			> 150	O11	

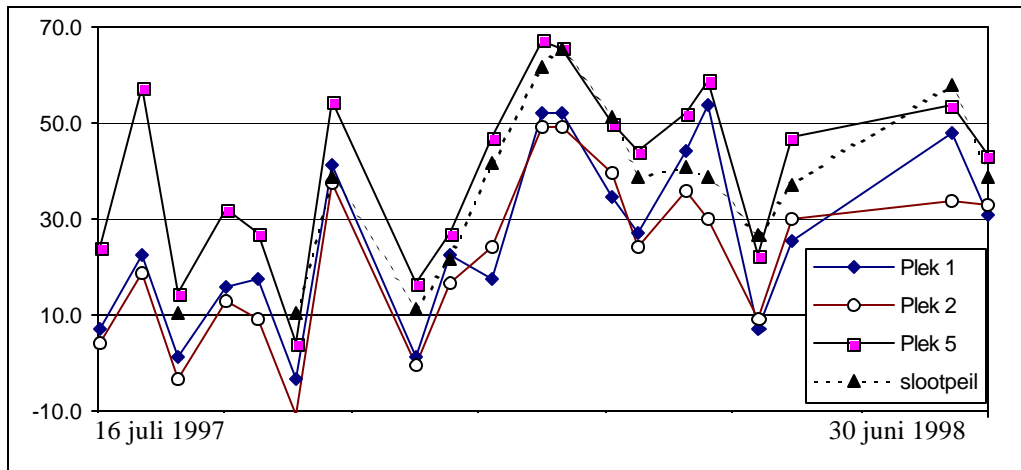
B10: Bovengrond, lichte klei; O3:Ondergrond, sterk lemig fijn zand; O5:Ondergrond, grof zand  
O11:Ondergrond, lichte klei.

### **Grond- en oppervlaktewater**

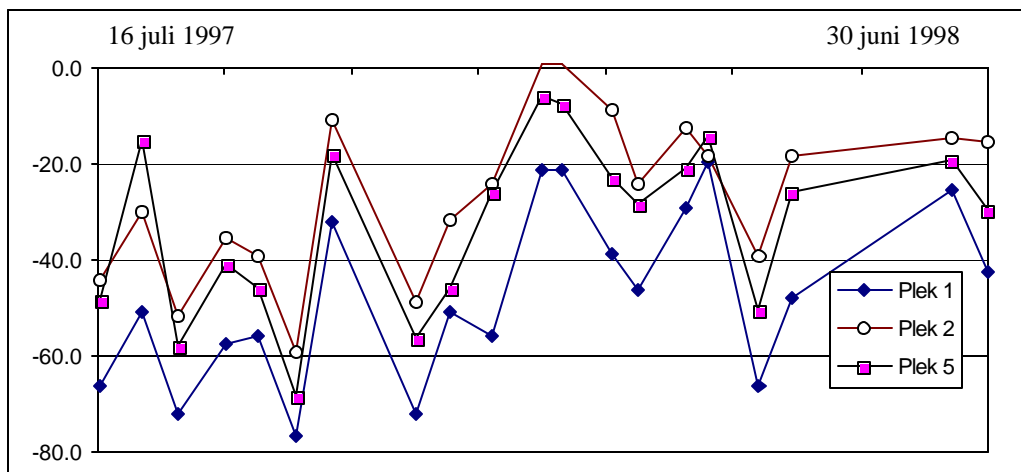
De gemeten grondwaterstanden worden gebruikt om de SWAP-modellen te kalibreren. Op de 3 plekken is de grondwaterstand verspreid over de periode 17 juni 1997 – 30 juni 1998 in totaal 20 keer gemeten. In dezelfde periode is het slootpeil in de polder bij de stuw gemeten. Alle standen en de maaiveldhoogtes zijn gerelateerd aan de peilschaal bij de stuw, maar hiervan is de NAP-hoogte niet bekend. De standen zijn omgerekend naar standen ten opzichte van maaiveld bij de betreffende meetplekken. De tijd – stijghoogtelijnen van het grond- en oppervlaktewater die in de figuur 12 staan afgebeeld laten zien dat het verloop van het grond- en het oppervlaktewater elkaar goed volgen. Uit het grondwaterstandsverloop ten opzichte van maaiveld (figuur 13) valt af te lezen dat plek 1 relatief droog is, maar dat op geen van de plekken de grondwaterstand dieper wegzakt dan 75 cm. De grondwaterstand heeft in de meetperiode alleen bij plek 2 het maaiveld bereikt.

Op grond van de conclusies uit eerder onderzoek (Bakker et al.,1999), is geen rekening gehouden met invloeden door de rivieren (dijkkwel/drainage) of uitwisseling met de diepere ondergrond (kwel/infiltratie). Aangegeven is dat door de aanwezigheid van afsluitende kleilagen de waterhuishouding in de Hengstpolder onafhankelijk van de omgeving functioneert. Deze aanname impliceert dat afvoer en infiltratie alleen plaatsvindt via het drainagestelsel dat uit sloten en greppels bestaat. Elk perceel wordt omgeven door sloten. De diepte daarvan varieert van ruim een meter op de drogere delen (plek 1) tot ongeveer 80 cm in het zuiden (plek 5). In alle percelen liggen op een onderlinge afstand van ca. 13 m greppels die 15 – 20 cm diep zijn. Voor de schematisatie is op iedere plek uitgegaan van 2 greppels waarvan de diepte iets van elkaar verschillen en die op dubbele afstand van elkaar liggen. Datzelfde is gedaan voor het slotensysteem. De gedachte hierbij is dat het maaiveld en de greppel- en slootdiepte in werkelijkheid ook (geringe) verschillen zullen vertonen. Swap kan met maximaal 5 drainageniveau's rekenen.

Voor het berekenen van drainage- en infiltratiefluxen moet het verloop van het slootpeil worden opgegeven. Hierbij gaat het niet om de gemeten standen maar om het (stuw-)peil dat de drainagebasis vormt. Er zijn geen gegevens bekend van het huidige peilregime. Dat is zo goed mogelijk ingeschat op grond van de gemeten grondwaterstanden en de uitkomsten van de kalibratie. Aangenomen is dat het peil in de meetperiode een beperkt aantal keren is gewijzigd en dat er bij de 3 meetpunten eenzelfde fluctuatie optreedt, waarbij alleen de stand ten opzichte van maaiveld verschilt.



Figuur 12 Grondwaterstand en slootpeil tov de niet-ingemeten peilschaal



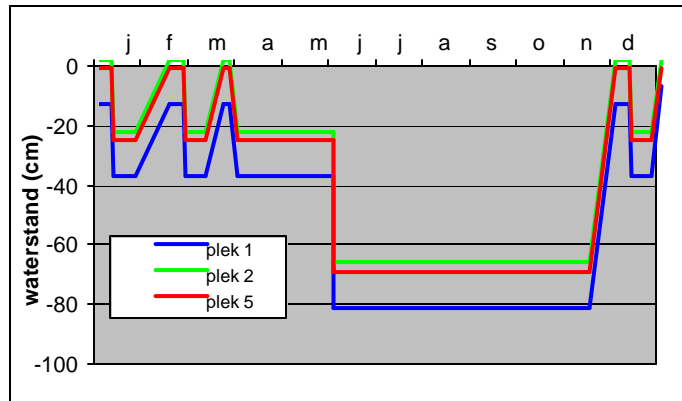
Figuur 13 Grondwaterstand tov maaiveld

Op grond van de beschrijving van de waterhuishouding in de periode van voor 1985 is de vroegere situatie gereconstrueerd. Aan het regime zijn inundatieperioden van elk 10 ongeveer dagen opgelegd in de periode december – maart. Na iedere inundatieperiode wordt het peil tot 30 cm onder maaiveld verlaagd, waarna het tot de volgende inundatieperiode langzaam hoger wordt. In april wordt een peil van -30 cm ingesteld en in juni van -75 cm. Dit peil wordt tot 15 november gehandhaafd. Verondersteld is dat dit peilregime geldt voor de gemiddelde maaiveldhoogte van de plekken 1, 2 en 5. De standen zijn voor de meetplekken aangepast op grond van de werkelijke verschillen in maaiveldhoogte. Tussen de plek met de hoogste (1) en laagste (2) maaiveldsligging bedraagt het verschil 15 cm. De aldus gereconstrueerde oppervlaktewateregimes staan in figuur 14.

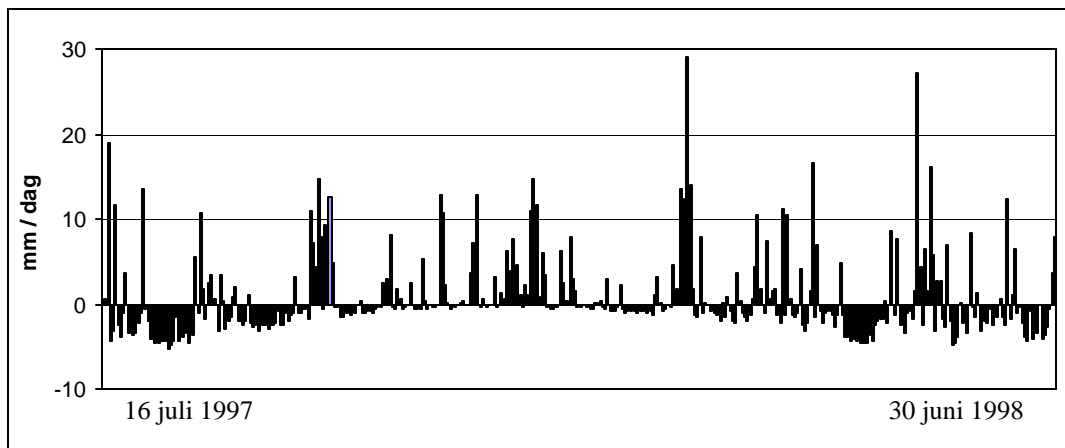
### **Neerslag en verdamping**

De Hengstpolder ligt op een plek waar in de directe omgeving geen neerslag en verdamping wordt gemeten. Daarom is gebruik gemaakt van de gegevens van district

Rotterdam waartoe de Hengstpolder hoort. De gegevens, die per decade gegeven zijn, zijn omgerekend naar dagwaarden. Daarbij is aan de neerslag de fluctuatie van de dagwaarnemingen van De Bilt opgelegd om met meer realistische extreme hoeveelheden te kunnen rekenen. De verdamping betreft de referentieverdamping volgens Makkink (1957). In figuur 15 staat het dagelijkse neerslagoverschot als neerslag – referentieverdamping. In het voorjaar van 1998 is de periode met een negatief neerslagoverschot (neerslag < verdamping) opgevolgd door een periode waarin de neerslaghoeveelheid aanzienlijk groter was dan de verdamping.



Figuur 14 Het oppervlaktewaterregime ten opzichte van maaiveld voor de situatie van voor 1985



Figuur 15 Neerslag – verdamping (mm/dag) tijdens de meetperiode

### 5.2.3 Selectie van karakteristieken

Na kalibratie van het hydrologisch model wordt een periode van 25 jaar doorgerekend (1974-1998) met steeds hetzelfde oppervlaktewaterregime. Uit de modeluitkomsten wordt een aantal hydrologische karakteristieken berekend:

- neerslagoverschot: neerslag – (interceptieverdamping + actuele evapotranspiratie), voor de zomerperiode (april – oktober);
- de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (gvg) als gemiddelde van de grondwaterstanden in maart en april;

- de gemiddeld hoogste grondwaterstand (ghg), berekend als gemiddelde uit de 3 hoogste standen die jaarlijks op de 14<sup>e</sup> of 28<sup>e</sup> van maanden oktober – april optreden;
- de gemiddeld laagste grondwaterstand (glg), berekend als gemiddelde uit de 3 laagste standen die jaarlijks op de 14<sup>e</sup> of 28<sup>e</sup> van de maanden april – oktober optreden;
- de gemiddelde overschrijdingsduur van de grondwaterstand;
- het gemiddelde aantal dagen op 11 cm\*) diepte in de wortelzone waarop de drukhoogte kleiner is dan -1000 en -5000 cm;
- de gemiddelde fractie bodemlucht op 11 cm diepte in de wortelzone;

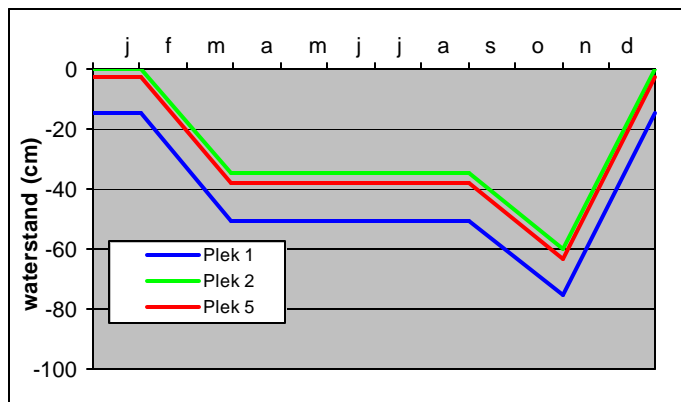
\*) Gemiddelde van het bodemcompartiment 10,0 – 12,5 cm

## 5.3 Resultaten

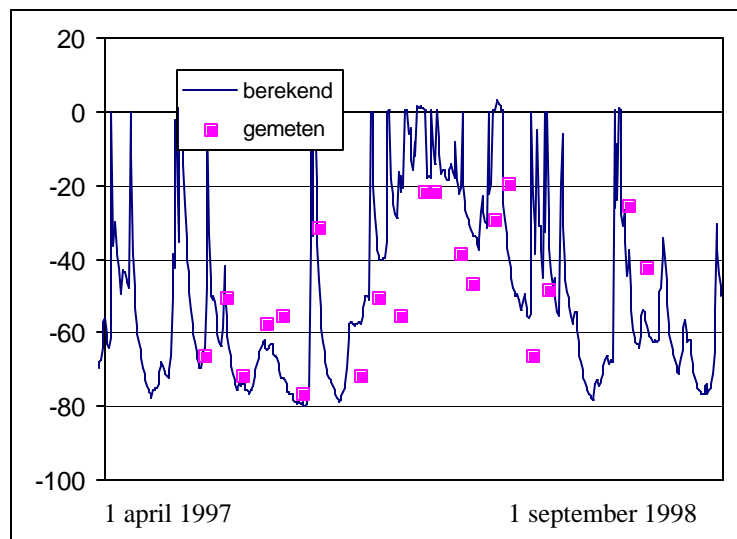
### 5.3.1 Kalibratie

Bij de kalibratie van de 3 meetplekken is ervan uitgegaan dat het oppervlaktewaterregime gelijk is, maar dat alleen de hoogte ten opzichte van maaiveld verschilt. In de winterperiode wordt het peil zodanig opgezet dat een plas-drassituatie ontstaat (pers. mededeling J. van de Neut). Hiermee rekening houdend is het oppervlaktewaterregime afgeleid dat in figuur 16 staat afgebeeld. Bij de laagstgelegen plek 2 is het peil gedurende een korte tijd in de winter gelijk aan het maaiveld. Gedurende het voorjaar en de zomer is het peil constant om pas in de herfst gedurende een korte periode verder te dalen.

Afgezien van het oppervlaktewaterregime zijn de drainageweerstanden aangepast. De drainageweerstanden van de greppels variëren van 30 – 60 dagen en van de sloten van 200 tot 400 dagen. Vanuit alle sloten en greppels kan ook water infiltreren. Omdat de grondwaterstand niet diep wegzakt is de weerstand voor infiltratie vanuit de sloten relatief klein. De overeenkomst tussen de gemeten en berekende standen staat voor plek 1 afgebeeld in figuur 17. De resultaten voor de beide andere plekken zijn vergelijkbaar.



Figuur 16 Het oppervlaktewaterregime ten opzichte van maaiveld in de actuele situatie gebaseerd op meetgegevens van juli '97 – juni '98 en uitkomst van de kalibratie



Figuur 17 Gemeten en berekende grondwaterstanden van plek 1

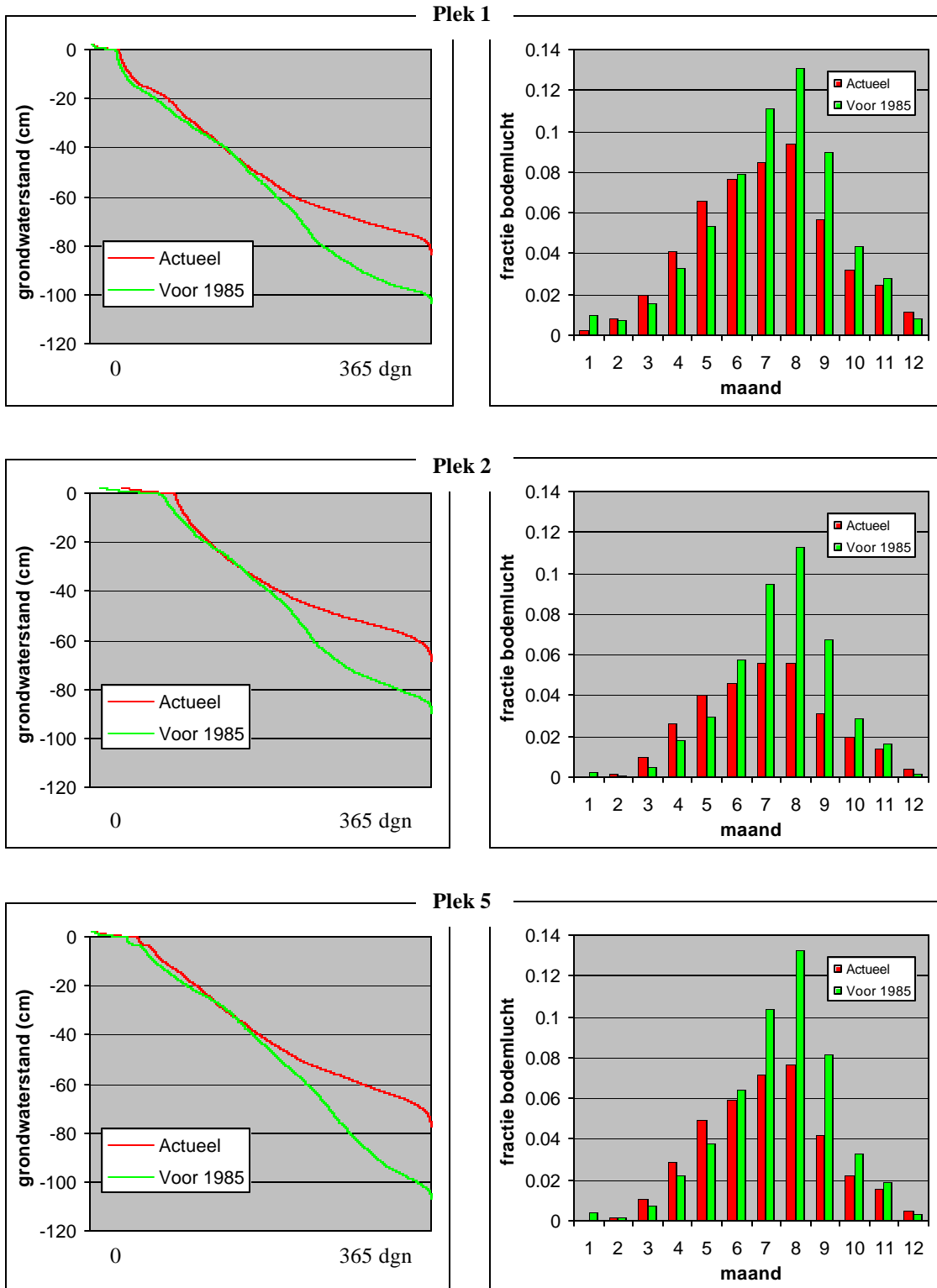
### 5.3.2 De actuele versus de vroegere situatie

Met de gekalibreerde modellen van de 3 meetplekken zijn met het huidige en met het vroegere oppervlaktewaterregime perioden van 25 jaar doorgerekend (1974-1998). Hieruit zijn gemiddelde hydrologische kengetallen berekend (tabel 8). In de actuele situatie is het met name in de zomer natter geworden. De GLG is ongeveer 25 cm hoger dan in de vroegere situatie. Daardoor is ook het aantal dagen met vochtstress afgenomen. Op 11 cm diepte is het aantal dagen met matige vochtstress (<-1000cm) vooral bij de plekken 2 en 5 sterk verminderd. Ook het aantal dagen met aanzienlijke stress (<-5000cm) is afgenomen. Daardoor is de reductie in gewasverdamping ook afgenomen (en is dus het neerslagtekort groter geworden). Bij plek 1 is het aantal dagen in de actuele situatie nog steeds relatief hoog. In vergelijking met de vroeger situatie is de GHG op de 3 plekken 3 cm hoger geworden.

Tabel 8 Overzicht van gemiddelde kengetallen in de actuele en vroegere situatie

plek	scenario	Neerslagtekort Zomerperiode (cm)	GVG mrt-april (cm)	GHG (cm)	GLG (cm)	dgn <-1000cm op 10 cm	dgn -5000cm op 10 cm
1	actueel	-152	-44	-5	-74	15	4
1	voor 1985	-143	-36	-8	-97	29	10
2	actueel	-159	-30	4	-58	2	0
2	voor 1985	-154	-21	1	-81	12	2
5	actueel	-157	-36	0	-67	7	1
5	voor 1985	-145	-27	-3	-96	25	9



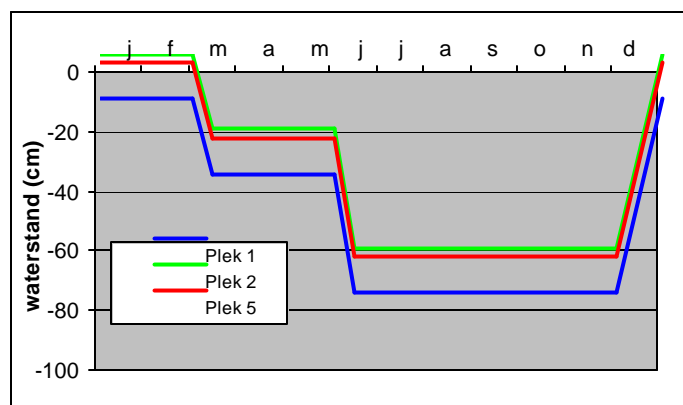


*Figuur 18 Gemiddelde overschrijdingsduur van het grondwater en de gemiddelde luchtinhoud op 11 cm diepte in de actuele en de vroegere situatie*

In de linkerhelft van figuur 18 is de gemiddelde overschrijdingsduur van de grondwaterstand uitgezet. Daaruit blijkt dat het verloop voor de standen ondieper dan 40 cm in de actuele en vroegere situatie vergelijkbaar zijn, maar dat lijnen bij diepere standen uiteen lopen. In de actuele situatie zakt het grondwater ongeveer 25 cm minder diep weg. Het verloop van de gemiddelde luchtfractie op 11 cm diepte in de wortelzone (figuur 18 rechterhelft) laat zien dat er naast een afname van de luchtinhoud in de actuele situatie ook een faseverschuiving is opgetreden. In de actuele situatie is er in het voorjaar meer bodemlucht terwijl dat in het najaar veel minder is. In de maanden waarin de luchtfractie klein is (december – maart) zijn de verschillen tussen de actuele en vroegere situatie klein. De kleine wisselingen tussen de verschillende maanden zijn het gevolg van het vroegere oppervlaktewaterregime, dat naast inundaties ook drogere perioden kende.

### 5.3.3 Toekomstscenario

Omdat er plaatselijke verschuivingen in bedekkingen van plantensoorten optreden, zou een terugkeer naar een peilbeheer van voor 1985 te overwegen zijn. Het vroegere regime kan echter alleen in aangepaste vorm worden gerealiseerd omdat zich een aantal blijvende veranderingen hebben voorgedaan. Zo is door de afsluiting van de Grevelingen het vroegere getijdeverschil op de rivieren sterk afgenomen. Verder maakt de aangepaste stuw het weliswaar mogelijk om waterinlaat- en waterafvoer verfijnder te regelen, maar vanwege het arbeidsintensieve karakter kunnen de stuwpeilen slechts een enkele keer per jaar worden aangepast. Op grond van deze randvoorwaarden en het vroegere en actuele oppervlaktewaterregime (figuur 14 en figuur 16) is scenario T(oekomst) opgesteld voor een regime waarmee de vroegere grondwaterkarakteristieken zo goed mogelijk benaderd worden. Dit regime (figuur 19) gaat uit van een plas-/dras situatie in de maanden januari en februari zoals dat in de actuele situatie ook wordt nagestreefd. Vervolgens wordt tot 1 juni een vrij hoog peil aangehouden en van juni tot december een langdurig laag peil. De kengetallen die met dit regime berekend zijn staan in tabel 9



Figuur 19 Oppervlaktewaterregime ten opzichte van maaiveld voor scenario T

Tabel 9 Overzicht van gemiddelde kengetallen in de actuele, de vroegere en een mogelijke toekomstige situatie (scenario T)

plek	scenario	neerslagtekort zomerperiode (cm)	GVG mrt-april (cm)	GHG (cm)	GLG (cm)	dgn <-1000cm op 10 cm	dgn -5000cm op 10 cm
1	actueel	-152	-44	-5	-74	15	4
1	voor 1985	-143	-36	-8	-97	29	10
1	scenario T	-145	-37	-5	-94	27	10
2	actueel	-159	-30	4	-58	2	0
2	voor 1985	-154	-21	1	-81	12	2
2	scenario T	-155	-22	4	-78	10	2
5	actueel	-157	-36	0	-67	7	1
5	voor 1985	-145	-27	-3	-96	25	9
5	scenario T	-148	-28	-1	-88	19	7

## 5.4 Discussie, conclusies en aanbevelingen

### **Discussie**

Uit de simulaties blijkt evenals uit de waarnemingen dat de grondwaterstanden en slootpeilen nauw aan elkaar zijn gecorreleerd. Waarschijnlijk spelen de zandlagen in de ondergrond hierbij een belangrijke rol. Van de zandbaan die door het midden van de Hengstpolder loopt is dat al eerder verondersteld (Bakker et al., 1999). Bij plek 2 betreft het een dikke grofzandige laag en bij de plekken 1 en 5 gaat het om dunnere, fijnzandige lagen (zie ook figuur 3).

Het stuwpeil wordt in de actuele situatie af en toe gewijzigd. In de zomer is het slootpeil vrijwel altijd lager dan het stuwpeil waardoor er normaliter geen water wordt afgevoerd. Er wordt ook geen water ingelaten. Volgens de berekeningen moet er in de zomer dan wel water van buiten aangevoerd worden omdat de grondwaterstand anders dieper wegzakt dan volgens de meetgegevens het geval is. De wateraanvoer, die via de (zand-)ondergrond zal plaatsvinden, is afkomstig uit de Nieuwe Merwede in het zuiden en mogelijk ook uit de Zoetemelkskil in het noorden. De perceelssloten reiken ook tot in de zandondergrond zodat een goede uitwisseling in principe mogelijk is. Een andere verdeling van de aan- en afvoer in SWAP heeft geen consequenties voor de berekende grondwaterstanden, drukhoogtes en hoeveelheid bodemlucht.

### **Conclusies**

Uit het hydrologisch onderzoek kunnen wij de volgende conclusies trekken.

- In tegenspraak met de veronderstelling van Bakker et al. (1999) concluderen wij dat de waterhuishouding in de Hengstpolder afhankelijk is van de omgeving.
- Het oppervlaktewaterregime in de Hengstpolder speelt een cruciale rol voor de grondwaterstand en de vochtvoorziening van de vegetatie.

De veranderingen in het peilbeheer na 1985 resulteerden in:

- een droger voorjaar;
- een beduidend nattere zomer. Dat geldt vooral voor de maanden juli, augustus en september.
- een kleiner vochttekort in de zomer. Het verdrogende effect van zandlagen in de ondergrond (die een grotere bergingscapaciteit en slechtere capillaire eigenschappen hebben dan de afdekkende lichte kleilaag) is minder belangrijk naarmate de grondwaterstand hoger is;
- een winter waarin het permanent nat is. Voor 1985 wisselden droge periodes en inundatieperiodes elkaar af. De gevolgen voor de GHG, de aeratie en drukhoogte in de wortelzone zijn echter minimaal.

### **Aanbevelingen**

Op grond van deze randvoorwaarden en het vroegere en actuele oppervlaktewaterregime is een toekomstscenario opgesteld voor een regime waarmee de vroegere grondwaterkarakteristieken zo goed mogelijk benaderd worden. Dit regime gaat uit van een plas-/dras situatie in de maanden januari en februari zoals dat in de actuele situatie ook wordt nagestreefd. Vervolgens wordt tot 1 juni een vrij hoog peil aangehouden en van juni tot december een langdurig laag peil. Bij aanpassing van het oppervlaktewaterregime verdient het aanbeveling de veranderingen door middel van metingen een jaar te volgen. Volstaan kan worden met metingen in een noord-zuidraai waarin ook de invloed van de rivieren wordt meegenomen. Het gaat om de volgende metingen:

- De hoogte van het stuwpeil
- Het oppervlaktewaterpeil in de polder. Deze kan op een (tijdelijke) peilschaal elders in de polder worden afgelezen
- De grondwaterstand op de plekken 1, 2 en 5 (of een nieuwe plek 5 ten zuiden van 2). De huidige meetbuizen voldoen niet. Op de plekken 1 en 5 kan met de herplaatsing één grondwaterstandsbuis worden volstaan met een filterdiepte beneden GLG-niveau en op plek 2 één buis met het filter boven en één buis met het filter in de grove zandlaag.
- Het gemiddelde van het peil bij eb en bij vloed in de Nieuwe Merwede. Aangenomen is dat er een goede relatie bestaat met het peil in de Zoetemelkskil.

## 6 Synthese en conclusies

De bodems onder de weidekervelvegetatie in de Hengstpolder bestaan uit nauwelijks verweerde klei die tot in de bovenste bodemhorizont kalkrijk is. Het humusprofiel wijst op een intensieve afbraak van organische stof, zodat stikstof door mineralisatie ruim beschikbaar is. Op de natste plekken heeft zich meer organische stof opgehoopt als gevolg van een minder actief bodemleven. Het fosfaat in de bodem komt voor 33% tot 46% voor in anorganische vorm als een calciumfosfaatmineraal.

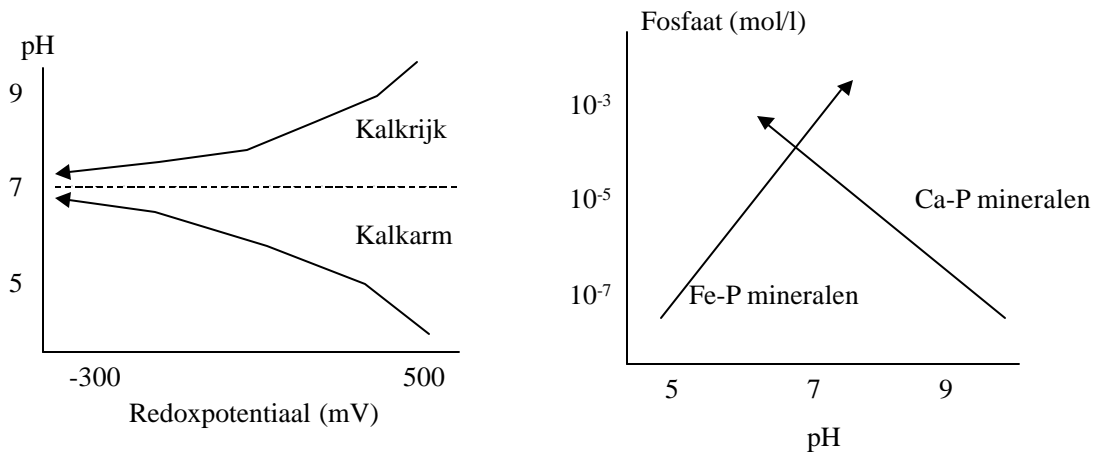
In de zomerperiode van mei tot oktober daalt de grondwaterstand tot maximaal 50 a 60 cm-mv. De redoxpotential is goed gecorreleerd aan de grondwaterstand en varieert in de zomer tussen 100 en 500 mV. In de zomerperiode wordt geen oppervlaktewater ingelaten. Wel dringt er water de polder binnen via de zandbanen in de ondergrond. Dit water staat hydraulisch in contact met het water in de Nieuwe Merwede.

De productie van de vegetatie blijkt in de voorzomer door stikstof beperkt te worden.

In kalkloze zure zandgronden treedt na inundatie een stijging van de pH op. Dit leidt in aanwezigheid van ijzer en sulfaat tot fosfaatmobilisatie. Uit het experiment om de effecten van inundatie in de kalkrijke gronden van de Hengstpolder vast te stellen, is gebleken dat inundatie daar juist leidt tot een lichte verzuring, waarbij kalk en calciumfosfaatmineralen in oplossing komen. Hierbij neemt de fosfaatconcentratie in het bodemvocht toe. Dit effect treedt op ongeacht het type water waarmee inundatie plaatsvindt. Er is geen sprake van eutrofiëring onder invloed van sulfaathoudend water volgens het mechanisme van indirecte eutrofiëring zoals beschreven door Lamers et al. (1998). Weliswaar wordt sulfaat gereduceerd, maar reductie van ijzer vindt niet plaats vanwege de basische omstandigheden. Uit berekeningen met een chemisch evenwichtsmodel is gebleken dat onder de veldomstandigheden in de Hengstpolder de fosfaatconcentratie in het bodemvocht niet wordt gecontroleerd door ijzerfosfaatmineralen maar door calciumfosfaatmineralen. Uit het experiment zijn geen aanwijzingen verkregen dat inundatie leidt tot een vergroting van de stikstofbeschikbaarheid door ammonificatie. Wel zijn er enige indicaties die wijzen op het vergroten van de kaliumbeschikbaarheid door inundatie, eveneens ongeacht het watertype. Figuur 20 geeft schematisch het gedrag van de zuurgraad en fosfaat aan in kalkloze en kalkrijke gronden.

Hoewel inundatie vooral een (gering) fosfaateffect lijkt te hebben is het merkwaardig dat de vegetatie door stikstof in zijn productiviteit wordt beperkt. Tegen deze achtergrond is de optredende verruiging in de lagere terreindelen moeilijk te interpreteren. De verruiging van de vegetatie lijkt zich met name te uiten in een toename van riet. De kenmerkende soorten *Weidekerv* en *Pimpernel* lijken geen wezenlijke veranderingen te vertonen sinds in de 80-er jaren het waterbeheer is gewijzigd (Persoonlijke mededeling E. Weeda). Pimpernel en weidekerv lijken

eerder gebonden aan dynamische milieus dan aan rustige milieus en zouden daarom wel beter thuis horen bij de dynamiek van het waterbeheer van voor 1985. Het opdringen van het riet zou wel in verband kunnen worden gebracht met de minder extreme hoge winterstanden van het grondwater sinds de 80-er jaren. Riet is zeer gevoelig voor inundatie in een periode zeer kort na het maaien. Water dringt dan gemakkelijk in de luchtkanalen, waardoor de plant verdrinken zou. Dit pleit ervoor de winterstanden weer wat op te zetten.



*Figuur 20 a) Verloop van de pH bij daling van de redoxpotentiaal bij inundatie van kalkrijke en kalkloze gronden; b) toename van fosfaatconcentratie bij alkalisering van kalkloze gronden met Fe-P mineralen en bij verzuring van kalkrijke gronden met Ca-P mineralen*

Uit het hydrologisch onderzoek komt naar voren dat vooral in de zomerperioden aanzienlijk hogere grondwaterstanden en een sterkere mate van anaërobie optreden dan in het verleden. Als er al een eutrofiëringseffect optreedt in de Hengstpolder, is dat het gevolg van de reactieketen: anaërobie, verzuring, oplossing calciumfosfaat-mineralen, verhoogde fosfaatconcentratie. Dit pleit ervoor de zomergrondwaterstanden weer wat dieper te laten wegzakken dan nu het geval is.

### **Conclusie**

De conclusie moet dan luiden dat alle argumenten aanwezig zijn om het waterregime weer iets dynamischer te maken. Een toekomstig scenario voor het stuwbeheer is daartoe beschikbaar. Een bijkomend voordeel is dat er vooralsnog geen aanwijzingen zijn dat het watertype een ongewenste invloed heeft op de voedingsstofhuishouding in deze kalkrijke gronden.

## Literatuur

Bakker, T.W.M., P.R. Nienhuis, F.H. Evers en N.P.J. de Vries, 1999. *Landschaps-ecologische analyse Hengstpolder*. Bureau Ten Haaf & Bakker, Heiloo/ Everts & de Vries e.a., Groningen.

Begeijn, L.Th., N. van Breemen & E.J. Velthorst, 1978. *Analysis of sulfur compounds in acid sulfate soils and other recent marine soils*. Commun. in soil science and plant analysis, 9(9): 873-882.

Belmans, C., J.G. Wesseling and R.A. Feddes, 1983. *Simulation of the water balance of a cropped soil: SWATRE*. Journal of Hydrology 63, 271-286.

Bolt, G.H. & M.G.M. Bruggenwert, 1978. *Soil Chemistry; A. Basic Elements*. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam.

Boxman, A.W. en A.H.F. Stortelder (2000). *Hoe natter hoe beter ? De invloed van het waterpeil bij maatregelen tegen verdroging in elzenbroekbossen*. Vakblad natuurbeheer (5)

Dam, J.C. van, J.Huygens, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. van Walsum, P. Groenendijk & C.A. van Diepen, 1997. *Theory of SWAP version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment*. Wageningen, Agricultural University. Department Water Resources. Report 71. 167 pp.

Damoiseaux, J.H. en G.A. Vos, 1987. *Bodemkaart van Nederland 1 : 50 000; Toelichting bij kaartblad 44 West Oosterhout*. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering.

Delft, S.P.J. van, 1995. *Humus- en bodemprofielen in natte schraalgraslanden. Resultaten van een bodemkundig onderzoek in 13 referentiegebieden voor het onderzoek naar Effectgerichte maatregelen tegen verzuring (EGM)*. SC-DLO. Rapport nr. 309.

Delft, S.P.J. van, 2001, *Ecologische typering van bodems; Deel 2 Humusvormtypologie voor korte vegetaties*. Wageningen, ALTErrA rapport 268.

Feddes, R.A., P.J. Kowalik and H. Zaradny, 1978. *Simulation of field water use and crop yield*. Simulation Monographs. Wageningen, Pudoc. 189 pp.

Green, R.N., R.L. Trowbridge en K. Klinka, 1993. *Towards a taxonomic classification of humusforms*. Forest Science Monograph 29. Washington D.C. The Society of American Foresters.

Kemmers, R.H., 1996. *Humusprofielen en bodemprocessen; beoordeling van mogelijkheden van wateraanvoer*. Landschap 3.

Kemmers, R.H., 1999. *Fosfor- en Kaliumhuishouding in kwelafhankelijke schraalgraslanden*. DLO-Staring Centrum. Rapport 699. Wageningen

Kemmers, R.H. en R.W. de Waal, 1999. *Ecologische typering van bodems; Deel 1 Raamwerk en humusvormtypologie*. Wageningen, ALTERRA rapport 667-1.

Kemmers, R.H., R.W. de Waal en S.P.J. van Delft, 2001. *Ecologische typering van bodems; Deel 3 Van typering naar kartering* Wageningen, Alterra, Rapport 352.

Keizer M.G. en W.H. van Riemsdijk (1996). *ECOSAT, user manual*. Department of Soil Science and Plant Nutrition. Agricultural University. Wageningen.

KNMI, 1974-1998. *Klimatologische gegevens van Nederlandse stations*. De Bilt, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut.

Koerselman, W. en A. Meuleman, 1996. *N:P ratio's en nutriëntenbeperking*. *Landschap* 13(4).

Lamers, Leon P.M., Hilde B. M. Tomassen and Jan G. M. Roelofs, 1998. *Sulphate-induced eutrophication and phytotoxicity in fresh water wetlands*. *Envir. Sci. Technol.* 32, 199-205.

Makkink, G.F., 1957. *Testing the Penman formule by means of lysimeters*. *J. Int. Water Eng.*, 11, Pag. 277-288.

Mekkink, P., P.C. Jansen, H. Runhaar en G.H.P. Dirks, 1999. *De ecohydrologische en bodemkundige gesteldheid van de natuurontwikkelings- en Randstadgroenstructuur-gebieden in het Strategisch Groenproject Eiland van Dordrecht*. Wageningen, Alterra rapport nr 682.

Pegtel, D.M., J.P. Bakker, G.L. Verwey and L.F.M. Fresco, 1996. *N, K and P deficiency in chronosequential cut summer-dry grasslands on gley podzol after the cessation of fertilizer application*. *Plant and Soil*, 178(1):121-131.

Schamineé, J.H.J., Stortelder, A.H.F. & Weeda, E.J. 1996. *De vegetatie van Nederland; deel 3 Plantengemeenschappen van graslanden, zomen en droge heiden*. Opulus Press, Uppsala, Leiden. The Netherlands.

Sluis, P. van der, 1982. *De grondwatertrap als karakteristiek van het grondwaterstandsverloop*. *H<sub>2</sub>O*, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling 15: p. 42-46.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman en J. Stolte, 1994. *Waterretentie- en doorlatendheids-karakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Technisch Document 18.



## Aanhangsel 1 Verklaring coderingen in profielbeschrijvingen

De coderingen die gebruikt zijn voor de profielbeschrijvingen zijn grotendeels gebaseerd op bestaande coderingen zoals deze gebruikelijk zijn in bodemprofielbeschrijvingen (Ten Cate et al. 1995a), en humusprofielbeschrijvingen (Van Delft 1995). In de onderstaande opsomming zijn voor de meeste kenmerken ook klassen opgenomen die in de beschreven profielen niet zijn waargenomen. De niet voorkomende klassen zijn wel opgenomen, om aan te geven hoe de waargenomen waarden zich verhouden tot de overige.

### ***Algemene gegevens***

#### ***- Administratieve gegevens***

##### **Bodemgebruik**

Codering voor bodemgebruik die bij Alterra standaard wordt opgenomen bij profielbeschrijvingen. De omschrijving is erbij gezet.

##### **Beheer**

Eenvoudige beschrijving van het beheer. Dit is bij alle profielen gelijk en bestaat uit een extensief maaibeheer.

#### ***- Landschap***

##### **Fysiotoop**

Aanduiding voor het fysiotoop waar de locatie toe gerekend kan worden. De gebruikte indeling wordt bij Alterra voor meerdere projecten gebruikt.

##### **Geomorfologie**

Korte aanduiding van de geomorfologische positie.

##### **Vegetatietype**

Voor zover vegetatiegegevens beschikbaar zijn is een vegetatietype toegekend volgens de bij Staatsbosbeheer ontwikkelde indeling.

#### ***- Hydrologie***

##### **Hydrologisch systeem**

Korte kenschets van het hydrologisch systeem volgens onderstaande indeling.

Hydrologisch Systeem
Wegzijgingsgebied
Wegzijgingsgebied, randzône
Kwelgebied (zoet)
Kwelgebied, gedraineerd
Geïsoleerd gebied
Kraggesysteem
Kwelgebied (brak)

##### **GHG (veld)**

Geschatte Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (in cm – mv)

**GLG (veld)**

Geschatte Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (in cm – mv)

**GVG (veld)**

Geschatte Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (in cm – mv)

**Berekende GVG**

GVG berekend uit GHG en GLG volgens empirische relaties die apart zijn afgeleid voor locaties in polders (Westbroek) of in stroomgebieden (Reestdal) (Ten Cate et al. 1995b). Deze relaties zijn als volgt:

- voor polders:  $GVG = 12 + 0,96 * GHG + 0,17 * (GLG - GHG)$
- voor stroomgebieden:  $GVG = 4 + 0,97 * GHG + 0,15 * (GLG - GHG)$

**GWS, pH en EGV**

Grondwaterstand en veldmetingen van pH en EGV van het water in het boorgat (hier niet opgenomen)

**Inundatieduur**

Schatting van de gemiddelde inundatieduur in maanden. Deze schatting is zeer grof, tenzij voldoende meetgegevens van grondwaterstanden beschikbaar zijn.

**Inundatietype**

Indien een inundatieduur van 1 maand of meer is aangegeven kan het watertype vermeld worden. De volgende watertypen worden hierbij onderscheiden

Inundatietype
Stagnatie regenwater op slecht doorlatende laag
Oppervlaktewater
Onbekend
Stagnatie (regen)water in afvoerloze laagten
Kwelwater (zoet)
Kwelwater (brak)
Zeewater

**- Profielgegevens****Bodemkaart 1 : 50 000**

Kaartenheid van de bodemkaart 1 : 50 000 die op grond van dit profiel toegekend zou worden (zie Steur et al. 1987 en Ten Cate et al. 1995). In deze eenheid zijn zowel de bodemeenheid als de grondwatertrap verwerkt.

**Humusvorm**

Codering voor de humusvorm (zie Kemmers en De Waal 1999).

**Ontkalkingsdiepte**

Diepte in cm tot waar het profiel kalkloos is. Als het gehele profiel kalkloos is wordt hier 999 ingevuld.

### **Bewortelbare diepte**

Theoretische bewortelbare diepte, geschat op basis van profielkenmerken. Deze is soms groter dan de diepte waarop ook werkelijk wortels worden aangetroffen. (zie Ten Cate et al. 1995a).

### **Effectieve bewortelbare diepte**

Diepte waar in de praktijk de meerderheid van de wortels worden aangetroffen Deze diepte kan geringer zijn dan de bewortelbare diepte.

### **Spreiding profielkenmerken**

Indien de profielopbouw op meerdere plaatsen in de directe omgeving sterk afwijkt kan hier aangegeven worden wat de spreiding is.

### **- Grafieken**

#### **Humusprofiel**

Voor de lagen tot 40 cm – mv is hier een schematische weergave gegeven van de profielopbouw.

#### **pH profiel**

Het pH verloop tot 40 cm – mv. is hier grafisch uitgezet, om een idee te krijgen van de variatie in zuurgraad bovenin het profiel. De waarden in deze grafiek zijn afkomstig van de metingen die met pH strookjes in de verschillende horizonten gedaan zijn (zie bij profielopbouw).

### **Kenmerken van de horizonten**

#### **Horizontcode**

De horizont is gecodeerd volgens de indeling in tabel 1. Een cijfer vóór de code geeft een volgorde aan voor verschillende soorten moedermateriaal. Als twee opeenvolgende horizonten een zelfde code zoude krijgen worden ze van elkaar onderscheiden door een volgnummer achter de code.

#### **Diepte**

Begin- en einddiepte van de horizont. Voor ectorganische horizonten vullen we hier een negatieve waarde in: cm boven maaiveld, waarbij het maaiveld overeenkomt met de eerste endorganische horizont. Een S horizont beschouwen wij hier als een ectorganische horizont.

#### **Grens/vorm en afmeting**

In deze kolom worden codes voor de vorm en de afmeting van de grens tussen twee horizonten gecombineerd.

De vorm van de grens tussen twee horizonten met de volgende klassen:

GRENS_VORM	Omschrijving
IR	Irregular, welvingen dieper dan breed
SM	Smooth, vrijwel vlak
WA	Wavy, welvingen breder dan diep
BR	Broken, discontinu

De dikte van de grens tussen twee horizonten met de volgende klassen:

GRENS_AFMETING	Omschrijving
AB	Abrupt, < 5 mm
CL	Clear, 5 - 10 mm
DI	Diffuse, 11 - 20
GR	Gradual, > 20

### **Organische stof/%**

% organische stof

### **Organische stof/Aard**

Aard van de organische stof, bij humushoudende zandbovengronden

AARD	Omschrijving
1	bruin
2	zwart (mild)
3	zwart (wreed)

### **Organische stof/VS**

Veensoort, alleen voor moerige lagen

Veensoort	Omschrijving
BA	Bagger
BE	Eutroof broekveen
BM	Mesotroof broekveen
C	Zeggeveen
CR	Zeggerietveen
D	Veraard of verweerd veen
DK	Veraard of verweerd veen, relatief kleirijk
DV	Veraard of verweerd veen, overige
DZ	Veraard of verweerd veen, relatief zandrijk
OV	Overige veensoorten
R	Rietveen
RC	Rietzeggeveen
S	Overig veenmosveen
SP	Spalterveen
VV	Verslagen veen, detritus
J	Bolster
B	Boveen
GL	Gliede
GY	Gyttja
L	Strooisel

### **Textuur/<2µ**

Lutumpercentage

### **Textuur/50µ**

Leem;percentage

### **Textuur/M50**

Mediaan van de zandfractie (zandgrofheid)

## Kalk

Kalkklasse, bepaald met zoutzuur

Code	Omschrijving
1	kalkloos; geen opbruising
2	kalkarm; hoorbare opbruising
3	kalkrijk; zichtbare opbruising

## Geo

Geologische formatie

Code	Omschrijving
110	Moerig materiaal, zonder herkenbare plantenresten (bijv. veraard of sterk verweerd)
120	Boveen, eutroof broekveen
130	Zeggeveen, rietzeggeveen, mesotroof broekveen
140	Rietveen, zeggerietveen
152	Overig veenmosveen
160	Sedimentair veen (bijv. gliede, gyttja, bagger, meerbodem, detritus)
170	Strooisellaag
190	Overige veensoorten (bijv. Scheuchzeriaveen)
410	Dekzand

## Stru

Structuurtype (met name van organische horizonten) volgens volgende klassen:

STRUKTUURT	Omschrijving
BL	Blocky; rechthoekig afgevlakte delen
CM	Compact matted; horizontaal gelaagd, ingedrukt
GR	Granular; afgeronde delen
MA	Massive
NM	Non-compact matted, horizontaal gelaagd, niet ingedrukt
RE	Recumbent
SP	Single particals, losse delen
WO	Woven, verweven, meestal door wortels, moeilijk los te trekken
ER	Erect, verticaal

## Wortels/Aant

Aantal wortels uitgedrukt per 6,25 cm<sup>2</sup> (dat is 1 inch<sup>2</sup>) in de volgende klassen:

WORT_AANT	Omschrijving
AB	Abundant; > 30 per 6,25 cm <sup>2</sup>
PF	Plentiful; 21 - 30 per 6,25 cm <sup>2</sup>
CO	Common; 11 - 20 per 6,25 cm <sup>2</sup>
FE	Few; 3 - 10 per 6,25 cm <sup>2</sup>
VF	Very few; 0 - 3 per 6,25 cm <sup>2</sup>
NO	None; 0 per 6,25 cm <sup>2</sup>

**Wortels/Dik**

Dikte van de wortels in mm. Als er meerdere diktes door elkaar voorkomen geven we de dominante dikte op. We gebruiken de volgende klassen:

WORT_GROOT	Omschrijving
VF	Very fine; < 1mm
FI	Fine; 1 - 2 mm
ME	Medium; 3 - 10 mm
CO	Coarse; 11 - 25 mm
VC	Very Coarse; > 25

**Wortels/Richt**

Richting van de wortels in de volgende klassen:

WORT_RICHT	Omschrijving
RA	Random
HO	Horizontaal
VE	Vertical
OB	Oblique (scheefstaand)

# Aanhangsel 2 Profielbeschrijvingen

Profielbeschrijving HP1

## Administratieve gegevens

IDcode	Terrein			Alfacode	Datum
364	Hengstppolder			HP1	9-5-01
X-coördinaat	Ycoördinaat	m+NAP	Topkaart TDN	Oud	Cent. prof
115487	424225	74	44B	44B	
Projectnr	Project			Opnemer	
11219	Waterbeheer Hengstppolder			Bas van Delft	
Bodemgebruik					
GR - grasland, blijvend					
Beheer			Plagjaar	Humusprofiel <input checked="" type="checkbox"/>	
Maaien + nabeweiden				Bodemprofiel <input checked="" type="checkbox"/>	
Opmerkingen over de locatie					
NAP hoogte relatief; zie toelichting					

## Landschap

Fysiografische eenheid			
Jonge kleigronden			
Fysiotop			
zk1c - jonge kalkrijke kleipolders			
Geomorfologie		Microrelief	Helling
		VL	
Vegetatietype (SBB)			
Klasse	Onbepaald		
Verbond	Onbepaald		
Associatie	Onbepaald		
Subassociatie	Onbepaald		

## Hydrologie

Hydrologisch systeem					
Geïsoleerd gebied				Berekende GVG	
GHG (veld)	GLG (veld)	GVG (veld)	polder	stroomgebied	
10	80		34	24	
GWS	pH (veld)	EGV (veld; mS/m)	Inundatieduur	Inundatietype	
0					

## Profielgegevens

Standaardpuntencode	Bodemkaart 1 : 50 000	Humusvorm	
eM5n312az8 IIIa	eMn80A - IIIa	HLn - Kleihydromull	
Ontkalkingsdiepte	Bewortelbare diepte	Effectieve bewortelbare diepte	Spreiding profielkenmerken
0	80	10	

## Profielopbouw

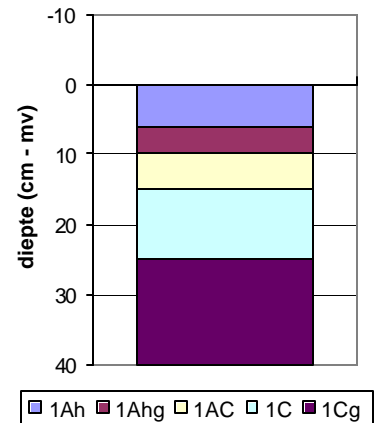
Horizont	Diepte (cm)	Grens	Meng	Org. stof		Textuur			pH K R		Vlekken		Geo ST	Wortels worm			Opmerkingen
				%	A	V	<2μ	<50μ	M50	A	Hue	V/C		A	D	R	
1Ah	0 - 6	SMDI		5		30			7,5	2	5		220 BL	PFVFRA	worm		
1Ahg	6 - 10	SMDI		4		30				3	5		220 MA	FEVFRA			roest langs wortels
1AC	10 - 15	SMGR		1		26			7,5	3	5		220 GR	FEVFRA			
1C	15 - 25	SMGR				26			7	3	5		220 MA	VFFIVE			homogeen
1Cg	25 - 65	SMDI				36				3	5		220 MA	VFFIVE			roest + MnO + schelpen
1Cgr	65 - 85			2		30				3	3		220 MA	VFCO			grijs + iets roest
2Cr	85 - 105			3	1	5	15	200	7,5	3	2		220	NO			grijs
3Cr	105 - 125			2		15				3	2		220				grijs

## Toelichting

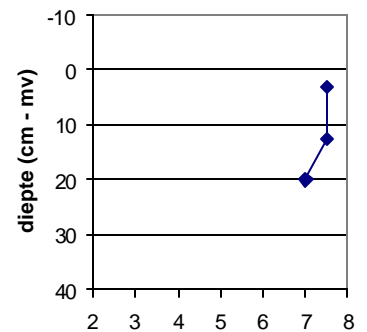
8 m zuid van buis 1(115489, 242235)

Gemeenschap van Grote Pimpernel en Weidekervel, vorm van Echte koekoeksbloem en Grote bevernel (droog); Naar Ten Haaf & Bakker 1999

## Humusprofiel



## pH-profiel



Profielbeschrijving HP2

Administratieve gegevens

IDcode	Terrein			Alfocode	Datum
365	Hengstpolder			HP2	9-5-01
X-coördinaat	Ycoördinaat	m+NAP	Topkaart TDN	Oud	Cent. prof
115421	424098	48	44B	44B	
Projectnr	Project			Opnemer	
11219	Waterbeheer Hengstpolder			Bas van Delft	
Bodemgebruik					
GR - grasland, blijvend					
Beheer			Plagjaar	Humusprofiel	
Maaien + nabeweiden				Bodemprofiel	
Opmerkingen over de locatie					
NAP hoogte relatief					

Landschap

Fysiografische eenheid			
Jonge kleigronden			
Fysiotoop			
zk1c - jonge kalkrijke kleipolders			
Geomorfologie	Microrelief	Helling	Expositie
	VL		
Vegetatietype (SBB)			
Klasse	Onbepaald		
Verbond	Onbepaald		
Associatie	Onbepaald		
Subassociatie	Onbepaald		

Hydrologie

Hydrologisch systeem					
Geïsoleerd gebied				Berekende GVG	
GHG (veld)	GLG (veld)	GVG (veld)	polder	stroomgebied	
-5	60		18	9	
GWS	pH (veld)	EGV (veld; mS/m)	Inundatieduur	Inundatietype	
0			1		

Profielgegevens

Standaardpuntencode	Bodemkaart 1 : 50 000	Humusvorm	
eM5n312az7 wlla	eMo80A - wlla	HDw - Wormhydromoder	
Ontkalkingsdiepte	Bewortelbare diepte	Effectieve bewortelbare diepte	Spreading profielkenmerken
0	70	12	

Profielopbouw

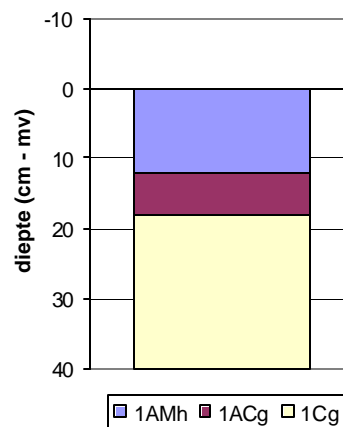
Horizont	Diepte (cm)	Grens	Meng	Org. stof	Textuur	pH	K	R	Vlekken	Geo ST	Wortels	worm	Opmerkingen
				% A V	<2µ <50µ M50				A Hue V/C		A D R		
1AMh	0 - 12	SMDI		12	30	5,5	2	5		220 WO	ABVFRA	worm	
1ACg	12 - 18	SMGR		4	30	7,2	3	5		220 GR	FEVFRA	worm	zwak roestig
1Cg	18 - 40				30	7	3	5		220 MA	VFCOHO		zwak roestig
1Cgr1	40 - 60			1	26	7	3	3		220 MA	VFCOHO		grijs + rietwortels
1Cgr2	60 - 70			1	26			3		220 MA	VFCOHO		
2Cr	70 - 180				6 230	7	3			220 SP	NO		grijs

Toelichting

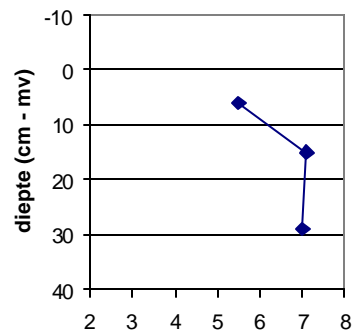
9 m zuid van buis 2 (115424, 242108)

Gemeenschap van Grote Pimpernel en Weidekervel, vorm van Echte koekoeksbloem en Scherpe zegge (vochtig); Naar Ten Haaf & Bakker 1999

Humusprofiel



pH-profiel





Profielbeschrijving HP5

Administratieve gegevens

IDcode	Terrein			Alfocode	Datum
366	Hengstpolder			HP5	9-5-01
X-coördinaat	Ycoördinaat	m+NAP	Topkaart TDN	Oud	Cent. prof
115473	423895	72	44B	44B	
Projectnr	Project			Opnemer	
11219	Waterbeheer Hengstpolder			Bas van Delft	
Bodemgebruik					
GR - grasland, blijvend					
Beheer			Plagjaar	Humusprofiel <input checked="" type="checkbox"/>	
Maaien + nabeweiden				Bodemprofiel <input checked="" type="checkbox"/>	
Opmerkingen over de locatie					
NAP hoogte relatief					

Landschap

Fysiografische eenheid			
Jonge kleigronden			
Fysiotoop			
zk1c - jonge kalkrijke kleipolders			
Geomorfologie	Microrelief	Helling	Expositie
	VL		
Vegetatietype (SBB)			
Klasse	Onbepaald		
Verbond	Onbepaald		
Associatie	Onbepaald		
Subassociatie	Onbepaald		

Hydrologie

Hydrologisch systeem					
Geïsoleerd gebied			Berekende GVG		
GHG (veld)	GLG (veld)	GVG (veld)	polder	stroomgebied	
5	70		28	19	
GWS	pH (veld)	EGV (veld; mS/m)	Inundatieduur	Inundatietype	
0					

Profielgegevens

Standaardpuntencode	Bodemkaart 1 : 50 000	Humusvorm	
eM5n315a Ila	eMo80A - Ila	HLDw - Wormhydromulmoder	
Ontkalkingsdiepte	Bewortelbare diepte	Effectieve bewortelbare diepte	Spreiding profielkenmerken
0	70	13	

Profielopbouw

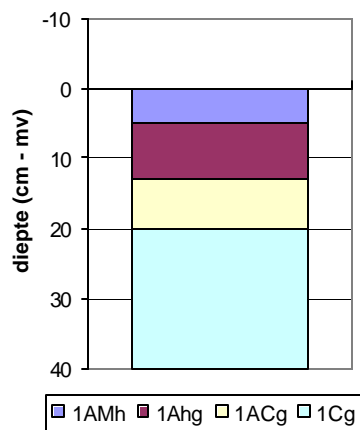
Horizont	Diepte (cm)	Grens	Meng	Org. stof % A V	Textuur <2µ <50µ M50	pH K R	Vlekken A Hue V/C	Geo ST	Wortels A D R	worm	Opmerkingen
1Amh	0 - 5	SMDI		12	30	7 2 5		220 WO	ABVFRA	worm	
1Ahg	5 - 13	SMDI		10	30	6,8 3 5		220 GR	COVFRA		
1Acg	13 - 20	SMGR		2	30	7 3 5		220 MA	VFCOHO	worm	rietwortels
1Cg	20 - 55				30	7 3 5		220 MA	VFCOVE		zwak roestig + schelpjes
1Cgr	55 - 70			3	30	2 3		220 MA	VFCOVE		grijs + iets roest
1Cr	70 - 130			4	24	3 2		220	NO		grijs, slap
2Cr	130 - 150				15 180	3 2		220			
3Cr	150 - 180				20	3 2		220			

Toelichting

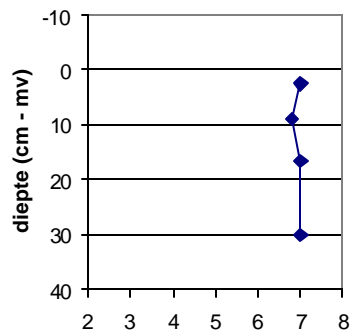
bij buis 5 (115489,423887)

Gemeenschap van Grote Pimpernel en Weidekervel, vorm van Echte koekoeksbloem en Scherpe zegge (vochtig); Naar Ten Haaf & Bakker 1999

Humusprofiel



pH-profiel





### Aanhangsel 3 Redoxpotentialen per grondkolom tijdens het experiment

Datum	Redoxpotentiaal (mV)											
	Inundatie Merwedewater			Aeroob Merwedewater			Inundatie kwelwater			Aeroob kwelwater		
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2	D3
14 mei	-117	204	206	245	392	562	209	169	514	-164	509	132
15 mei	-105	194	186	217	378	537	201	125	202	-203	502	121
17 mei	-129	185	62	-105	359	276	177	206	152	-228	472	77
18 mei	-59	175	18	-107	328	232	164	209	132	-223	367	50
21 mei	-135	143	-78	-196	255	96	97	193	3	-253	217	-29
22 mei		140	-83	-196	231	15	68	185	-56	-254	200	-47
23 mei	-177	131	-121	-200	209	-40	14	189	-110	-260	183	-64
25 mei	-203	120	-140	-218	171	213	-97	185	-165	-257	151	-89
28 mei	-211	109	-162	-218	-160	-167	-157	181	-160	-257	53	-124
30 mei	-241	98	-195	-240	-183	-171	-171	182	-177	-277	-18	-144
31 mei	-229	96	-186	-233	-182	-192	-168	184	-168	-274	-48	-141
5 juni	-242	38	-197	-242	-229	-221	-178	181	-160	-288	32	-169
8 juni	-244	4	-206	-239	-225	-227	-180	179	-161	-290	-110	-174
13 juni	-228	-44	-204	38	-236	-211	-186	175	-156	-286	-137	-193
15 juni	-225	-50	-190	185	-229	-200	-193	183	-146	-279	-12	-191
21 juni	-240	-93	-225	-159	-244	263	-216	182	-159	-288	119	-204
27 juni	-238	-103	-227	-179	-240	282	-213	180	-157	-283	-23	-210
5 juli	-243	-143	-244	317	-248	-217	-232	168	-172	-292	200	-237
11 juli	-255	-153	-251	456	-249	222	-235	-130	-182	-295	221	-244
18 juli	-250	-163	-250	513	-248	221	-240	-131	-189	-292	241	-250
25 juli	-260	-169	-257	525	-251	202	-250	-147	-197	-291	242	-257
2-Aug	-262	-172	-308	532	-254	284	-253	-149	-204	-292	462	-265
9-Aug	-267	-182	-264	532	-252	312	-254	-143	-208	-292	325	-270
16-Aug	-280	-192	-276	605	-254	333	-258	-134	-210	-287	472	-276
30-Aug	-296	-197	-275	653	-260	502	-273	-189	-228	-291	465	-291



## Aanhangsel 4 Concentratie van stoffen per grondkolom tijdens het inundatie-experiment

detectiegrens ortho-P > 0.045;amm>0.08;nitr>0.16;

	datum	Ortho-P [mg/l]	Ortho-fosfaat [mg/l]	Chloride [mg/l]	Ammonium [mg/l]	Nitraat [mg/l]	pH	TC [mg/l]	IC [mg/l]	TOC [mg/l]	Ca [mg/l]	Fe [mg/l]	K [mg/l]	S [mg/l]	SO4 mg/l	
A-30	t=0	5/14/01	0.03	0.08	3.08	0.06	0.15	7.93	95.40	81.09	14.31	130.60	0.04	0.54	8.71	26.13
A-11		5/15/01	0.03	0.08	23.43	0.07	0.70	7.85	78.95	60.86	18.09	112.10	0.04	0.63	11.66	34.98
A-12		5/17/01	0.04	0.11	35.08	0.02	0.63	7.82	78.49	66.03	12.46	119.50	0.04	1.07	10.70	32.10
A-13		5/22/01	0.03	0.08	45.75	0.03	0.72	7.56	80.31	70.80	9.51	130.60	0.04	1.35	8.47	25.41
A-14		5/30/01	0.01	0.04	55.32	0.02	0.35	7.53	83.56	74.40	9.16	143.31	0.04	1.91	2.63	7.89
A-15		6/15/01	0.00	0.00	63.05	0.03	0.33	7.49	86.92	74.14	12.78	142.86	0.04	2.59	3.44	10.32
A-16		6/27/01										147.76	0.04	1.60	0.75	2.25
A-17		7/18/01	0.01	0.02	72.51	0.15	0.48	7.75	81.96	61.39	20.57	153.55	0.04	1.91	2.47	7.41
A-18		8/2/01	0.01	0.04	41.32	0.17	0.38	7.63	81.64	64.41	17.23	154.49	0.04	2.43	2.70	8.10
A-110		8/16/01	0.01	0.02	83.41	0.09	0.29	7.37	95.54	69.97	25.57	155.38	0.04	1.56	0.75	2.25
A-21		5/15/01	0.04	0.11	32.63	0.04	0.55	7.74	88.02	71.78	16.24	129.90	0.04	0.54	9.15	27.45
A-22		5/17/01	0.03	0.11	41.69	0.03	0.56	7.52	87.93	76.64	11.29	134.90	0.04	0.54	8.67	26.01
A-23		5/22/01	0.01	0.05	45.45	0.04	0.51	7.46	94.36	82.53	11.83	150.40	0.04	0.54	6.62	19.86
A-24		5/30/01	0.00	0.00	54.46	0.05	0.99	7.45	100.10	88.30	11.80	164.42	0.04	0.54	0.75	2.25
A-25		6/15/01	0.01	0.04	54.54	0.04	0.11	7.41	103.50	87.36	16.14	172.62	0.04	0.54	2.44	7.32
A-26		6/27/01	0.01	0.03	55.36	0.05	0.12	7.36	122.20	104.80	17.40	177.24	0.04	0.54	0.75	2.25
A-27		7/18/01	0.00	0.00	52.20	0.25	0.87	7.64	101.90	75.51	26.39	188.13	0.04	0.54	1.40	4.20
A-28		8/2/01	0.01	0.04	47.00	0.14	0.24	7.44	111.50	88.68	22.82	193.78	0.04	0.54	1.62	4.86
A-210		8/16/01	0.00	0.00	53.08	0.17	0.28	7.40	142.90	104.08	38.82	198.62	0.04	0.54	0.75	2.25
A-31		5/15/01	0.07	0.22	14.92	0.03	0.71	7.82	86.09	72.71	13.38	130.50	0.04	0.54	8.86	26.58
A-32		5/17/01	7.29	22.35	35.17	0.06	0.91	7.72	100.10	74.84	25.26	132.00	0.04	0.54	8.25	24.75
A-33		5/22/01	0.00	0.00	47.36	0.04	0.59	7.63	94.71	81.53	13.18	144.50	0.06	0.54	5.65	16.95
A-34		5/30/01	0.01	0.03	54.97	0.05	0.17	7.48	96.36	86.90	9.46	167.17	0.04	0.54	0.75	2.25
A-35		6/15/01	0.01	0.04	59.50	0.02	0.03	7.37	101.00	88.62	12.38	164.16	0.04	0.54	2.57	7.71
A-36		6/27/01	0.01	0.03	62.10	0.06	0.13	7.33	123.80	109.70	14.10	175.12	0.04	0.54	0.75	2.25
A-37		7/18/01	0.01	0.02	58.92	0.06	0.20	7.63	94.62	74.12	20.50	195.87	0.04	0.54	1.12	3.36
A-38		8/2/01	0.01	0.02	62.03	0.11	0.22	7.55	102.10	82.63	19.47	196.88	0.04	0.54	1.44	4.32
A-310		8/16/01	0.01	0.03	65.24	0.08	0.09	7.46	129.00	104.62	24.38	173.43	0.04	0.54	0.75	2.25
B-30	t=0	5/14/01	0.04	0.12	1.83	0.06	0.71	8.16	67.53	54.75	12.78	95.90	0.04	1.79	11.30	33.90
B-11		5/15/01	1.94	5.95	6.43	0.03	0.86	7.89	62.61	49.88	12.73	94.50	0.04	0.54	14.08	42.24
B-12		5/17/01	0.04	0.11	9.28	0.01	0.88	8.04	60.48	52.07	8.41	99.40	0.04	0.54	14.80	44.40
B-13		5/22/01	0.02	0.06	20.63	0.01	0.80	7.83	65.13	55.80	9.33	105.90	0.04	0.54	15.70	47.10
B-14		5/30/01	0.01	0.04	35.56	0.02	0.79	7.81	64.74	56.86	7.88	114.01	0.04	0.54	12.50	37.50
B-15		6/15/01	0.01	0.04	41.63	0.02	2.12	7.65	60.00	52.91	7.09	115.84	0.04	0.54	15.99	47.97
B-16		6/27/01	0.02	0.05	51.97							114.83	0.04	0.54	17.57	52.71
B-17		7/18/01	0.00	0.00	42.90	0.07	6.34	7.95	56.43	44.82	11.61	123.72	0.04	0.54	14.13	42.39
B-18		8/2/01	0.02	0.06	30.28	0.14	5.80	7.79	60.64	48.70	11.94	121.54	0.04	0.54	13.72	41.16
B-110		8/16/01	0.00	0.00	52.81	0.02	4.63	7.65	67.81	50.24	17.57	128.50	0.04	0.54	12.00	36.00
B-113		8/30/01	0.00	0.00	53.15	0.02	5.44	7.52	67.64	53.88	13.76	132.67	0.04	0.54	14.26	42.78
B-21		5/15/01	0.00	0.00	5.42	0.04	0.54	8.01	73.51	60.77	12.74	99.20	0.04	0.54	10.50	31.50
B-22		5/17/01	0.01	0.04	13.23	0.02	0.52	7.80	72.42	60.29	12.13	102.90	0.04	0.54	10.56	31.68
B-23		5/22/01	0.00	0.00	22.82	0.01	0.62	7.58	74.89	63.79	11.10	113.00	0.04	0.54	9.72	29.16
B-24		5/30/01	0.01	0.03	36.72	0.03	0.28	7.77	68.70	61.33	7.37	121.07	0.04	0.54	7.16	21.48
B-25		6/15/01	0.01	0.03	40.07	0.03	0.29	7.52	71.94	61.96	9.98	123.70	0.04	0.54	6.70	20.10
B-26		6/27/01	0.01	0.03	43.53	0.01	0.18	7.55	81.07	2.02	79.05	126.81	0.04	0.54	4.01	12.03
B-27		7/18/01	0.01	0.02	36.30	0.70	2.07	7.72	74.81	57.48	17.33	129.44	0.04	0.54	3.07	9.21
B-28		8/2/01	0.01	0.02	45.51	0.22	1.03	7.47	76.18	67.72	8.46	133.15	0.04	0.54	0.95	2.85
B-210		8/16/01	0.01	0.03	56.23	0.31	0.35	7.46	91.25	65.52	25.73	128.13	0.04	0.77	1.88	5.64
B-31		5/15/01	0.01	0.04	10.21	0.00	0.69	8.17	69.52	58.73	10.79	103.60	0.04	0.54	10.92	32.76
B-32		5/17/01	0.03	0.11	31.98	0.02	0.76	7.84	78.13	62.16	15.97	109.90	0.04	0.54	10.81	32.43
B-33		5/22/01	0.02	0.05	28.67	0.00	1.02	7.60	79.78	69.12	10.66	124.60	0.04	0.54	9.83	29.49
B-34		5/30/01	0.01	0.04	39.13	0.12	0.19	7.75	81.80	70.29	11.51	136.27	0.04	0.54	4.26	12.78
B-35		6/15/01	0.01	0.03	46.14	0.01	0.22	7.47	88.77	77.89	10.88	146.76	0.04	0.54	3.52	10.56
B-36		6/27/01	0.01	0.03	43.22	0.09	0.64	7.40	100.50	87.62	12.88	158.57	0.04	0.54	1.16	3.48
B-37		7/18/01	0.01	0.02	38.54	0.07	0.48	7.74	91.28	71.45	19.83	164.87	0.04	0.54	2.28	6.84
B-38		8/2/01	0.01	0.03	48.20	0.18	0.32	7.55	102.80	87.62	15.18	176.15	0.04	0.54	0.75	2.25
B-310		8/16/01	0.01	0.02	58.56	0.18	3.76	7.49	89.87	87.33	2.54	168.59	0.04	0.54	0.75	2.25

# Vervolg Aanhangsel 4

detectiegrens ortho-P > 0.045;amm>0.08;nitr>0.16;

	datum	Ortho-P [mg/l]	Ortho-fosfaat [mg/l]	Chloride [mg/l]	Ammonium [mg/l]	Nitraat [mg/l]	pH	TC [mg/l]	IC [mg/l]	TOC [mg/l]	Ca [mg/l]	Fe [mg/l]	K [mg/l]	S [mg/l]	SO4 mg/l
C-30	t=0 5/14/01	0.03	0.09	4.40	0.04	0.62	8.16	96.24	61.69	34.55	103.20	0.04	0.54	8.80	26.40
C-11	5/15/01	0.00	0.00	15.86	0.01	0.63	7.81	73.75	60.90	12.85	82.10	0.04	0.96	4.74	14.22
C-12	5/17/01	0.02	0.05	28.31	0.02	0.16	7.75	53.11	46.63	6.48	85.00	0.04	0.96	3.96	11.88
C-13	5/22/01	0.02	0.05	31.84	0.04	0.64	7.75	57.48	51.01	6.47	93.50	0.04	0.93	2.24	6.72
C-14	5/30/01	0.00	0.00	34.61	0.06	0.17	7.83	58.81	54.42	4.39	105.33	0.04	0.54	0.75	2.25
C-15	6/15/01	0.01	0.03	34.00	0.07	0.19	7.59	71.83	62.34	9.49	119.77	0.04	0.90	1.54	4.62
C-16	6/27/01	0.01	0.03	31.76	0.06	0.24	6.86	76.04	68.42	7.62	124.40	0.04	1.56	0.75	2.25
C-17	7/18/01	0.01	0.03	23.86	0.12	1.19	7.80	81.50	67.06	14.44	128.99	0.04	1.13	1.22	3.66
C-18	8/2/01	0.01	0.02	30.45	0.20	0.29	7.67	62.41	68.09	<2.0	135.34	0.04	0.54	0.75	2.25
C-110	8/16/01	0.01	0.02	30.08	0.06	0.54	7.60	76.51	63.77	12.74	118.63	0.04	1.17	0.75	2.25
C-21	5/15/01	0.01	0.05	14.95	0.02	0.15	7.74	97.59	84.29	13.30	114.40	0.04	0.54	2.01	6.03
C-22	5/17/01	0.01	0.04	20.96	0.03	0.64	7.78	84.86	75.64	9.22	129.10	0.04	0.54	1.72	5.16
C-23	5/22/01	0.02	0.07	28.24	0.04	0.47	7.77	86.11	77.50	8.61	140.80	0.04	0.54	0.76	2.28
C-24	5/30/01	0.05	0.16	34.54	0.06	0.17	7.61	101.50	75.82	25.68	145.55	0.26	0.54	0.75	2.25
C-25	6/15/01	0.07	0.23	36.32	0.04	0.14	7.16	106.80	91.65	15.15	150.21	0.62	0.60	0.75	2.25
C-26	6/27/01	0.06	0.17	24.28	0.05	0.12	7.72	248.30	103.50	144.80	113.73	0.04	0.54	0.75	2.25
C-27	7/18/01	n.a.		20.55	0.13	0.51	8.01	91.40	71.83	19.57	161.78	0.04	0.54	1.01	3.03
C-28	8/2/01	0.02	0.05	32.23	0.12	0.47	7.73	73.20	75.34	<2.0	161.57	0.04	0.54	0.75	2.25
C-210	8/16/01	0.01	0.02	27.36	0.19	0.48	7.50	94.27	74.40	19.87	155.63	0.14	0.54	0.75	2.25
C-31	5/15/01	0.03	0.08	11.22	0.02	0.68	7.95	73.22	57.12	16.10	95.30	0.04	0.54	6.57	19.71
C-32	5/17/01	0.02	0.06	16.53	0.03	0.60	7.98	77.70	60.83	16.87	99.40	0.04	0.54	5.55	16.65
C-33	5/22/01	0.03	0.08	22.32	0.05	0.56	7.67	66.91	57.78	9.13	100.70	0.07	0.54	2.92	8.76
C-34	5/30/01	0.01	0.04	42.68	0.00		7.49	76.70	66.18	10.52	147.22	0.04	0.54	0.75	2.25
C-35	6/15/01	0.01	0.03	31.82	0.04	0.11	7.39	96.35	80.19	16.16	142.44	0.52	0.54	0.75	2.25
C-36	6/27/01	0.01	0.03	27.28	0.06	0.18	7.29	108.40	1.67	106.74	165.33	0.28	0.54	1.24	3.72
C-37	7/18/01	0.01	0.02	30.87	6.68	0.32	7.75	103.70	83.74	19.96	174.94	0.04	0.54	1.49	4.47
C-38	8/2/01	0.01	0.02	25.22	0.10	0.51	7.43	125.80	98.45	27.35	181.06	0.04	0.54	0.75	2.25
C-310	8/16/01	0.01	0.02	22.18	0.13	0.17	7.47	136.30	105.24	31.06	181.64	0.06	0.54	0.75	2.25
D-30	t=0 5/14/01	0.03	0.09	7.64	0.13	1.62	8.03	83.98	65.98	18.00	115.70	0.04	2.15	10.94	32.82
D-11	5/15/01	0.02	0.05	4.75	0.01	0.55	7.83	89.61	69.85	19.76	110.20	0.04	0.54	10.24	30.72
D-12	5/17/01	0.04	0.13	9.87	0.04	0.55	7.85	84.14	69.64	14.50	115.30	0.04	0.54	8.58	25.74
D-13	5/22/01	0.02	0.07	13.73	0.06	0.65	7.81	91.65	75.53	16.12	123.60	0.16	0.54	5.76	17.28
D-14	5/30/01	0.01	0.03	22.78	0.00	0.14	7.71	83.79	72.75	11.04	124.45	0.04	0.54	0.76	2.28
D-15	6/15/01	0.01	0.03	26.05	0.04	0.11	7.55	97.00	80.20	16.80	133.43	0.04	0.54	0.75	2.25
D-16	6/27/01	0.01	0.03	19.15	0.06	0.17	7.62	0.04	0.61	-0.57	153.19	0.04	0.54	0.75	2.25
D-17	7/18/01	0.01	0.02	22.02	0.08	0.30	7.75	96.17	82.40	13.77	152.60	0.04	0.54	1.33	3.99
D-18	8/2/01	0.01	0.03	19.89	0.13	0.79	7.52	112.80	82.50	30.30	165.79	0.04	0.54	0.75	2.25
D-110	8/16/01	0.01	0.02	15.13	0.14	0.17	7.50	117.50	89.15	28.35	169.62	0.24	0.54	0.75	2.25
D-21	5/15/01	0.02	0.06	6.63	0.02	0.81	7.77	73.29	64.04	9.25	106.20	0.04	0.54	10.95	32.85
D-22	5/17/01	0.00	0.00	8.90	0.02	0.58	7.65	75.76	65.00	10.76	108.50	0.04	0.54	9.90	29.70
D-23	5/22/01	0.00	0.00	9.13	0.05	0.54	7.56	76.45	65.81	10.64	116.30	0.04	0.54	8.77	26.31
D-24	5/30/01	0.01	0.03	21.40	5.90	0.00	7.76	73.99	65.37	8.62	116.32	0.04	0.54	8.24	24.72
D-25	6/15/01	0.00	0.00	22.82	0.02	0.25	7.66	80.18	70.59	9.59	119.59	0.04	0.54	4.89	14.67
D-26	6/27/01	0.01	0.03	20.00	0.00	0.23	7.51	84.39	74.29	10.10	126.44	0.04	0.54	4.82	14.46
D-27	7/18/01	0.01	0.02	18.94	0.12	1.45	7.57	74.05	61.17	12.88	130.55	0.04	0.54	3.68	11.04
D-28	8/2/01	0.01	0.02	19.87	0.10	0.48	7.44	91.99	71.07	20.92	130.47	0.04	0.54	2.46	7.38
D-210	8/16/01	0.01	0.03	19.95	0.05	0.26	7.50	94.17	71.48	22.69	134.84	0.04	0.54	2.03	6.09
D-213	8/30/01	0.00	0.00	21.10	0.05	0.20	7.35	95.53	73.21	22.32	141.04	0.04	0.54	2.20	6.60
D-31	5/15/01	0.02	0.06	6.09	0.01	1.02	7.78	79.67	66.15	13.52	105.20	0.04	0.54	10.40	31.20
D-32	5/17/01	0.01	0.04	15.61	0.01	0.57	7.72	72.45	61.42	11.03	111.80	0.04	0.54	9.75	29.25
D-33	5/22/01	0.02	0.05	15.31	0.02	0.54	7.54	77.97	65.97	12.00	125.10	0.04	0.54	8.13	24.39
D-34	5/30/01	0.01	0.03	26.68	0.04	0.16	7.64	83.62	72.70	10.92	113.43	0.04	0.54	4.38	13.14
D-35	6/15/01	0.01	0.04	23.27	0.05	0.20	7.59	86.61	74.09	12.52	125.15	0.05	0.54	1.82	5.46
D-36	6/27/01	0.01	0.03	18.91	0.04	0.27	7.48	87.93	0.87	87.06	131.83	0.04	0.54	1.89	5.67
D-37	7/18/01	na		17.36	0.16	0.32	7.71	80.91	63.35	17.56	124.15	0.04	0.54	2.01	6.03
D-38	8/2/01	0.01	0.02	19.01	0.13	0.48	7.55	84.17	63.36	20.81	133.96	0.04	0.54	0.85	2.55
D-310	8/16/01	0.01	0.03	21.13	0.12	0.52	7.53	98.97	74.59	24.38	127.59	0.04	0.54	0.75	2.25

## Aanhangsel 5 Resultaten Ecosat

Site buisnr laag	Bodemvocht							Vaste fase															
	pH	pe	SO42-	Ca2+	HCO3-	Fe2+	H2PO4	CaCO3		Fe(OH)3		FeS2		Ca-P		Fe(III)-P		Fe(II)-P		FeCO3		Ca-uitw	H-uitw
								calciet		goethiet		pyriet		octo-Ca-fosfaat		strengiet		vivianiet		sideriet			
								Mol/l	SI	Mol/l	SI	Mol/l	SI	Mol/l	SI	Mol/l	SI	Mol/l	SI	Mol/l	SI		
HP-1 0-10	8.2	-3	0.0044	0.0045	0.0003	1.7E-16	3.3E-07	1.080	0.0	0.173	0.0	0.0	-26.3	0.0017	0.0	0.0	-17.0	0.0	-32.0	0.0	-11.7	0.97	0.03
	8	-3	0.0044	0.0045	0.0004	6.9E-16	7.1E-07	1.080	0.0	0.173	0.0	0.0	-22.5	0.0017	0.0	0.0	-16.5	0.0	-30.3	0.0	-11.1	0.95	0.05
	7.8	-3	0.0044	0.0045	0.0006	2.8E-15	1.5E-06	1.079	0.0	0.173	0.0	0.0	-18.7	0.0017	0.0	0.0	-15.9	0.0	-28.6	0.0	-10.5	0.93	0.07
	7.6	-3	0.0044	0.0045	0.0010	1.1E-14	3.3E-06	1.079	0.0	0.173	0.0	0.0	-14.9	0.0017	0.0	0.0	-15.4	0.0	-27.0	0.0	-9.9	0.89	0.11
	7.4	-3	0.0044	0.0045	0.0016	4.4E-14	7.1E-06	1.078	0.0	0.173	0.0	0.0	-11.1	0.0017	0.0	0.0	-14.9	0.0	-25.3	0.0	-9.3	0.83	0.17
	7.2	-3	0.0044	0.0045	0.0025	1.7E-13	1.5E-05	1.077	0.0	0.173	0.0	0.0	-7.3	0.0016	0.0	0.0	-14.3	0.0	-23.6	0.0	-8.7	0.76	0.24
HP-1 15-25	8.2	-3	0.0000	0.0098	0.0002	2.6E-16	2.1E-07	1.610	0.0	0.176	0.0	0.0	-32.3	0.0016	0.0	0.0	-17.2	0.0	-32.4	0.0	-11.9	1.00	0.00
	8	-3	0.0000	0.0098	0.0003	1.0E-15	4.6E-07	1.610	0.0	0.176	0.0	0.0	-28.5	0.0016	0.0	0.0	-16.7	0.0	-30.8	0.0	-11.3	1.00	0.00
	7.8	-3	0.0000	0.0098	0.0005	4.0E-15	9.9E-07	1.610	0.0	0.176	0.0	0.0	-24.7	0.0016	0.0	0.0	-16.2	0.0	-29.1	0.0	-10.7	0.99	0.01
	7.6	-3	0.0000	0.0098	0.0007	1.6E-14	2.1E-06	1.609	0.0	0.176	0.0	0.0	-20.9	0.0016	0.0	0.0	-15.6	0.0	-27.4	0.0	-10.1	0.99	0.01
	7.4	-3	0.0000	0.0098	0.0012	6.4E-14	4.6E-06	1.609	0.0	0.176	0.0	0.0	-17.1	0.0016	0.0	0.0	-15.1	0.0	-25.8	0.0	-9.5	0.98	0.02
	7.2	-3	0.0000	0.0098	0.0019	2.6E-13	9.9E-06	1.608	0.0	0.176	0.0	0.0	-13.3	0.0016	0.0	0.0	-14.6	0.0	-24.1	0.0	-8.9	0.97	0.03
HP-2 0-10	8.2	-3	0.0012	0.0045	0.0003	1.7E-16	3.3E-07	0.680	0.0	0.176	0.0	0.0	-27.5	0.0018	0.0	0.0	-17.0	0.0	-32.0	0.0	-11.7	0.96	0.04
	8	-3	0.0012	0.0045	0.0004	6.9E-16	7.1E-07	0.680	0.0	0.176	0.0	0.0	-23.7	0.0018	0.0	0.0	-16.5	0.0	-30.3	0.0	-11.1	0.94	0.06
	7.8	-3	0.0012	0.0045	0.0006	2.8E-15	1.5E-06	0.679	0.0	0.176	0.0	0.0	-19.9	0.0018	0.0	0.0	-15.9	0.0	-28.6	0.0	-10.5	0.92	0.08
	7.6	-3	0.0012	0.0045	0.0010	1.1E-14	3.3E-06	0.679	0.0	0.176	0.0	0.0	-16.1	0.0018	0.0	0.0	-15.4	0.0	-27.0	0.0	-9.9	0.87	0.13
	7.4	-3	0.0012	0.0045	0.0016	4.4E-14	7.1E-06	0.678	0.0	0.176	0.0	0.0	-12.3	0.0018	0.0	0.0	-14.9	0.0	-25.3	0.0	-9.3	0.81	0.19
	7.2	-3	0.0012	0.0045	0.0025	1.7E-13	1.5E-05	0.677	0.0	0.176	0.0	0.0	-8.5	0.0018	0.0	0.0	-14.3	0.0	-23.6	0.0	-8.7	0.73	0.27
HP-2 20-30	8.2	-3	0.0023	0.0085	0.0001	1.7E-16	1.4E-07	1.170	0.0	0.200	0.0	0.0	-26.9	0.0016	0.0	0.0	-17.4	0.0	-32.7	0.0	-12.0	0.99	0.01
	8	-3	0.0023	0.0085	0.0002	6.9E-16	3.1E-07	1.170	0.0	0.200	0.0	0.0	-23.1	0.0016	0.0	0.0	-16.8	0.0	-31.0	0.0	-11.4	0.98	0.02
	7.8	-3	0.0023	0.0085	0.0003	2.8E-15	6.6E-07	1.170	0.0	0.200	0.0	0.0	-19.3	0.0016	0.0	0.0	-16.3	0.0	-29.4	0.0	-10.8	0.96	0.04
	7.6	-3	0.0023	0.0085	0.0005	1.1E-14	1.4E-06	1.169	0.0	0.200	0.0	0.0	-15.5	0.0016	0.0	0.0	-15.8	0.0	-27.7	0.0	-10.2	0.95	0.05
	7.4	-3	0.0023	0.0085	0.0009	4.4E-14	3.1E-06	1.169	0.0	0.200	0.0	0.0	-11.7	0.0016	0.0	0.0	-15.2	0.0	-26.0	0.0	-9.6	0.92	0.08
	7.2	-3	0.0023	0.0085	0.0014	1.7E-13	6.6E-06	1.168	0.0	0.200	0.0	0.0	-7.9	0.0016	0.0	0.0	-14.7	0.0	-24.4	0.0	-9.0	0.87	0.13
HP-5 0-5	8.2	-3	0.0017	0.0063	0.0002	1.7E-16	2.1E-07	0.800	0.0	0.182	0.0	0.0	-27.1	0.0025	0.0	0.0	-17.2	0.0	-32.4	0.0	-11.9	0.99	0.01
	8	-3	0.0017	0.0063	0.0003	6.9E-16	4.6E-07	0.800	0.0	0.182	0.0	0.0	-23.3	0.0025	0.0	0.0	-16.6	0.0	-30.7	0.0	-11.3	0.99	0.01
	7.8	-3	0.0017	0.0063	0.0005	2.8E-15	9.9E-07	0.799	0.0	0.182	0.0	0.0	-19.5	0.0025	0.0	0.0	-16.1	0.0	-29.0	0.0	-10.7	0.98	0.02
	7.6	-3	0.0017	0.0063	0.0007	1.1E-14	2.1E-06	0.799	0.0	0.182	0.0	0.0	-15.7	0.0025	0.0	0.0	-15.6	0.0	-27.4	0.0	-10.1	0.97	0.03
	7.4	-3	0.0017	0.0063	0.0012	4.4E-14	4.6E-06	0.799	0.0	0.182	0.0	0.0	-11.9	0.0025	0.0	0.0	-15.0	0.0	-25.7	0.0	-9.5	0.95	0.05
	7.2	-3	0.0017	0.0063	0.0018	1.7E-13	9.9E-06	0.798	0.0	0.182	0.0	0.0	-8.1	0.0025	0.0	0.0	-14.5	0.0	-24.0	0.0	-8.9	0.93	0.07
HP-5 13-20	8.2	-3	0.0021	0.0041	0.0003	1.7E-16	3.7E-07	0.570	0.0	0.130	0.0	0.0	-26.9	0.0012	0.0	0.0	-16.9	0.0	-31.9	0.0	-11.7	0.98	0.02
	8	-3	0.0021	0.0041	0.0004	6.9E-16	8.0E-07	0.570	0.0	0.130	0.0	0.0	-23.1	0.0012	0.0	0.0	-16.4	0.0	-30.2	0.0	-11.1	0.98	0.02
	7.8	-3	0.0021	0.0041	0.0007	2.8E-15	1.7E-06	0.569	0.0	0.130	0.0	0.0	-19.3	0.0012	0.0	0.0	-15.9	0.0	-28.5	0.0	-10.5	0.96	0.04
	7.6	-3	0.0021	0.0041	0.0011	1.1E-14	3.7E-06	0.569	0.0	0.130	0.0	0.0	-15.5	0.0012	0.0	0.0	-15.3	0.0	-26.9	0.0	-9.9	0.94	0.06
	7.4	-3	0.0021	0.0041	0.0017	4.4E-14	8.0E-06	0.568	0.0	0.130	0.0	0.0	-11.7	0.0012	0.0	0.0	-14.8	0.0	-25.2	0.0	-9.3	0.91	0.09
	7.2	-3	0.0021	0.0041	0.0028	1.7E-13	1.7E-05	0.567	0.0	0.130	0.0	0.0	-7.9	0.0011	0.0	0.0	-14.3	0.0	-23.5	0.0	-8.7	0.87	0.13

