



WAGENINGENUR

For quality of life

Stikstof- en fosfaatverliezen naar grond- en oppervlaktewater bij vernatting van landbouwgronden

Veldexperimenten Vredepeel 2003-2005

J.A. de Vos
F.P. Sival
O.A. Clevering
J. van Kleef



Alterra-rapport 1392, ISSN 1566-7197



Stikstof- en fosfaatverliezen naar grond- en oppervlaktewater bij vernatting van
landbouwgronden

Stikstof- en fosfaatverliezen naar grond- en oppervlaktewater bij vernatting van landbouwgronden

Veldexperimenten Vredepeel 2003-2005

J.A. de Vos ¹⁾

F.P. Sival ¹⁾

O.A. Clevering ²⁾

J. van Kleef¹⁾

¹⁾ Alterra, Wageningen

²⁾ PPO- Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroente, Lelystad

Alterra-rapport 1392

Alterra, Wageningen, 2006

REFERAAT

J.A. de Vos, F.P. Sival, O.A. Clevering en J. van Kleef, 2006. *Stikstof- en fosfaatverliezen naar grond- en oppervlaktewater bij vernatting van landbouwgronden. Veldexperimenten Vredepeel 2003-2005*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1392. 88 blz.; 33 fig.; 19 tab.; 35 ref.

In een vernattingsproef zijn verschillen in grondwaterstand gecreeëerd door slootwater via subirrigatie in een deel van een perceel te infiltreren. Hierdoor ontstonden grondwaterstanden van gemiddeld ca. 75 (hoog peil) en 110 cm-mv (normaal peil). Geschatte stikstofverliezen naar grond- en oppervlaktewater variëren voor aardappel in 2003 tussen 105-141 kg N/ha en voor maïs in 2004 tussen 28-43 kg N/ha. Bij het normale peil zijn NO₃-concentraties in grond- en drainwater ca. 100 mg/l. Er vindt nauwelijks PO₄-P -uitspoeling plaats. Subirrigatie resulteerde in een vernatting van 250-330 mm water per jaar, wat in 2003 leidde tot 80 mm minder beregening. De netto aardappelopbrengst in 2003 was 80 ton/ha voor beide percelen, met een 13% hogere N-gewasopname bij het normale peil, maar een 9% hogere P-gewasopname bij het hoge peil.

Trefwoorden: Waterbeheer, nitraatuitspoeling, gewasopbrengsten

ISSN 1566-7197

Kosten Alterra-rapport 1392: € 25,-.

Dit rapport is digitaal beschikbaar via www.alterra.wur.nl. Een gedrukte versie van dit rapport, evenals van alle andere Alterra-rapporten, kunt u verkrijgen bij Uitgeverij Cereales te Wageningen (0317 46 66 66). Voor informatie over voorwaarden, prijzen en snelste bestelwijze zie www.boomblad.nl/rapportenservice.

© 2006 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veeveelvoudigd 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.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Doel van het project	11
1.2 Leeswijzer	11
2 Inrichting en veldmeetmethoden Vredepeel	13
2.1 Inrichting proefvelden en historische meetgegevens 2000-2003	13
2.2 Gewas	15
2.2.1 Gewaskeuze	15
2.2.2 Bemesting	16
2.2.3 Bewortelingsdiepte	16
2.3 Bodem	17
2.3.1 Bodemeigenschappen	17
2.4 Hydrologie	19
2.4.1 Meetlocaties	19
2.4.2 Neerslag, verdamping en berekening	21
2.4.3 Sloopwaterstanden	22
2.4.4 Grondwaterstanden	22
2.4.5 Debietmetingen aan drains	22
2.4.6 Maaiveldhoogten	23
2.5 Waterkwaliteit	23
2.5.1 Bodemvocht	23
2.5.2 Grondwater	23
2.5.3 Drainwater	23
3 Resultaten 2003-2004	25
3.1 Gewas	25
3.1.1 Gewasopbrengst	25
3.1.2 Gewasopname N en P	25
3.1.3 Bewortelingsdiepte	26
3.2 Bodem	26
3.2.1 Bodemtextuur	26
3.2.2 Bodemchemische toestand	27
3.3 Hydrologie	30
3.3.1 Neerslag en referentieverdamping	30
3.3.2 Berekening	32
3.3.3 Sloopwaterstanden en peil Peelkanaal	32
3.3.4 Grondwaterstanden	34
3.3.5 In- en uitstroom van drainwater	35
3.4 Waterkwaliteit	36

3.4.1	Bodem- en grondwater	36
3.4.2	Uitstromend water	37
3.4.3	Instromend slootwater	38
3.4.4	Nutriëntenvrachten	40
4	Resultaten 2004-2005	43
4.1	Gewas	43
4.1.1	Gewasproductie en nutriëntenopname	43
4.1.2	Bewortelingsdiepte	43
4.2	Bodem	44
4.2.1	Minerale stikstof	44
4.3	Hydrologie	45
4.3.1	Neerslag en referentieverdamping	45
4.3.2	Slootwaterstanden	47
4.3.3	Grondwaterstanden	48
4.3.4	In- en uitstroom van drainwater	49
4.4	Waterkwaliteit	50
4.4.1	Bodem- en grondwater	50
4.4.2	Drainagewater	51
4.4.3	Nutriëntenvrachten via drains	55
5	Water- en nutriëntenbalansen	57
5.1	Water- en nutriëntenbalansen 2003-2004	57
5.1.1	Waterbalansen 2003-2004	57
5.1.2	Nutriëntenbalansen 2003-2004	58
5.2	Water- en nutriëntenbalansen 2004-2005	59
5.2.1	Waterbalansen 2004-2005	59
5.2.2	Nutriëntenbalansen 2004-2005	60
5.3	Evaluatie balansen	61
5.3.1	Waterbalans	62
5.3.2	Nutriëntenbalans	64
6	Discussie	67
6.1	Uitvoering experimenten	67
6.2	Vernatting, gewasopbrengsten en nutriëntenopname	68
6.3	P-toestand van de bodem	68
6.4	N- en P-concentraties in grond- en drainwater	69
7	Conclusies	71
	Literatuur	73
	Bijlage 1 Teeltgegevens 2003	77
	Bijlage 2 Bodemprofielbeschrijvingen Vredepeel	79
	Bijlage 3 Drainbemonsteringssysteem	81
	Bijlage 4 Fosfaatverzadigingsgraad	85
	Bijlage 5 Bodemchemische karakteristieken	87

Woord vooraf

In het kader van herstel van grondwaterafhankelijke natuur worden peilverhoging en andere vernattingsmaatregelen voorgesteld om verdroging tegen te gaan. Verdroging uit zich in een daling van het grondwaterpeil en is meestal het gevolg van verhoogde grondwateronttrekkingen voor drinkwater, industrie en landbouw en/of een (te) goede ontwatering. In het algemeen zal voor de hoger gelegen infiltratiegebieden het reduceren van onttrekkingen tot gevolg hebben dat de grondwaterstand stijgt. In de lager gelegen (kwel)gebieden zal de mate van ontwatering bepalen of het grondwaterpeil stijgt.

Het herstel van natuurgebieden door anti-verdrogingsmaatregelen (vernatting) zal ook gevolgen hebben voor de omliggende landbouwgronden. Naast agronomische gevolgen kan vernatting van landbouwgrond van invloed zijn op de uitspoeling van nutriënten naar grond- en oppervlaktewater. Ook door klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling kunnen per saldo nattere omstandigheden ontstaan. In de toekomst zullen door de implementatie van de Kaderrichtlijn Water naar verwachting strengere normen gaan gelden voor nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater. Belangrijk is daarom inzicht te krijgen in hoeverre vernatting deze concentraties beïnvloedt.

In Nederland zijn maar weinig studies uitgevoerd waarbij de milieukundige (nutriëntenemissie) en agronomische gevolgen van peilverhoging zijn bepaald. In 2003 zijn wij gestart met een veldstudie op proefboerderij Vredepeel (Limburg) om experimentele gegevens te verzamelen over vernatting van landbouwgronden. Deze experimenten hadden als doel om de ideeën die er leefden rond de effecten van vernatting op nutriëntenverliezen te onderbouwen, en waren onderdeel van het project “Kwantificering van de invloed van de waterhuishouding op stikstof- en fosfaatverliezen” in het LNV- Mest- en Mineralenprogramma van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselveiligheid (Programma 398-II). De experimenten zijn uitgevoerd op één akkerbouwbedrijf op zandgrond. We realiseren ons dat één experiment van 3 jaar op één grondsoort bij één vorm van landgebruik beperkingen heeft met betrekking tot het verkrijgen van meer algemene resultaten. Aan het begin van het project is daarom ook de mogelijkheid besproken een vergelijkbaar experiment uit te voeren op grasland. Dit bleek niet mogelijk binnen het beschikbare budget.

Wij hebben bij de keuze van het proefveld te Vredepeel dankbaar gebruik gemaakt van het al aangelegde proefveld met verschillende grondwaterstanden (Alblas *et al.*, 2003). Harry Verstegen is zeer behulpzaam geweest bij het meedenken en uitvoeren van de experimenten. Wij bedanken Harry en de andere medewerkers van de proefboerderij Vredepeel voor de gastvrijheid en de medewerking tijdens de meetperiode. Maarten van der Werff heeft geholpen bij de uitwerking van de bodemgegevens, waarvoor onze dank.

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de resultaten van een veldproef waarin de gevolgen van vernatting op de verliezen van nutriënten naar grond- en oppervlaktewater en op opbrengsten van akkerbouwgewassen zijn bestudeerd. De veldproef is uitgevoerd op twee naast elkaar gelegen percelen op de proefboerderij Vredepeel (Limburg) gedurende de periode 2003-2005. Een normaal peil (gangbare grondwaterstand) van ca. 110 cm-mv werd vergeleken met een hoog peil van ca. 75 cm -mv. In het laatste geval werd de grondwaterstand verhoogd door het opzetten van het slootpeil waardoor subinfiltratie van slootwater via drains in het perceel optrad. In beide percelen werden bodemeigenschappen, hydrologische toestanden, nutriëntenconcentraties en gewasopbrengsten gemeten, en werd met een automatisch drainbemonsteringssysteem de hoeveelheid en kwaliteit van drainage- en infiltratiewater gemeten.

De stikstofverliezen naar grond- en oppervlaktewater zijn aanzienlijk en deze waren voor aardappel in 2003 98 kg N/ha voor het normale peil en 134 kg N/ha voor het hoge peil. Voor maïs in 2004 was dit 43 kg N/ha voor het normale peil en 29 kg N/ha voor het hoge peil. De water- en stoffenbalansen hebben op jaarbasis een grote onnauwkeurigheid. De onnauwkeurigheid van de waterbalans ligt in de orde van grootte van 130 mm. Voor de stikstofbalans is de onnauwkeurigheid in de orde van grootte van 80 kg N/ha en voor de fosforbalans in de orde van grootte van 4 kg P/ha. Dit betekent dat uit de sluitposten van de balans geen betrouwbare verschillen ten gevolge van vernatting afgeleid kunnen worden. Wel geven de balansen goed inzicht in de grootte en het belang van de verschillende posten. Bij het normale peil worden NO_3 -concentraties in het drainagewater gevonden van 100 mg NO_3/l ; een factor 2 boven de EU-norm van 50 mg NO_3/l .

Beide percelen zijn in de bouwvoor (0-30 cm-mv) fosfaatverzadigd, maar op grotere diepte (nog) niet. Dit is consistent met de lage $\text{PO}_4\text{-P}$ -concentraties die in het drainagewater bij het normale peil zijn gemeten.

Het vernatten resulteerde in infiltratie van een grote hoeveelheid water (250-300 mm/jaar) in de goed doorlatende bodem. Het grootste gedeelte van dit water wordt echter via verticale en laterale grondwaterstroming afgevoerd en komt dus niet (direct) ten goede aan de gewasgroei. De hoeveelheid infiltratiewater is van dezelfde orde van grootte als het gemiddelde jaarlijkse neerslagoverschot. Dit betekent dat op het vernatte perceel de kwaliteit van het grondwater sterk beïnvloed wordt door de kwaliteit van het infiltrerende water. Het infiltratiewater had een gemiddelde concentratie van circa 20 mg NO_3/l en 0,4 mg $\text{PO}_4\text{-P}/\text{l}$. Dit betekent wat NO_3 betreft dat relatief schoon slootwater infiltreert en dat dit water wordt gemengd met het relatief NO_3 -rijke water afkomstig uit het perceel. Dit leidt tot een lagere NO_3 -concentratie in het diepere grondwater door verdunning. Met het slootwater worden relatief hoge concentraties PO_4 aangevoerd, wat tot een verrijking van de PO_4 -concentraties in het grondwater leidt, aangezien uit de resultaten van perceel 39

(normaal peil) blijkt dat er nauwelijks PO_4 uit het bodemprofiel uitspoelt. De infiltrerende PO_4 zal echter weer relatief snel in de ondergrond vastgelegd worden.

Vernatting heeft in het droge groeiseizoen 2003 geleid tot 80 mm minder beregening bij het hoge peil (75 mm) ten opzichte van het normale peil (155 mm). De netto aardappelopbrengst is met 80 ton/ha voor beide percelen gelijk, maar bij het normale peil was de N-gewasopname 13% hoger, terwijl bij het hoge peil de P-gewasopname 9% hoger was. Dit wijst er op dat (meer) beregenen bij het normale peil een gunstig effect heeft op de N-beschikbaarheid, en dat de relatief nattere omstandigheden in het voorjaar door vernatten, wanneer er nog niet wordt beregend, zorgen voor een betere P beschikbaarheid. In 2004 zijn deze verschillen in maïs niet gevonden, maar het verschil in grondwaterstanden tussen beide percelen was toen gering, ook werd er geen beregening toegepast.

1 Inleiding

De ontwatering van landbouwpercelen is ten behoeve van de optimalisatie van de landbouwproductie sinds circa 1960 toegenomen. Ook de drinkwateronttrekking, maar ook beregenen uit grondwater, is sinds die tijd toegenomen, voornamelijk op de goeddoorlatende hoger gelegen zandgronden. De toename in ontwatering en versnelde waterafvoer en toename in onttrekking van grondwater heeft geleid tot verdroging van veel natuurgebieden. Deze verdroging uit zich in een daling van de grondwaterstand en een afname van kwel.

In het Nationaal MilieubeleidsPlan 4 (NMP4, 2001) wordt aangegeven dat 200.000 tot 300.000 ha landbouwgrond in de buurt van Ecologische HoofdStructuur (EHS) zal moeten vernatten. In de hoger gelegen (infiltratie)gebieden zullen vernattingsmaatregelen voornamelijk gericht zijn op het verminderen van de grondwateronttrekkingen. In de lager gelegen (kwel)gebieden vooral op het verminderen van de waterafvoer door bijvoorbeeld het verwijderen van greppels en verontdiepen van watergangen.

Ook veranderingen in klimaat, bodemdaling en zeespiegelstijging zullen leiden tot nattere bodemcondities in grote gebieden van Nederland. Hogere grondwaterstanden zullen directe gevolgen hebben voor de landbouw en op nutriëntenverliezen uit de landbouw. Welke nutriëntenconcentraties in de verschillende wateren toelaatbaar zijn, zal vooral door de Kaderrichtlijn Water worden bepaald.

1.1 Doel van het project

Het doel van het experimentele gedeelte van ons project is het op perceelsniveau kwantificeren van de effecten van peilverhoging op de uitspoeling van stikstof en fosfaat naar grond- en oppervlaktewater, en op de opbrengsten van akkerbouwgewassen. De agronomische gevolgen van peilverhoging worden besproken in Clevering *et al.* (2006) en de synthese van al onze projectresultaten wordt gegeven in de Vos *et al.* (2006).

Dit rapport beschrijft de gevolgen van peilverhoging op de grondwaterstand, en vervolgens op:

1. de stikstof- en fosfaatverliezen uit de bodem naar het grond- en oppervlaktewater;
2. de stikstof- en fosfaatbenutting door het gewas;
3. de hoeveelheid beregening.

1.2 Leeswijzer

Dit rapport is bedoeld om de meetgegevens vast te leggen, te presenteren en te interpreteren, en is vooral bedoeld voor de inhoudelijk geïnteresseerde lezer op het

gebied van interacties tussen waterhuishouding en waterkwaliteit. Voor de agronomische aspecten van vernatting verwijzen wij naar Clevering *et al.* (2006); en voor een bredere analyse van de gevolgen van vernatting van landbouwgronden verwijzen wij naar het syntheserapport van dit project (de Vos *et al.*, 2006)

Hoofdstuk 2 beschrijft de inrichting van de proefvelden en de gebruikte meetmethoden en geeft een kort overzicht van eerder gemeten bodemeigenschappen van de proefvelden. In de Hoofdstukken 3 en 4 worden de resultaten gepresenteerd van metingen die in 2003-2004 en in 2004-2005 zijn uitgevoerd. In Hoofdstuk 5 worden de water- en nutriëntenbalansen voor de percelen opgesteld en geëvalueerd. In Hoofdstuk 6 worden de resultaten bediscussieerd. Conclusies volgen in Hoofdstuk 7.

2 Inrichting en veldmeetmethoden Vredepeel

2.1 Inrichting proefvelden en historische meetgegevens 2000-2003

‘Vredepeel’ is een proefboerderij van Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO) gelegen in het zuidoostelijk zandgebied. Het proefbedrijf ligt in Limburg, nabij de plaats Vredepeel. Het bedrijf wordt aan de westzijde begrensd door het Peelkanaal (grens Noord-Brabant) en heeft een oppervlakte van 70 hectare.



Figuur 2.1 Ligging proefbedrijf Vredepeel

In de winter van 1999/2000 is een vernattingsproef (percelen 38 en 39) aangelegd. In beide percelen is nieuwe drainage aangelegd op een diepte van 75-80 cm (drainafstand van 5 meter) bovenop de bestaande drainreeks op 120 cm diepte (drainafstand 15 meter). De drains lopen parallel aan het Peelkanaal (Zuid-Noord) van sloot naar sloot (Figuur 2.2). In de sloot aan de zuidkant van beide percelen zijn twee regelbare stuwen geplaatst.

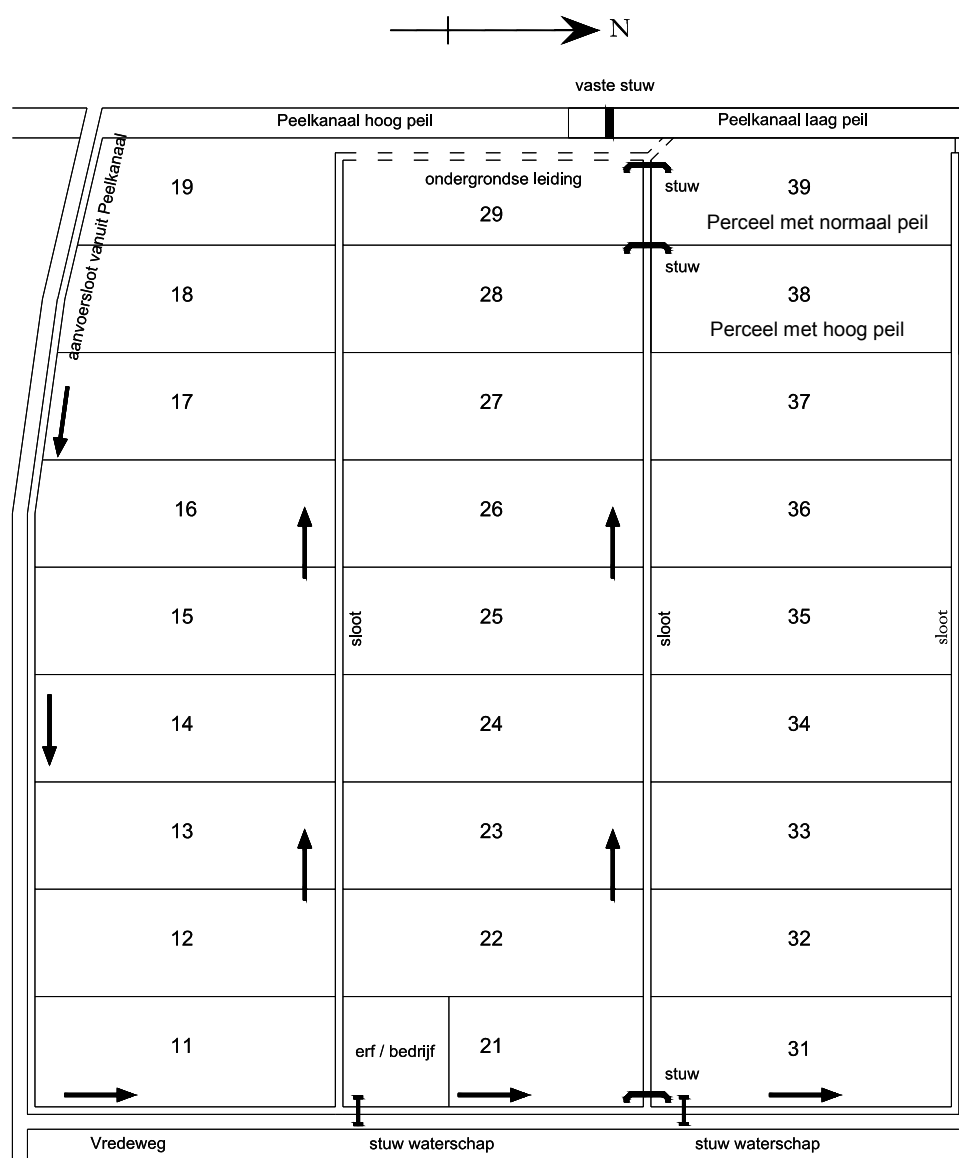
In het Peelkanaal zelf is net ten zuidwesten van het proefveld een vaste stuw aanwezig (Figuur 2.2), hierdoor is het waterpeil in het Peelkanaal aan de zuidzijde hoger dan aan de noordzijde. Via een aanvoerleiding langs de Vredeweg wordt water vanuit het gedeelte van het Peelkanaal met hoog peil door middel van stuwen en afdichtingkranen in de aanvoersloten van het proefbedrijf gelaten. Overtollig water kan via een ondergrondse leiding worden geloosd op het gedeelte met lage peil van het Peelkanaal. De sloot aan de noordzijde van het proefveld watert rechtstreeks af op het Peelkanaal.

In het proefveld zijn verschillen in grondwaterstand gecreëerd door in het slootgedeelte langs perceel 38 het slootpeil op te zetten tot boven de drains, hierdoor

kan infiltratie van slootwater in het perceel plaatsvinden. In het slootgedeelte langs perceel 39 wordt het slootwaterpeil onder de drains gehouden. De drains in perceel 39 zorgen dus alleen voor ontwatering. In beide percelen zijn de drains aan de noordzijde afgedopt.

Het proefveld bestaat dus uit een perceel (38) met normale ontwatering (“normaal peil”) en een perceel (39) met ondiepere grondwaterstand (“hoog peil”). In het normaal ontwaterde deel is het grondwaterpeil ca. 110 cm–mv (“normaal peil”) en in het vernatte deel was het peil ca. 75 cm–mv (“hoog peil”).

Na de aanleg van de perceeldelen werd in 2000 snijmaïs, in 2001 suikerbiet en in 2002 stamslabonen geteeld (Alblas *et al.*, 2003).



Figuur 2.2 Overzicht proefboerderij Vredepeel met de genummerde percelen. Op perceel 38 (normaal peil) en perceel 39 (hoog peil) vond ons onderzoek plaats

Tijdens ons vervolgproject, dat in 2003 is gestart, werden de verschillen in slootpeilen zoveel mogelijk in stand gehouden, met uitzondering van het voorjaar. In het voorjaar was het nodig om het hoge peil te verlagen voor grondbewerking. Na de voorjaarswerkzaamheden was het streven om hoogstens een peilvariatie van 10 cm toe te staan. In de zomer zou niet actief water opgepompt worden, mochten peilen niet gehandhaafd kunnen worden door een te lage wateraanvoer via het Peelkanaal.

Vóórdat het proefveld medio 2000 werd ingericht, zijn in de bodemlaag 0-30 cm in april 2000 grondmonsters gestoken om de uitgangssituatie vast te stellen (Tabel 2.1). De grond heeft bij het hoge peil een lagere leemfractie dan bij het normale peil. De pH (pH-KCl) en het voor het gewas beschikbare P (Pw en P-Al) blijken iets hoger te zijn in het perceelsdeel met het hoge peil, daarentegen zijn de K (K-HCl) en N-totaal hoger in het perceelsdeel met het normale peil.

Tabel 2.1 Bodemanalyses in 2000 van perceel 39 (normaal peil) en perceel 38 (hoog peil) te Vredepeel (Alblas et al., 2003)

Analyse	jaar slootpeil Bodemlaag	2000	
		normaal	hoog
		0-30 cm	0-30 cm
pH-KCl		6,3	6,6
% leem	g/100 g grond	9,0	4,2
% org. stof	g/100 g grond	4,6	4,6
% CaCO ₃	g/100 g grond	0,1	0,2
Pw	mg P ₂ O ₅ / l grond	52	60
P-Al	mg P ₂ O ₅ /100 g grond	60	65
K-HCl	mg/100 g grond	12	6
MgO	mg/kg grond	120	125
N-totaal	mg N/100 g grond	137	116
C-org	g C/100 g grond	2,43	2,54
C/N-org. stof		18	22

2.2 Gewas

2.2.1 Gewaskeuze

In 2003 werden consumptieaardappelen van het ras Asterix geteeld. Aardappels werden op 17 april gepoot. Omdat vanaf begin juni bij het hoge peil de groei van aardappelen door aantasting van aardappelcystealtjes (*Globodera pallida*) achterbleef, werd besloten om bij het hoge peil opbrengsten zowel te bepalen in een aangetaste als onaangetaste strook. Vervolgens werd een schatting gemaakt van het percentage aangetast oppervlakte. De aardappels werden op 9 oktober geoogst. De geoogste veldjes hadden een oppervlakte van 18 m² = 4 rijen * 12 m rijlengte. De aardappelen zijn met een wagenrooier geroid en vervolgens opgezakt. Alle geoogste knollen zijn ontdaan van grond en gesorteerd in de maten <30, 30/50, en >50 mm, en per sortering is de uitval (als gevolg van scheuren/misvormingen) bepaald. De netto-opbrengst is de bruto-opbrengst minus uitval. De marktbare opbrengst is de netto-opbrengst in de sortering > 30 mm. Als kwaliteitskenmerk werd het onderwatergewicht (OWG) bepaald aan een monster van ongeveer 5 kg uit de sortering 30-50 mm. Het droge stofpercentage en N- en P-gehalte van de knollen

werden aan een submonster door het Bedrijfslaboratorium voor grond- en gewasanalyses (BLGG) te Oosterbeek bepaald.

In 2004 werd snijmaïs van het ras Tripoli geteeld (Bijlage 1). Bij de oogst werd zowel op perceel 39 (normaal peil) als perceel 38 (hoog peil) van drie veldjes het vers- en drooggewicht bepaald. De veldjes hadden een oppervlakte van $18 \text{ m}^2 = 1,5 \text{ m} * 12 \text{ m}$ (2 rijen). Van een submonster werd door BLGG de voederkwaliteit (VEM, suiker en zetmeel), droge stofpercentage en N- en P-gehalten bepaald.

2.2.2 Bemesting

In 2003 (aardappelen) werd bemest met een basisgift varkensdrijfmest ($25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) aangevuld met kunstmest N (40 kg N ha^{-1}). Gedurende het groeiseizoen werd zowel bij het normale als hoge peil op basis van bladsteeltjesonderzoek met N bijbemest (30 kg N ha^{-1}). Voor de teelt vond ook nog kalibemesting plaats (Tabel 2.3). De samenstelling van de varkensdrijfmest is gegeven in Tabel 2.4. Als uitgegaan wordt van 95% werkzame minerale stikstof en 65% werkzame organische stikstof in varkensdrijfmest bij regelmatige toediening van dierlijke mest dan is de totale werkzame N-gift (dierlijke mest + kunstmest) ca. 225 kg N ha^{-1} .

Tabel 2.3 Bemesting consumptieaardappelen in 2003

Activiteit	Datum
25 m ³ ha varkensdrijfmest geïnjecteerd	13 maart
K60 = 150 kg K60 ha = 90 kg K ₂ O ha ⁻¹	17 maart
KAS = 40 kg N ha ⁻¹	5 mei
KAS = 30 kg N ha ⁻¹	13 juni

Tabel 2.4 Samenstelling (kg ton⁻¹) en aanvoer (kg ha⁻¹) van mineralen met varkensdrijfmest in 2003 (volumegewicht 1049 kg m⁻³)

	Totaal-N	Org-N	Min-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	DS	OS
kg/ton	7.03	2.4	4.7	4.44	7.4	3.2	1	88	55
kg/ha	184	62	122	115	192	83	26	2288	1430

In 2004 werd vóór het zaaien van snijmaïs $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ runderdrijfmest toegediend. Als voor N uitgegaan wordt van 95% werking van de minerale fractie en 50% van de organische fractie bij jaarlijks toedienen van mest dan is in totaal 142 kg werkzame N ha⁻¹ toegediend.

Tabel 2.5 Samenstelling en aanvoer van mineralen met rundveedrijfmest in 2004 (volumegewicht 1005 kg/m³)

	Totaal-N	Org-N	Min-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	DS
kg/ton	3,8	1,7	2,1	1,31	6,0	1,1	80
kg/ha	190	85	105	65,5	300	55	4000

2.2.3 Bewortelingsdiepte

In 2003 werd drie keer gedurende het groeiseizoen de effectieve bewortelingsdiepte bepaald. Hierbij is een wortelboor met een diameter van 8 cm (oppervlakte 50 cm^2)

gebruikt. Voor de bepaling van de effectieve bewortelingsdiepte wordt een minimaal aantal van drie wortels in het boorsel aangehouden. De bemonstering heeft plaatsgevonden bij beide waterpeilen op zeven locaties in het hart van de gewasrij.

In 2004 werd vlak voor de oogst op 10 verschillende plekken per waterpeil de effectieve bewortelingsdiepte bepaald.

2.3 Bodem

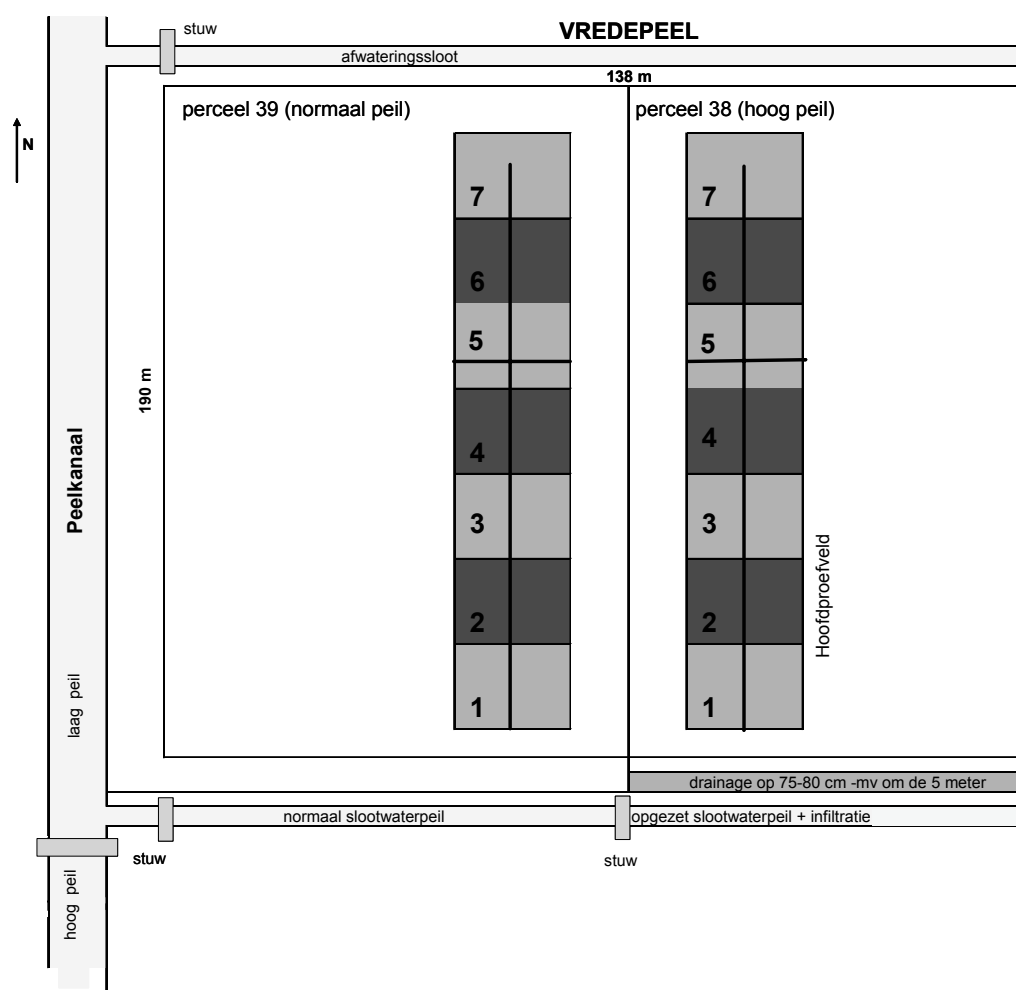
De bodemgesteldheid van het proefveld is door veldbodemkundig onderzoek tot 180 cm -mv vastgesteld (Bijlage 2). Per boorpunt is van elke horizont, dikte en aard van het materiaal, het organische-stofgehalte en textuur geschat. De bodem van het proefveld bestaat voor het merendeel uit matig humeus, zwak lemig, matig fijn zandige veldpodzolgronden (Hn53). In het noordwesten van de twee percelen komen echter in relatief lager gelegen delen ook gooreerdgronden (tZn53) voor. De bovengrond bestaat uit Jong Dekzand terwijl in de ondergrond fluvioperiglaciale zanden voorkomen. Beide behoren tot de Formatie van Twente. Dieper dan 180 cm -mv kan het matig fijne zand overgaan in matig grof zand. Dit zand heeft een zeer hoge doorlaatfactor en behoort tot de Formatie van Kreftenheye.

2.3.1 Bodemeigenschappen

Voor de bemonstering van de bodem en het gewas werden de percelen 38 (hoog peil) en 39 (normaal peil) ingedeeld in zeven vakken (Figuur 2.3).

Op 19 november 2003 zijn bodemmonsters gestoken per 10-cm laag tot een diepte van 80 of 100 cm -mv (mengmonsters van 7 steken met één steek per vak).

In de gedroogde en gezeefde (2 mm) monsters werden de volgende analyses uitgevoerd: organische stofgehalte, CaCO₃, textuur, pH-CaCl₂, pH-KCl, Fe-ox, Al-ox, P-ox, N-totaal, P-totaal. P-Al, Pw, beschikbaar kalium (CaCl₂-extractie). De analyses, met uitzondering van textuur, kalium en kalk werden uitgevoerd door het laboratorium van de sectie Bodemkwaliteit van de Wageningen University and Research (WUR) te Wageningen. De andere analyses werden uitgevoerd door het BLGG.



Figuur 2.3 Perceel 38 (hoog peil) en perceel 39 (normaal peil) met de genummerde vakken waarin de bodembemonstering plaatsvond

In de gedroogde en gezeefde (2 mm) monsters werden de volgende analyses uitgevoerd: organische stofgehalte, CaCO_3 , textuur, pH-CaCl_2 , pH-KCl , Fe-ox, Al-ox, P-ox, N-totaal, P-totaal, P-Al, Pw, beschikbaar kalium (CaCl_2 -extractie). De analyses, met uitzondering van textuur, kalium en kalk werden uitgevoerd door het laboratorium van de sectie Bodemkwaliteit van de Wageningen University and Research (WUR) te Wageningen. De andere analyses werden uitgevoerd door het BLGG.

N-mineraalbepaling

De hoeveelheid minerale N (nitraat-N en ammonium-N) werd ook per bodemlaag van 10 cm bepaald (mengmonsters van 7 steken, met één steek per vak per waterpeil). In 2003 werd N_{min} 3x in het najaar bemonsterd. In 2004 vóór de teelt, gedurende het groeiseizoen en 2x in het najaar (Tabel 2.6). De bemonstering gedurende de teelt van snijmaïs vond in de rij plaats.

Tabel 2.6 Data van bodembemonstering

Bodembemonstering		Datum 2003	Datum 2004
Nmin per 10 cm-laag	Voor de teelt		11 maart
Nmin per 10 cm-laag	Tijdens groeiseizoen		14 juli
Nmin per 10 cm-laag	Na de oogst	27 oktober	4 oktober
Nmin per 10 cm-laag	Najaar	19 november	
Nmin per 10 cm-laag	Begin uitspoelingsseizoen	17 december	1 december

2.4 Hydrologie

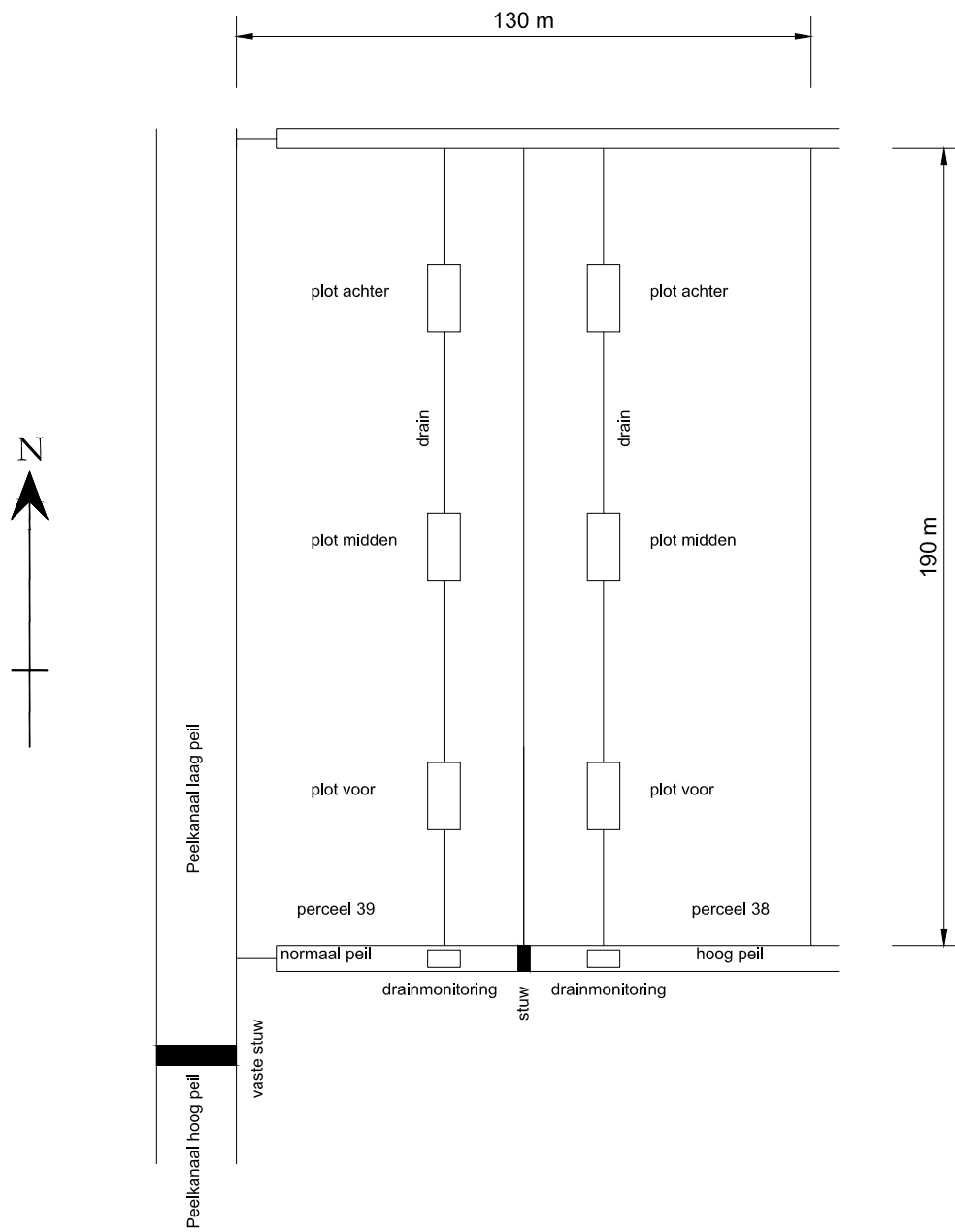
2.4.1 Meetlocaties

De percelen 38 (hoog peil) en 39 (normaal peil) werden zo ingericht dat de metingen zich concentreerden rond één drain. Om een representatief beeld te krijgen van de verschillen tussen hoog en normaal peil dienden de drains niet te worden beïnvloed door de grondwaterstanden in het naastgelegen perceel. Daarom werd gekozen voor een zo groot mogelijke afstand (40 m) tussen de drains en 20 m van de grens tussen het hoge en normale peil (Figuur 2.4).

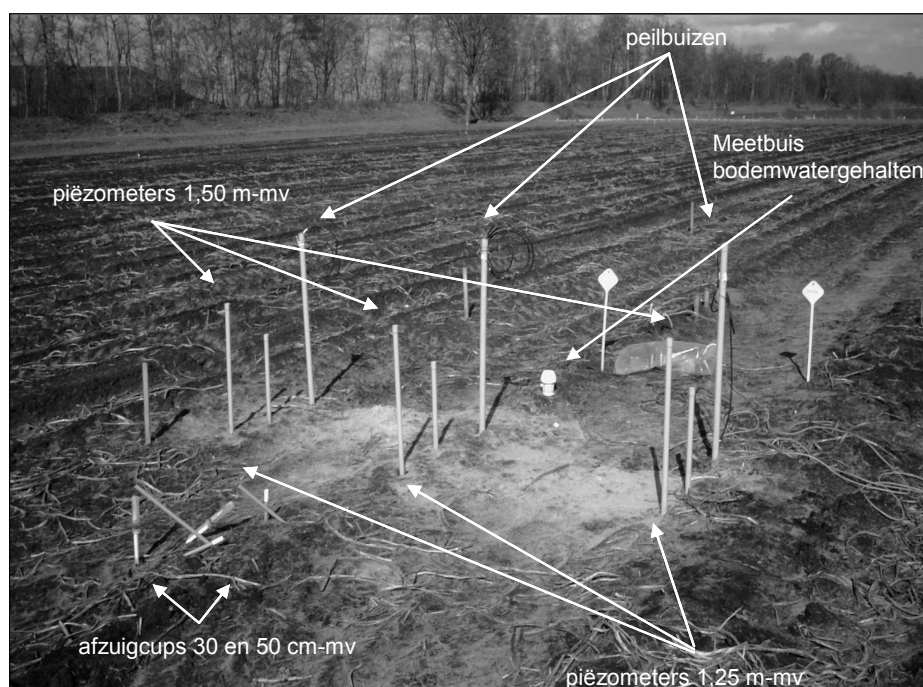
Boven de drains bevonden zich een drietal “meetplots” met meetapparatuur waarmee het experimenten werden gevolgd. De meetplots werden vooraan, in het midden en achteraan de percelen geplaatst (Figuur 2.4) met apparatuur voor het meten van de watergehalten in de bodem en voor het onttrekken van grondwater om N- en P-concentraties in het grondwater te kunnen bepalen. In het middelste meetplot bevond zich eveneens apparatuur voor het meten van de grondwaterstanden en de stijghoogten (Figuur 2.5).

Aan het einde van de drains werden meetkasten geïnstalleerd voor het meten van drainage, subirrigatie en bemonstering van drain- en slootwaterkwaliteit (zie ook de figuur op de voorkant van dit rapport). Op beide percelen stond dezelfde meetapparatuur.

Bij de presentatie van de hydrologische meetgegevens wordt onderscheid gemaakt tussen de periode 1 januari 2003 t/m 31 december 2003 en de periode van 1 januari 2004 tot 1 april 2005 (einde metingen). In de eerste periode waren nog geen gedetailleerde metingen van de drainaan- en afvoer beschikbaar; in de tweede periode wel, zodat de pieken in drainage- en infiltratiewater in meer detail geïnterpreteerd kunnen worden. In de presentatie van de resultaten zullen we de nadruk leggen op de variatie in de tijd van de gemeten hoeveelheden water en de nutriëntenconcentraties en -vrachten en deze samen presenteren met de meteorologische gegevens, omdat met name het neerslagoverschot een grote invloed heeft op de transportprocessen.



Figuur 2.4 Meetplots op de percelen 38 (hoog peil) en 39 (normaal peil)



Figuur 2.5 Meetapparatuur op het middelste meetplot

2.4.2 Neerslag, verdamping en berekening

Neerslag werd gemeten op het lokale weerstation op het proefbedrijf Vredepeel. Voor de gewasverdamping werd in 2003 en 2004 gebruik gemaakt van het referentieverdamping volgens Makkink (1957) en de Bruin (1987) van het nabij gelegen KNMI-weerstation Eindhoven en bijbehorende gewasfactoren (Feddes, 1987). Op basis van de analyse van Massop *et al.* (2005), waarin de gemiddelde kale bodemverdamping in de periode 1 oktober t/m 31 maart in Nederland wordt geschat op 80 mm, hebben wij een “gewasfactor voor kale bodem” $f = 0.54$ afgeleid. In de situatie dat er wel gewas op het land staat, zijn de standaard gewasfactoren van Feddes (1987) gebruikt. Echter in het droge groeiseizoen 2003 is voor aardappel een extra verdampingsreductie doorgevoerd, welke bij de bespreking van de waterbalans zal worden toegelicht. In 2005 is voor de referentieverdamping gebruik gemaakt van de lokale weersgegevens van Vredepeel.

Er werd berekend op basis van gemeten drukhoogten en de praktijkervaring van het proefbedrijf Vredepeel. Per beregeningsgift werd een maximale hoeveelheid water gegeven van 25-30 mm.

2.4.3 Slootwaterstanden

De slootwaterstanden aan de zuidzijde van de twee percelen (Figuur 2.3) werden gemeten met behulp van geautomatiseerde drukopnemers (“divers”) met geïntegreerde dataopslag.

2.4.4 Grondwaterstanden

De grondwaterstanden werden gemeten met behulp van peilbuizen. De geplaatste peilbuizen bestonden uit ronde PVC-buizen (Ø 32 mm) en hadden een lengte van 3 meter. De onderkant van de peilbuizen bevond zich op 2 m-mv. De metingen werden verricht met behulp van drukopnemers. De peilbuizen werden op de middelste plot geplaatst op 0,00 m; 1,25 m en op 2,50 m van de drain, om zo het verloop van de grondwaterstand als functie van de afstand tot de drain te kunnen vaststellen.

De grondwaterstanden werden een aantal malen handmatig gemeten, om zo te controleren of de meetmethode goed functioneerde. De peilbuizen werden geplaatst na bewerking van de percelen in het voorjaar, en verwijderd voor de bewerking van het perceel in het najaar. Na het bewerken in het najaar werden de peilbuizen teruggeplaatst.

2.4.5 Debietmetingen aan drains

Op beide percelen bevond zich bij de te monitoren drain een meetsysteem om zowel drainage als subirrigatie (infiltratie) te meten. Drainage kan plaatsvinden wanneer de grondwaterstand boven de drain staat en wanneer bovendien het slootwater onder de drain staat, waardoor er vrije afwatering naar de sloot kan plaatsvinden. Wanneer het slootwater boven de drain staat, kan er nog steeds drainage plaatsvinden. Dit kan gebeuren wanneer er bij een groot neerslagoverschot een grotere stijghoogte in de drain ontstaat dan de stijghoogte in de sloot: $H_{\text{drain}} > H_{\text{sloot}}$. Subirrigatie via de drains vindt plaats wanneer het slootwater boven de drain staat en wanneer de stijghoogte in de sloot hoger is dan de stijghoogte in de drain: $H_{\text{sloot}} > H_{\text{drain}}$. Er kan overigens ook infiltratie van slootwater of drainage van grondwater plaatsvinden via de slootwand en -bodem naar of van het perceel. Iedere drain voerde water af van een gebied met bodemoppervlak van 950 m², wat bepaald werd door de lengte van de percelen van 190 m en de onderlinge drainafstand van 5 m. Dit betekent dat 1 mm afvoer van dit bodemoppervlak overeenkomt met 950 liter water uit de drain wanneer het een gesloten systeem zou zijn. Na een 1 mm afvoer werd door het monsternameapparaat een monster uit de drain genomen. De werking van het meetsysteem is beschreven in Bijlage 3.

2.4.6 Maaiveldhoogten

Op 30 maart 2004 is een waterpassing uitgevoerd van het maaiveld voor eventuele correctie van de grondwaterstanden en de stijghoogten voor variaties in maaiveldhoogte (van Rijn, 2004). Uit de waterpassing volgde dat er binnen een meetplot verschillen van 3 cm t.o.v. de gemiddelde maaiveldhoogte optraden. Ook de draandiepte varieerde sterk van circa 63 cm-mv bij de achterste meetplot tot circa 88 cm bij de voorste plot (van Rijn, 2004). Ten behoeve van de ontwatering zijn drains onder helling aangelegd.

2.5 Waterkwaliteit

2.5.1 Bodemvocht

Voor monsternamen van het bodemwater werd gebruikgemaakt van afzuigcups. De afzuigcups werden op beide percelen op alle meetplots op een diepte van 30 en 50 cm -mv geplaatst. De afzuigcups zijn opgebouwd uit een PVC-buis met aan het uiteinde een membraanfilter met een lengte van 10 cm en een diameter van 2,5 mm. Het membraanfilter heeft poriën met een diameter $\varnothing 0,1 \mu\text{m}$. Vanuit het filter loopt een flexibele slang naar het uiteinde van de PVC-buis. Het einde van de slang is gekoppeld aan de huls van een injectiespuit. Door de spuit aan te sluiten op de slang en uit te trekken, ontstaat er onderdruk in de slang. Hierdoor wordt bodemvocht door het membraanfilter opgezogen en in de spuit opgevangen. De bemonstering vond plaats na vaste neerslagoverschotten van 50 mm, mits er water in de afzuigcup zat. Er is dus niet op een vast tijdstip bemonsterd.

Nitrat (NO_3), ammonium (NH_4) en orthofosfaat ($\text{o-PO}_4\text{-P}$) concentraties werden in niet aangezuurde gefiltreerde ($0,45 \mu\text{m}$) monsters gemeten.

2.5.2 Grondwater

Het grondwater werd bemonsterd in geperforeerde PVC-buizen (piezometers) die op een diepte van 100 cm onder het maaiveld zijn geplaatst. Bij een bemonstering werd het grondwater uit de buis gepompt. Na ca. 1 uur was de buis weer gevuld met vers water en werd het grondwater bemonsterd.

Bepalingen vonden op dezelfde wijze plaats als beschreven onder 2.5.1.

2.5.3 Drainwater

Op beide percelen bevindt zich een monsternamenapparaat om per 1 mm afvoer een monster uit de drain te nemen. Er wordt 100 ml water in een monsterflesje gepompt (zie Bijlage 3). Mengmonsters zoals deze aan het laboratorium zijn aangeleverd bestaan uit 5 monsters (500 ml). Bepalingen vonden op dezelfde wijze plaats als beschreven onder 2.5.1.

3 Resultaten 2003-2004

3.1 Gewas

3.1.1 Gewasopbrengst

In 2003 zijn de consumptieaardappels op perceel 38 (hoog peil) pleksgewijs aangetast door aardappelcysteeltjes. Voor de berekening van de gemiddelde opbrengst voor perceel 38 (hoog peil) is ervan uitgegaan dat ca. 28% van de strook door aaltjes is aangetast.

Zonder aaltjesaanastasting is de opbrengst op perceel 38 (hoog peil) ca. 2,5 ton ha⁻¹ hoger dan op perceel 39 (normaal peil), de marktbaar opbrengst is ca. 2 ton ha⁻¹ hoger. Het drooggewicht verschilde niet tussen de percelen (Tabel 3.1). Dit betekent dat peilverhoging vooral geleid heeft tot hogere vochtopname. Dit laatste wordt ook weerspiegeld in het droge stofgehalte en onderwater gewicht (OWG).

Tabel 3.1 Resultaten eind oogst (gemiddelden \pm s.e. (n=3)). Op perceel 38 (hoog peil) is onderscheid gemaakt tussen wel en niet door aaltjes aangetaste plekken.

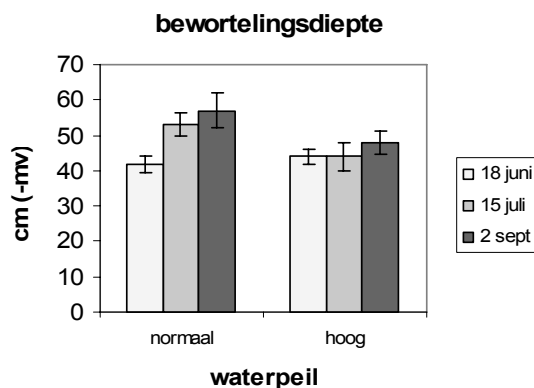
	Perceel 39 (normaal peil)	Perceel 38 (hoog peil)		gemiddeld
		zonder aaltjes	met aaltjes	
Bruto (ton ha ⁻¹)	78,9 \pm 1,3	81,4 \pm 5,4	54,9 \pm 5,6	73,5
Netto (ton ha ⁻¹)	78,5 \pm 1,3	80,7 \pm 5,4	54,5 \pm 5,6	72,8
Marktbaar ((ton ha ⁻¹)	77,6 \pm 1,3	79,6 \pm 5,3	54,0 \pm 5,6	71,9
Drogestofgehalte (g kg ⁻¹)	197	187	199	190
Drooggewicht (ton ha ⁻¹)	15,5	15,1	11,0	14,0
OWG	396 \pm 14,4	390 \pm 8,8	406 \pm 6,5	394
N-gehalte (g kg ⁻¹ ds)	15,8	14,5	18,1	15,5
N-afvoer (kg ha ¹)	244	219	196	212
P-gehalte (g kg ⁻¹ ds)	1,9	2,1	1,9	2,0
P-afvoer (kg ha ¹)	29,4	31,7		29,0

3.1.2 Gewasopname N en P

Het N-gehalte en N-afvoer van de consumptieaardappelen zijn op perceel 39 (normaal peil) hoger dan op het niet aangetaste deel van perceel 38 (hoog peil) (Tabel 3.1). Voor het P-gehalte en P-afvoer geldt het omgekeerde. Dit alles wijst op een iets hogere N-beschikbaarheid op perceel 39 (normaal peil), maar iets lagere P-beschikbaarheid.

3.1.3 Bewortelingsdiepte

Tot 18 juni waren er geen verschillen in maximale bewortelingsdiepte tussen perceel 38 (hoog peil) en perceel 39 (normaal peil) (Figuur 3.1). Na 18 juni was de beworteling ca 10 cm dieper in perceel 39 (normaal peil) dan in perceel 38 (hoog peil).



Figuur 3.1 Maximale effectieve bewortelingsdiepte van aardappel (gemiddelden \pm s.e. $n=7$) op resp. 18 juni, 15 juli en 2 september in perceel 39 (normaal peil) en perceel 38 (hoog peil)

3.2 Bodem

3.2.1 Bodemtextuur

Gemiddeld genomen is het percentage organische stof, percentage lutum en het percentage afslibbaar ($< 16 \mu\text{m}$) van perceel 39 iets hoger dan van perceel 38 (Tabel 3.2; zie ook Bijlage 2). De fractie totaal zand is iets hoger van perceel 38. Op perceel 38 werd op een diepte van 90 cm een verdichte laag aangetroffen. De verschillen in korrelgrootteverdeling zijn inherent aan de ligging van de percelen en niet het gevolg van peilverschillen.

Tabel 3.2 Bodemeigenschappen van perceel 39 (normaal peil) en perceel 38 (hoog peil)

	per- ceel	Diepte (cm)									
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
CaCO ₃ (%)	39	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	*	0,1	0,1
CaCO ₃ (%)	38	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Lutum (%)	39	3,3	4,0	2,3	1,0	3,2	6,5	2,7	*	1,1	1,7
Lutum (%)	38	3,3	1,4	0,1	2,2	1,0	1,0	1,6	1,1	4,3	1,1
Afslibbaar (%)	39	5,8	6,2	2,9	2,1	4,4	8,2	3,4	*	1,7	4,2
Afslibbaar (%)	38	3,7	2,3	0,1	3,7	2,5	1,4	3,0	2,7	9,8	1,1
Totaal zand (%)	39	90,3	89,9	92,9	94,2	93,4	90,6	96	*	97,7	95,2
Totaal zand (%)	38	92,7	93,9	95,6	92,8	95,8	97,7	96	97	89,6	98,3

*) Op perceel 39 was het bodemmonster van de laag 70-80 te klein om een betrouwbare analyse te verrichten

3.2.2 Bodemchemische toestand

De nutriëntentoestand van de bodems van de percelen 38 en 39 met resp. een normaal en een hoog peil verschillen gemiddeld genomen weinig van elkaar.

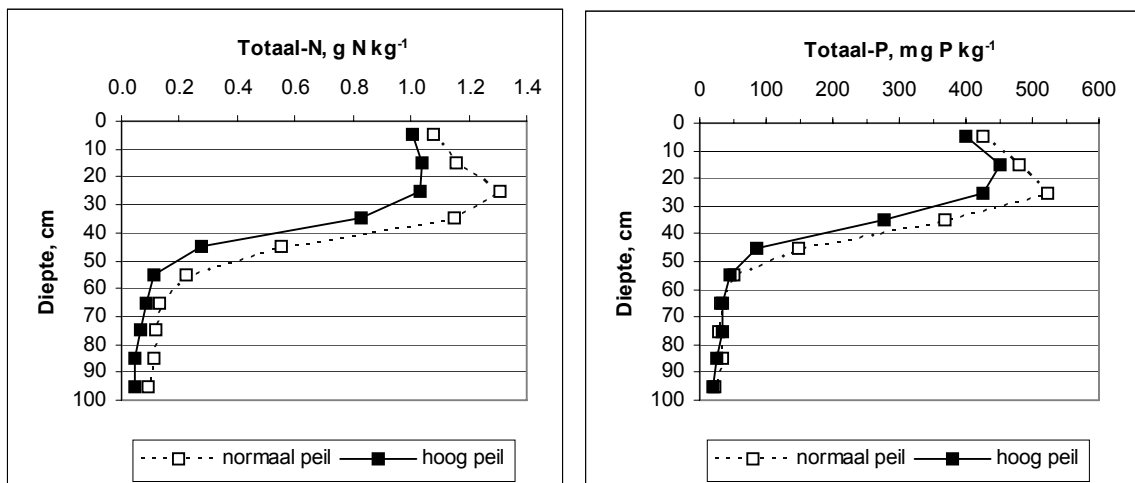
pH en organische stof

De pH-KCl neemt af met de diepte van ca 5,8 in de bodemlaag 0-40 cm tot ca. 4,7 in de laag 50-100 cm (data niet gepresenteerd). De hoogste organische stofgehalten (tussen 3,7 en 4,8%) worden in de bodemlaag 0-40 cm -mv gevonden (Bijlage 2).

Totaal N en P

Net zoals het organische stofgehalte, nemen de N- en P-gehalten in de bodem af met toenemende diepte (Figuren 3.2). Voor de berekening van gehalten naar hoeveelheden per bodemlaag per hectare is er van uitgegaan dat de 0-30 cm laag een droge bulkdichtheid heeft van 1500 kg m^{-3} en de 30-100 cm laag een droge bulkdichtheid heeft van 1700 kg m^{-3} (de Vos *et al.*, 2003; Heinen *et al.*, 2005).

Opvallend zijn de lagere gehalten en hoeveelheden in de laag 20-50 cm bij het hoge dan bij het lage peil. Deze verschillen kunnen niet teruggevoerd worden op verschillen in organische stofgehalten tussen beide peilen (Tabel 3.3).



Figuur 3.2. N- (g/kg) en P-gehalte (mg/kg) in de bodem op perceel 39 (normaal peil) en perceel 38 (hoog peil)

Minerale stikstof

In 2003 is direct na de oogst (27 oktober 2003) de totale hoeveelheid minerale N in de laag 0-100 cm iets hoger ($58,2 \text{ kg N ha}^{-1}$) in perceel 39 (normaal peil) dan in perceel 38 (hoog peil) ($53,4 \text{ kg N ha}^{-1}$) (Tabel 3.3). In perceel 38 (hoog peil) is de minerale N iets meer in de bovenste bodemlagen geconcentreerd. Tussen 27 oktober 2003 en 19 november 2003 neemt de hoeveelheid minerale N in met name de bodemlaag 20-40 cm iets sterker toe in perceel 38, om vervolgens in de periode 17 december 2003 tot 11 maart 2004 tot ongeveer dezelfde waarde ($34,0 \text{ kg N ha}^{-1}$) af te nemen. In het uitspoelingsseizoen 2003-2004 lijkt peilverhoging betrekkelijk weinig invloed te hebben op de aanwezigheid van minerale N in de bodem, hetgeen

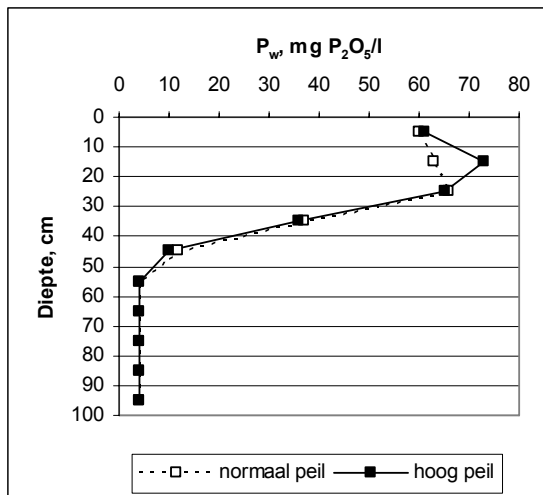
waarschijnlijk samenhangt met de relatief lage grondwaterstanden in het groeiseizoen 2003.

Tabel 3.3. N-mineraal per bodemlaag van 10 cm voor perceel 39 (normaal peil) en perceel 38 (hoog peil)

Perceel	Peil	Laag cm	N-min	N-min	N-min	N-min
			27 okt 2003 kg N/ha	19 nov 2003 kg N/ha	17 dec 2003 kg N/ha	11-mrt 2004 kg N/ha
38	Hoog	0-10	9.8	6.6	3.4	4.20
38	Hoog	10-20	9.4	9.4	4.6	4.80
38	Hoog	20-30	9.8	12.8	6.2	4.80
38	Hoog	30-40	5.4	13.2	7.8	3.40
38	Hoog	40-50	6.4	8.4	7.4	2.60
38	Hoog	50-60	3.0	5.8	7.0	2.00
38	Hoog	60-70	2.6	5.6	6.2	1.80
38	Hoog	70-80	2.4	5.4	6.0	2.00
38	Hoog	80-90	1.8	4.8	5.4	3.80
38	Hoog	90-100	2.8	3.8	4.6	4.60
		<i>Totaal</i> 0-100 cm	53.4	75.8	58.6	34.0
39	Normaal	0-10	6.6	6.4	4.6	4.20
39	Normaal	10-20	7.0	9.4	5.8	4.80
39	Normaal	20-30	6.8	10.0	5.6	4.20
39	Normaal	30-40	7.4	9.8	6.8	3.00
39	Normaal	40-50	7.2	6.6	8.4	1.60
39	Normaal	50-60	5.2	6.0	7.4	1.80
39	Normaal	60-70	5.0	5.4	6.4	2.20
39	Normaal	70-80	4.4	5.0	5.8	2.80
39	Normaal	80-90	4.0	5.2	5.6	4.20
39	Normaal	90-100	4.6	4.6	5.2	5.20
		<i>Totaal</i> 0-100 cm	58.2	68.4	61.6	34.0

P_w

Fosfaat dat in water oplost (P_w) wordt beschouwd als de meest labiele fractie in de bodem. De P_w -waarde wordt in de akkerbouw gebruikt als maat voor de beschikbaarheid van P voor gewassen. Het P_w -getal in de laag 0-40 cm is hoog (60-70); en zeer laag in de diepere lagen (5-10), zie Figuur 3.3. Opvallend is het hogere P_w -getal in de bodemlaag 10-20 cm van perceel 38 (hoog peil) dan van perceel 39 (normaal peil): 70 t.o.v. 61 (Fig. 3.3).



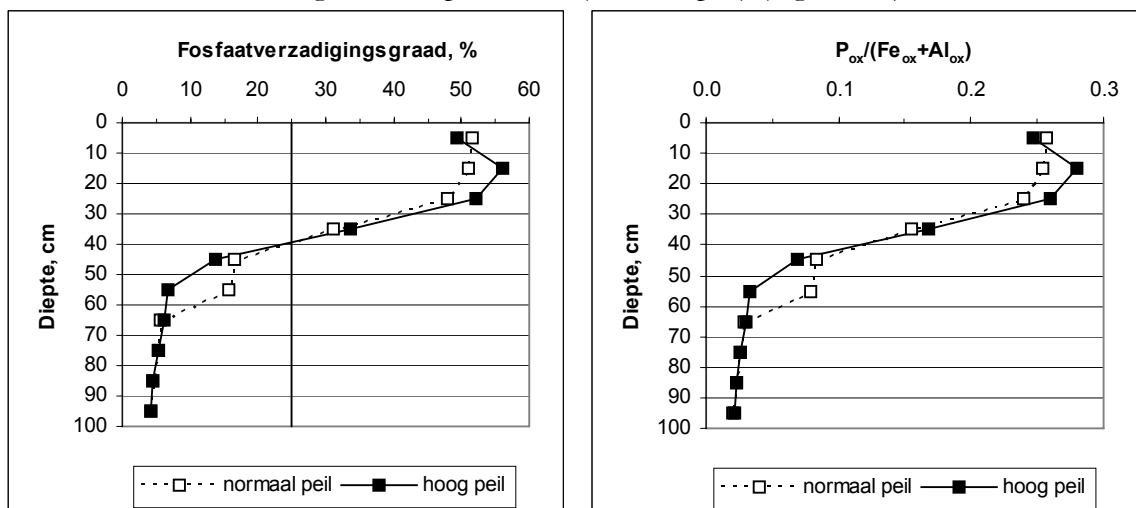
Figuur 3.3 De beschikbare hoeveelheid P (P_w ; mg P_2O_5/l) in de bodem voor perceel 39 (normaal peil) en perceel 38 (hoog peil)

Fosfaatverzadiging en P_w

Een bodem wordt fosfaatverzadigd genoemd als de fosfaatverzadigingsgraad (FVG) hoger is dan 25% (Bijlage 4). Deze waarde van 25% is gebaseerd op een oppervlaktewaterkwaliteitsnorm van 0,15 mg totaal-P/l (Schoumans *et al.*, 1991). Als de waterkwaliteitsnorm wordt aangescherpt naar 0,05 mg totaal-P/l dan mag de FVG niet hoger zijn dan 10% (Ehlert en Koopmans, 2004).

De fosfaatvoorraad in de bodem, mede in relatie tot de capaciteit van de bodem om fosfaat te binden, is in belangrijke mate sturend voor de minerale fosfaatsuitleiding, en is daardoor redelijk gecorreleerd met de mate van fosfaatverzadiging van de bovengrond van de bodem (Schoumans *et al.*, 2004).

In perceel 38 (hoog peil) is zowel fosfaatverzadigingsgraad als ook de binding van fosfaat aan Fe+Al iets hoger dan in perceel 39 (normaal peil) (Figuur 3.4).



Figuur 3.4 De fosfaatverzadigingsgraad (FVG) en de hoeveelheid P, Fe en Al middels oxalaat extractie in de bodem voor perceel 39 (normaal peil) en perceel 38 (hoog peil).

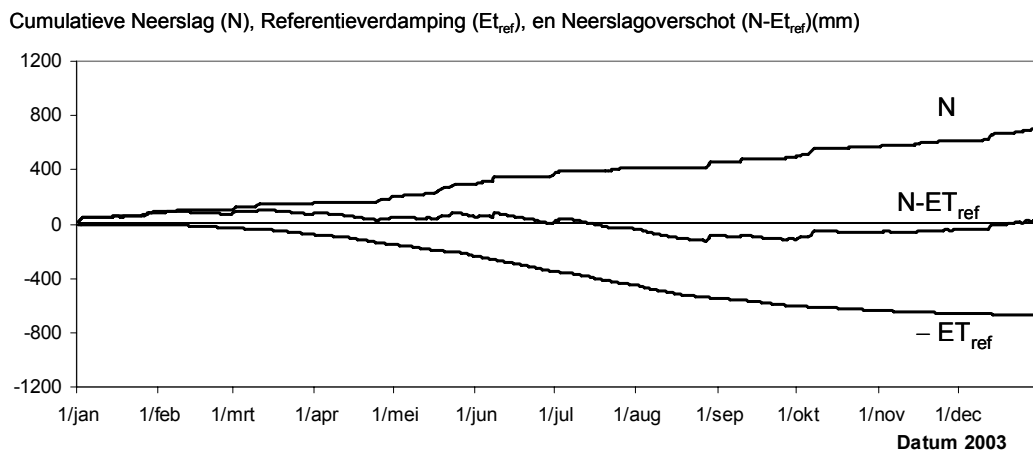
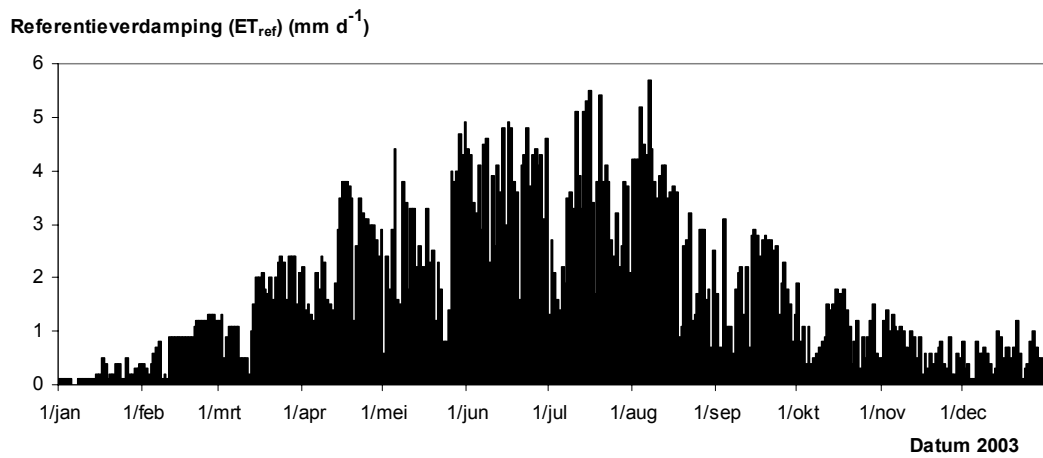
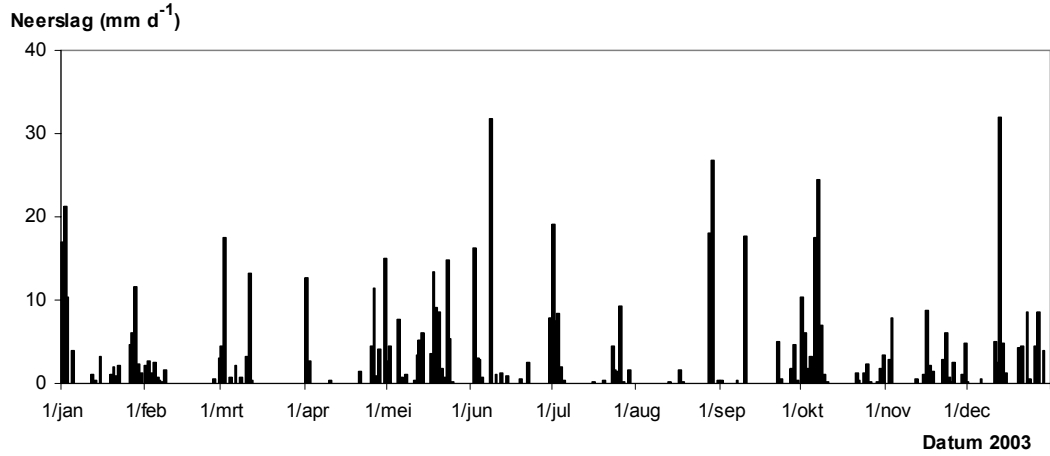
3.3 Hydrologie

De resultaten van de meetperiode 2003 zijn reeds in detail beschreven door Van Rijn (2004) en zullen hier voor een deel worden overgenomen en samengevat. Echter bij de analyse van de resultaten bleek dat er door van Rijn (2004) een zeer grote waterafvoer via de drain in 2003 was beschreven voor perceel 39 (normaal peil), van dezelfde orde van grootte als in 2004, terwijl 2003 een extreem droog jaar was. Een grondige analyse van de meetgegevens en een vergelijking met het cumulatieve neerslagoverschot toonde aan dat er weliswaar drainafvoer was gemeten, maar dat deze afvoer niet afkomstig kon zijn van het neerslagoverschot. We zullen daarom in dit hoofdstuk de hydrologische resultaten voor 2003 opnieuw interpreteren.

We karakteriseren eerst de meteorologische condities in 2003 aan de hand van neerslag, referentieverdamping en neerslagoverschot. Vervolgens bespreken we de hydrologische condities zoals die in het proefveld optraden: slootwaterstanden, grondwaterstanden en aan- en afvoer van water via de drain en de gemeten concentraties en/of vrachten nutriënten (N en P) in dit water. Als referentie wordt ook het oppervlaktewaterpeil van het Peelkanaal gegeven, omdat hieruit kan worden afgeleid of onder droge omstandigheden aanvoer van water uit dit kanaal mogelijk was of niet.

3.3.1 Neerslag en referentieverdamping

Figuur 3.5 geeft de neerslag, de referentieverdamping (gebaseerd op grasland) en het netto neerslagoverschot (exclusief beregening) in 2003. De neerslag op Vredepeel is gemeten met het plaatselijke weerstation. De referentieverdamping is afkomstig van KNMI-weerstation Eindhoven. We presenteren hier de referentiegewasverdamping volgens Makkink (1957) om het weerjaar te karakteriseren. In 2003 was de cumulatieve neerslag 698 mm en de cumulatieve referentieverdamping (grasland) 647 mm. In het groeiseizoen treedt een droge periode op, wat correspondeert met het feit dat er in 2003 beregend is.

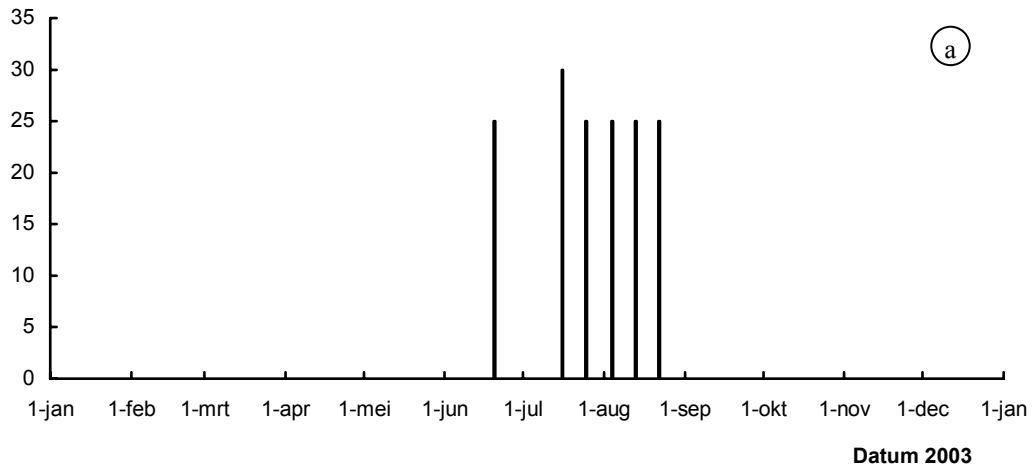


Figuur 3.5 De neerslag, referentieverdamping ($E_{t_{ref}}$) en de cumulatieve neerslag (N) en referentieverdamping ($E_{t_{ref}}$) (uitgezet als $-E_{t_{ref}}$) en het cumulatieve neerslagoverschot ($N-E_{t_{ref}}$) (exclusief beregening) in 2003 te Vredepeel

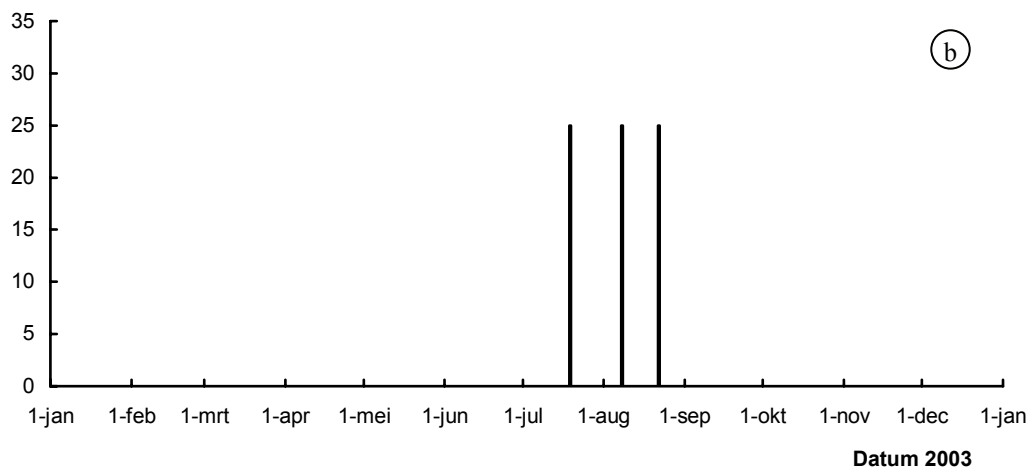
3.3.2 Berekening

Op zowel het perceel met hoog als normaal peil is berekening uitgevoerd (Figuur 3.6). De berekening op het perceel 39 (normaal peil) (a) vond plaats op 20 juni, 16 juli, 25 juli, 4 augustus, 13 augustus en 22 augustus 2003. De totale hoeveelheid berekening op perceel 39 was 155 mm. De berekening op perceel 38 (hoog peil) (b) vond plaats op 19 juli, 8 augustus en 22 augustus 2003. De totale hoeveelheid berekening op perceel 38 was 75 mm.

Berekening (mm d⁻¹)



Berekening (mm d⁻¹)



Figuur 3.6 Berekening op perceel 39 (normaal peil) (a) en perceel 38 (hoog peil) (b)

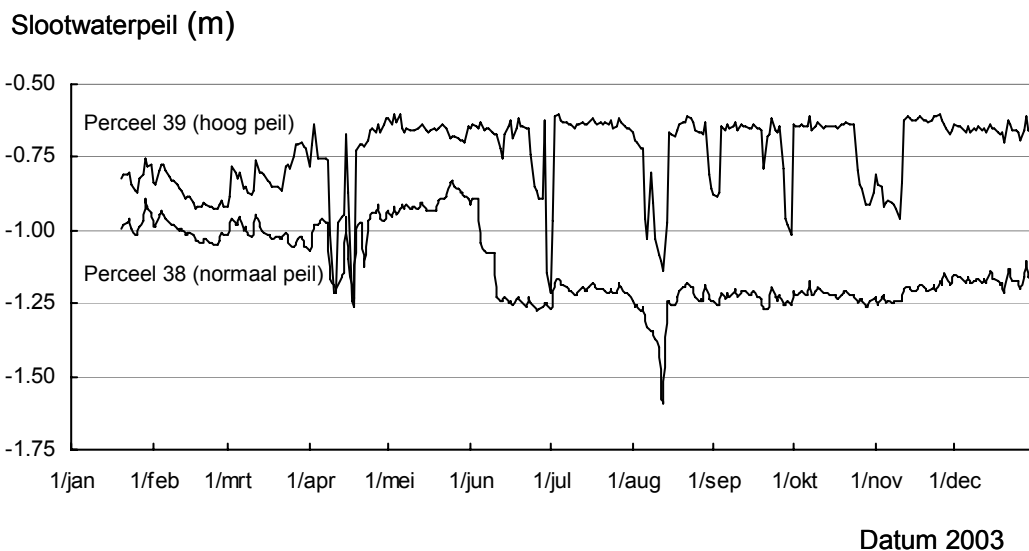
3.3.3 Slootwaterstanden en peil Peelkanaal

Het streven was om de slootwaterpeilen gedurende het groeiseizoen 2003 zo constant mogelijk te houden. Figuur 3.7 laat zien dat er soms afwijkingen optreden ten opzichte van de gemiddelde peilen van 65 cm -mv op perceel 39 (hoog peil) en 120 cm -mv op perceel 39 (normaal peil). Begin april zijn de slootpeilen verlaagd in verband met het uit te voeren van voorjaarswerkzaamheden, zoals het ploegen van

de percelen, het bemesten, en het poten van de aardappels. De slootwaterstanden van percelen 38 en 39 waren op dat moment niet gelijk, waardoor het hoge peil een grotere daling laat zien.

Begin juni is een blijvende verlaging van het lage peil te zien. Dit is bewust gedaan om het verschil tussen het hoge en lage peil van 15 cm te vergroten naar 60 cm, om zo in ons experiment grotere effecten van peilverschil te kunnen krijgen. Dit vooraf beoogde verschil tussen beide slootpeilen is voor de rest van het jaar gehandhaafd. Het verhoogde peil is vanaf half juni gehandhaafd op 65 cm-mv (met uitzondering van de verklaarde dalingen) en het normale peil is gehandhaafd op 125 cm-mv.

Eind juni/begin juli vond er een verandering in wateraanvoer plaats door het verstellen van enkele stuwen door het waterschap. Dit heeft een sterke daling van het hoge peil gedurende enkele dagen tot gevolg gehad. Het lage peil heeft hier geen hinder van ondervonden. Tijdens deze periode is er ook een verstopping geweest bij de waterinlaat aan de Vredeweg, perceel 31 (Figuur 2.2). Begin tot half augustus was er door droogte nauwelijks wateraanvoer uit het Peelkanaal, zoals te zien is uit de lage waterstanden van het Peelkanaal (Figuur 3.8), met als gevolg dat het peil in de sloten van de proefboerderij snel daalde. In september en oktober zijn er wederom een drietal verstoppingen geweest bij de waterinlaat aan de Vredeweg. Deze verstoppingen hebben geleid tot een verlaging van het hoge slootpeil, maar hebben geen invloed gehad op het lage peil. Eind oktober/begin november vond er weer een verandering in wateraanvoer plaats door het verstellen van enkele stuwen door het waterschap.



Figuur 3.7 Gemeten slootwaterpeilen voor perceel 38 (hoog peil) en voor perceel 39 (normaal peil). De slootwaterpeilen zijn weergegeven in meters ten opzichte van het maaiveld

Waterpeil Peelkanaal (m)



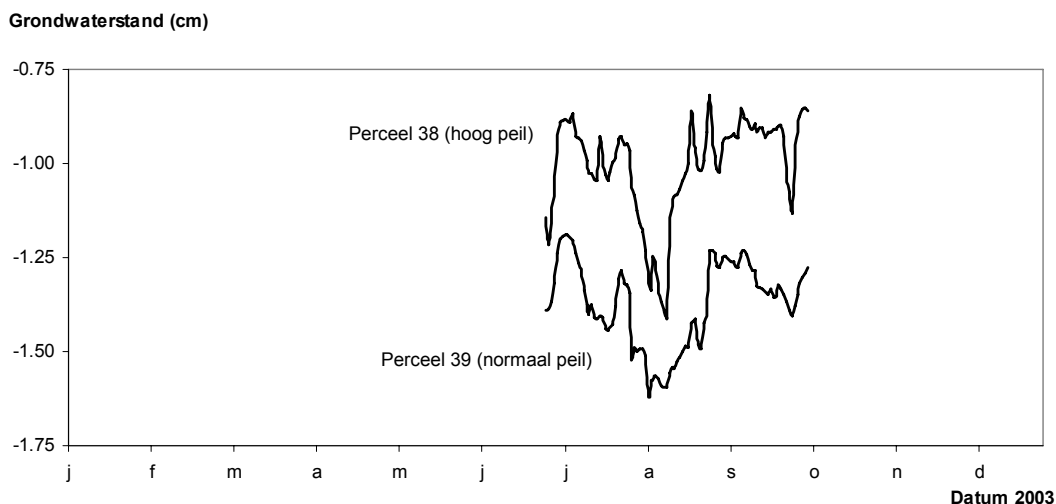
Figuur 3.8 Het verloop van het lage peil (benedenstrooms van stuw) van het Peelkanaal gedurende 2003. Het waterpeil is weergegeven ten opzichte van het maainveld van de proefvelden

Het Peelkanaal blijkt een grote invloed te hebben op de hydrologie van de proefpercelen. Het kanaal valt onder beheer van het Waterschap Peel en Maasvallei. Het Waterschap heeft de metingen van het verloop van het lage peil van het kanaal ter beschikking gesteld voor het onderzoek (Fig. 3.8). Van het hoge peil (bovenstrooms van stuw) is ook bij het Waterschap geen verloop bekend. Verondersteld kan worden dat het hoge peil hetzelfde verloop kent als het lage peil, maar dan ongeveer 1,2 m hoger.

3.3.4 Grondwaterstanden

De grondwaterstanden zijn op 2,50 m vanaf de drain gemeten in het midden van de percelen 38 en 39. De verschillen in grondwaterstanden tussen beide percelen zijn gemiddeld 37 cm en zijn vrij constant gedurende de meetperiode van juli t/m oktober 2003 (Fig. 3.9).

De grondwaterstanden zakten in het droge jaar 2003 ook bij het hoge peil vrij diep weg ($< -1,0$ m mv). Het is daarom de vraag of de vernatting grote gevolgen heeft gehad op de gewasgroei.



Figuur 3.9 Grondwaterstanden ten opzichte van het maaiveld gemeten op de percelen 38 (hoog peil) en 39 (normaal peil), op 2,50 m van de drain

3.3.5 In- en uitstroom van drainwater

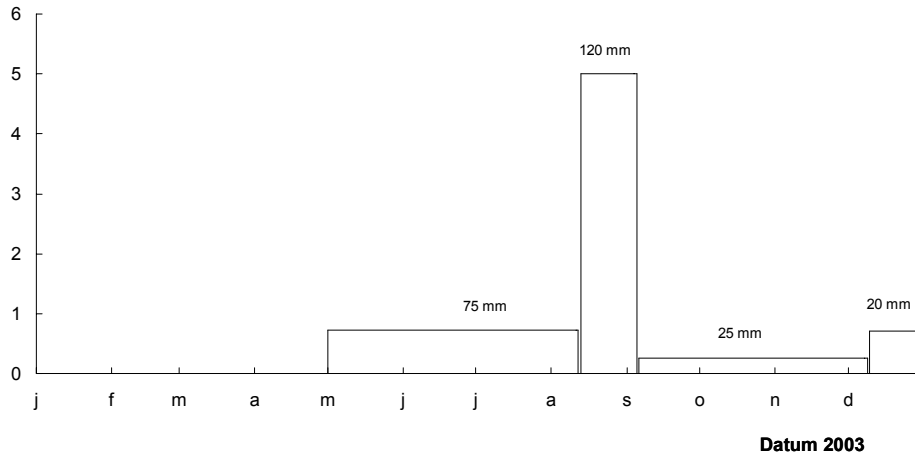
Drainage heeft in de meetperiode (mei-december 2003) alleen plaatsgevonden in perceel 39 (normaal peil). Infiltratie heeft in dezelfde periode alleen plaatsgevonden in perceel 38 (hoog peil). Het tijdstip van de automatische bemonstering is in 2003 niet geregistreerd. De drainage- en infiltratiefluxen zijn daarom niet in detail bekend, maar alleen de cumulatieve wateraan- en afvoer gedurende een bepaalde periode (Figuur 3.10).

Echter de waterafvoer via de drains is op het normale peil doorgedaan tijdens de extreem droge zomer van 2003, terwijl de gemeten grondwaterstanden onder het niveau van de drain lagen. In het rapport van Van Rijn (2004) werd de oorzaak gezocht in te laag gemeten grondwaterstanden; immers als de grondwaterstand onder de drain ligt, zal een drain geen water afvoeren. Echter bij nadere analyse en met behulp van extra informatie van de veldmedewerkers blijkt dat gedurende deze zomer de afsluiting van de drain aan de hoge zijde van het perceel (Fig. 2.4, noordzijde perceel) soms niet werkte, waardoor slootwater direct van de ene zijde van de drain naar de andere kon lopen, zonder dat de grondwaterstand hierdoor in sterke mate werd beïnvloed. Deze bevinding komt overeen met onze analyse dat een afvoer via de drains in 2003 op perceel 39 (normaal) peil van 340 mm onmogelijk is in een periode waarin er een neerslagtekort is.

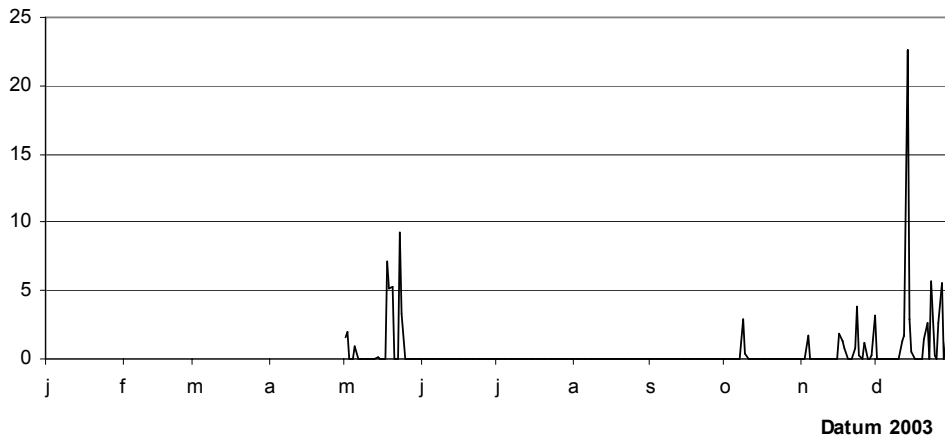
Op basis van deze bevindingen hebben we voor 2003 via een eenvoudige waterbalans (“Tipping bucket”-principe; de Vos *et al.*, 2004) op dagbasis getracht de waterafvoer via de drains te schatten en we hebben deze data vergeleken met de grondwaterstanden in de percelen. Uit deze analyse bleek dat gemiddeld 60% van het

neerslagoverschot via de drain wordt afgevoerd en 40% via verticaal en/of lateraal transport via het grondwater.

Instrooming (mm/d)



Drainage (mm/d)



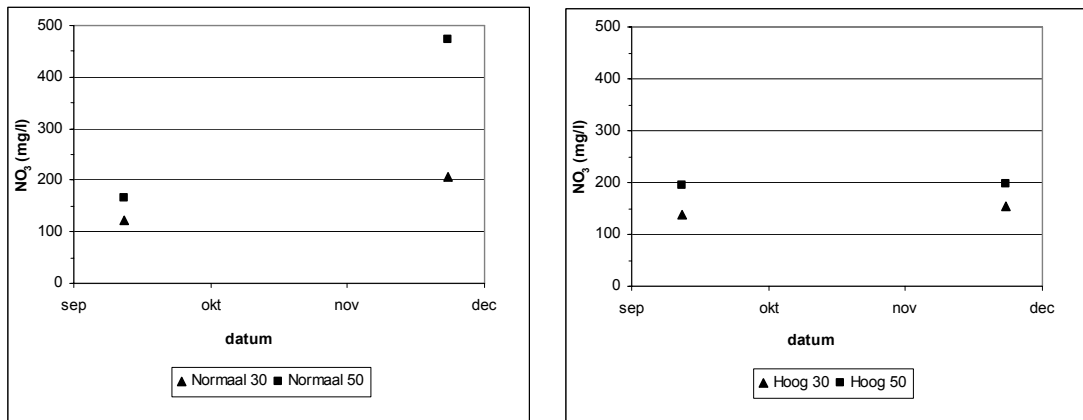
Figuur 3.10 Instroom van water via de drain gemeten op perceel 39 (hoog peil) en drainage op perceel 38 (normaal peil), geschat op basis van waterbalans voor de meetperiode 1 mei-31 december 2003

3.4 Waterkwaliteit

3.4.1 Bodem- en grondwater

De hoeveelheid nitraat in het bodemwater op 30 en 50 cm–mv is hoog (>100 mg NO_3/l) in het najaar van 2003 (Fig. 3.11). De concentraties op 30 cm–mv diepte zijn bijna altijd lager dan op een 50 cm–mv diepte. Mogelijk is een deel van het overgebleven nitraat uit de bouwvoor naar diepere lagen verplaatst. De nitraatconcentraties op 30 cm–mv zijn bij op perceel 38 (hoog peil) niet altijd lager

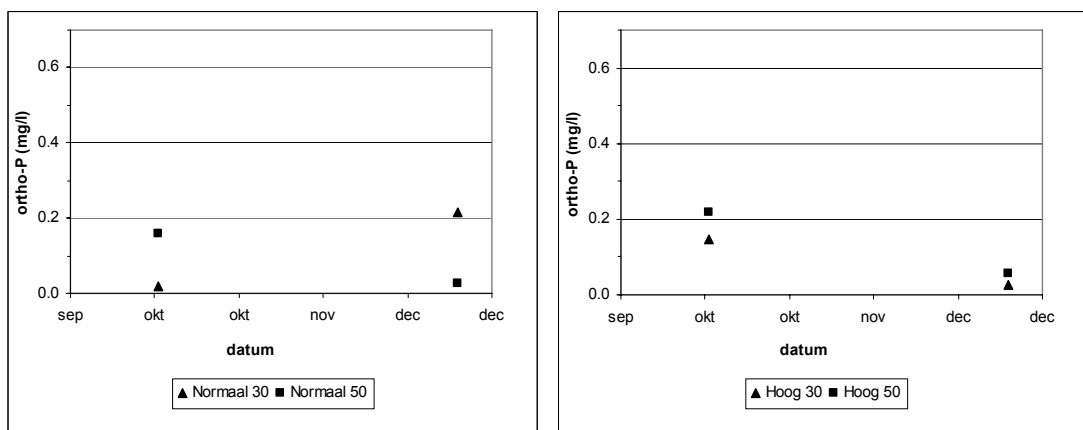
wat verwacht was i.v.m. een mogelijke hogere denitrificatie. Mogelijk speelt beregening hierin een rol. In 2003 was de zomer droog en is er regelmatig beregend.



Figuur 3.11 Nitraat gehalten in bodemvocht op 30 en 50 cm-mv diepte op perceel 39 (normaal peil) en perceel 38 (hoog peil)

De NH₄-gehalten in het bodemwater op 30 en 50 cm–mv zijn voor zowel perceel 39 (normaal peil) als perceel 38 (hoog peil) laag en zijn voor de stikstofbalans te verwaarlozen t.o.v. van de nitraatgehalten (data niet vermeld).

De PO₄-P gehalten in het bodemvocht vertonen een grillig verloop. Er zijn geen consequente verschillen tussen zowel waterpeilen als bemonsteringsdiepten (Fig. 3.12).

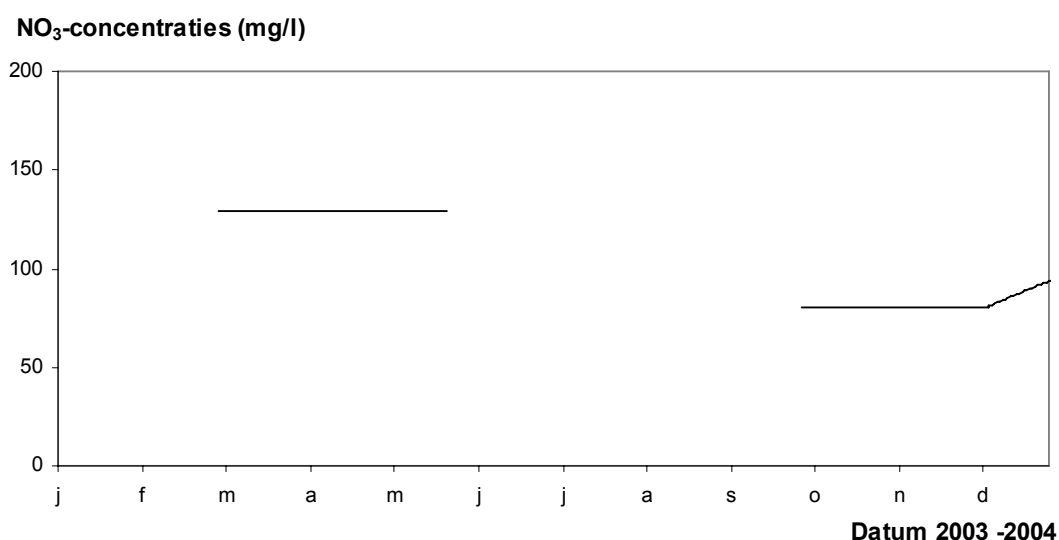


Figuur 3.12 Ortho-P gehalten (mg P/l) in bodemvocht op 30 en 50 cm-mv diepte op perceel 39 (normaal peil) en perceel 38 (hoog peil)

3.4.2 Uitstromend water

De NO₃-concentraties in het uitstromende drainagewater van perceel 39 (normaal peil) bleken niet betrouwbaar te zijn, zie ook paragraaf 3.3.5. De beste schatting van de NO₃-concentraties (Fig. 3.13) in het drainagewater zijn de concentraties die

gemeten zijn in het grondwater op een diepte van 100 cm -mv. In maart 2003 zijn NO_3 -concentraties in het grondwater gemeten van 129 mg/l (Alblas *et al.*, 2003) en op 17 december 2003 heeft bodembemonstering plaatsgevonden (Figuur 3.9). Uit de gemeten NO_3 -gehalten op 90-100 cm diepte (5,2 kg $\text{NO}_3\text{-N}/10$ cm/ha) en het watergehalte bij verzadiging van $0,30 \text{ m}^3/\text{m}^3$, is de NO_3 -concentratie in het drainwater is geschat op 77 mg/l. Vanaf 17 december 2003 t/m 13 januari 2004 is een lineaire toename van de NO_3 concentratie verondersteld. Op 13 januari 2004 was de eerste nieuwe meting van 100 mg NO_3 /l (zie Figuur 4.10). De concentraties PO_4 zijn zo laag en onzeker dat daarvoor geen schattingen in 2003 zijn gemaakt (data niet gepresenteerd).



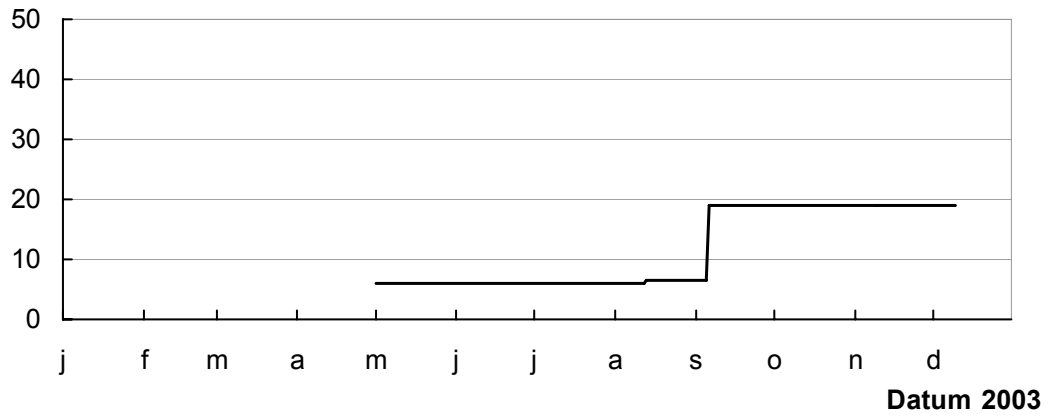
Figuur 3.13 Schatting van het verloop van de NO_3 -concentratie in het uitstromende drainwater op perceel 39 (normaal peil) als dit alleen afkomstig zou zijn uit het proefveld, gebaseerd op NO_3 -concentraties in het grondwater; voor de meetperiode 1 mei-31 december 2003. In de periode tussen juni t/m half november vond er geen drainage plaats en zijn er dus geen NO_3 -concentraties weergegeven

3.4.3 Instromend slootwater

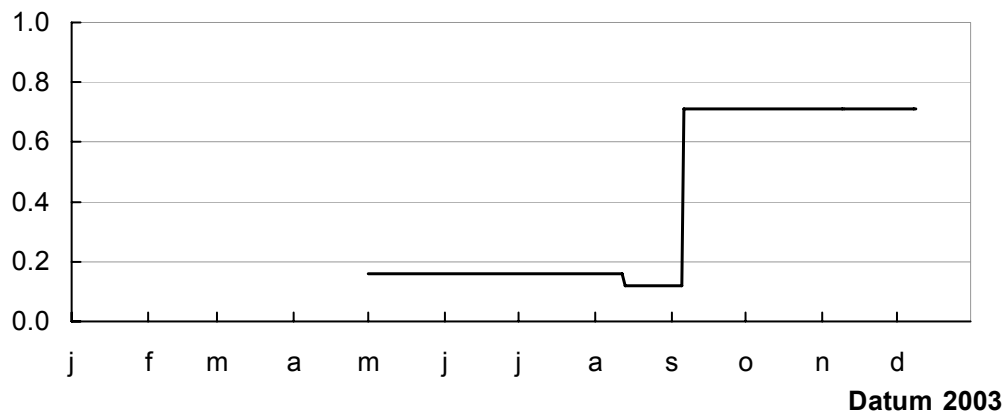
De nutriënten in het instromende water zijn grotendeels afkomstig uit het Peelkanaal. De NO_3 -concentratie varieert tussen de 7 en 20 mg/l (Fig. 3.14) en zal naar verwachting lager zijn dan de NO_3 -concentratie in het grondwater van perceel 38. Het betreft hier gemiddelde waarden van de NO_3 -concentratie over een grote perioden; de sprong in NO_3 -concentratie in september wordt verklaard doordat na september het uitspoelseizoen begint met grotere N-verliezen uit de landbouw. Dit resulteert dan ook in hogere NO_3 -concentraties in het water van het Peelkanaal.

De $\text{PO}_4\text{-P}$ -concentratie varieert tussen de 0,10 en 0,75 mg/l (Fig. 3.14) en zal naar verwachting hoger zijn dan de $\text{PO}_4\text{-P}$ -concentratie in het grondwater van perceel 38.

NO₃-concentratie (mg/l)



PO₄-P-concentratie (mg/l)

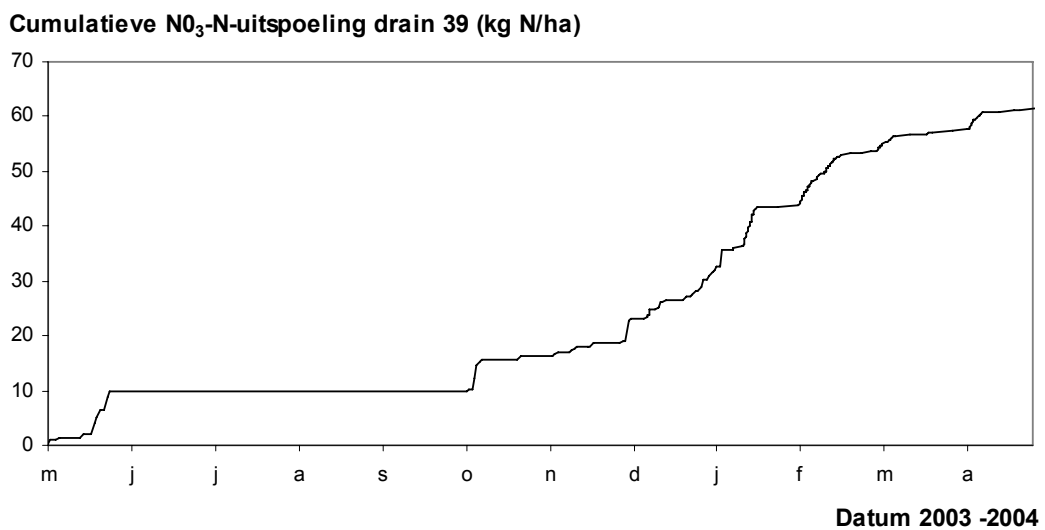


Figuur 3.14 Gemeten verloop van de NO₃- en PO₄-P concentraties in het instromend water op perceel 38 (hoog peil) gebaseerd mengmonsters van het instromende water; voor de meetperiode 1 mei-31 december 2003

3.4.4 Nutriëntenvrachten

Belasting oppervlaktewater via drains

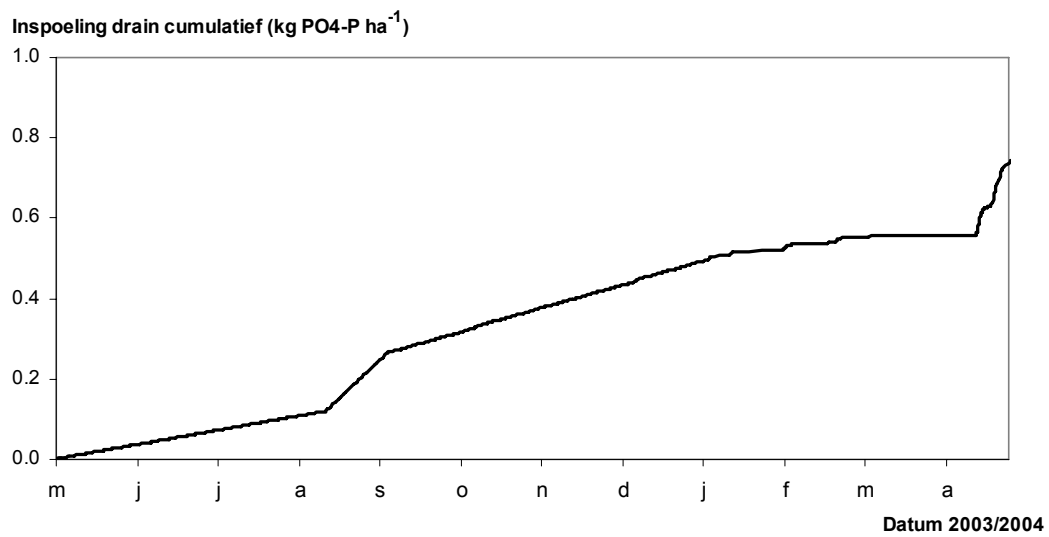
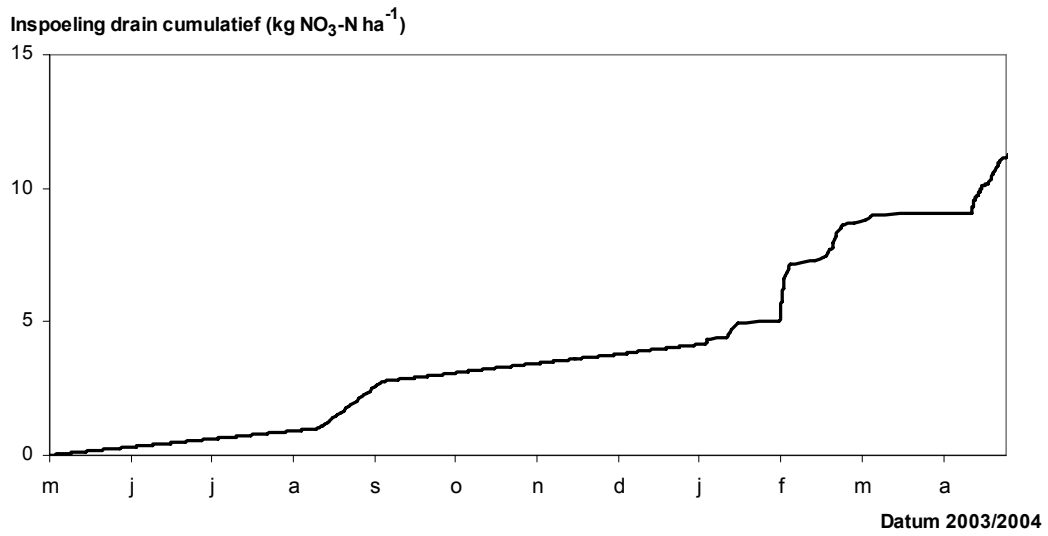
De belasting van het oppervlaktewater door nutriëntenuitspoeling via drains voor perceel 39 (normaal peil) is 61 kg NO₃-N/ha in de periode 1 maart t/m 31 april 2004 (Fig. 3.15). Dit gedeelte van de uitspoeling kan nog toegerekend worden aan de teelt van aardappelen in het seizoen 2003. Gedurende het groeiseizoen was er vanwege de droogte geen substantiële N-uitspoeling. De gegevens in Figuur 3.15 t/m 13 januari 2004 zijn gebaseerd op schattingen via de vereenvoudigde waterbalansmethode. Na 13 januari 2004 is gebruikgemaakt van gegevens van de werkelijke uitspoeling via de drain.



Figuur 3.15 NO₃-N-vracht in het drainagewater van perceel 39 (normaal peil)

Infiltrerend slootwater

De instroom van stikstof (NO₃-N) en fosfor (PO₄-P) op perceel 38 (hoog peil) treedt gedurende een groot gedeelte van het jaar op en bedraagt cumulatief 11,3 kg NO₃-N/ha en 0,75 kg PO₄-P /ha voor de periode 1 mei 2003 t/m 30 april 2004 (Fig. 3.16).



Figuur 3.16 N- en P-vrachten in het infiltrerend slootwater van perceel 38 (hoog peil)

4 Resultaten 2004-2005

4.1 Gewas

4.1.1 Gewasproductie en nutriëntenopname

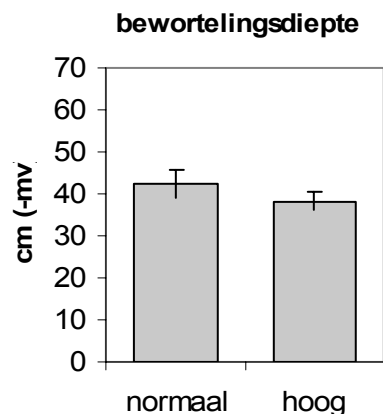
Er zijn tussen de percelen geen verschillen in vers- en drooggewicht van de oogste snijmaïs (Tabel 4.1). De hoeveelheid droge stof, VEM en zetmeel zijn op perceel 39 (normaal peil) iets hoger dan op perceel 38 (hoog peil). Er zijn geen verschillen in N- en P-afvoer met het geogste gewas.

Tabel 4.1. Resultaten snijmaïs (gemiddelden \pm s.e. (n=3)) voor perceel 39 (normaal peil) en perceel 38 (hoog peil)

	normaal peil	hoog peil
Versgewicht (ton/ha)	61,7 \pm 1,6	62,0 \pm 1,3
Drooggewicht (ton/ha)	21,0 \pm 0,8	20,5 \pm 0,6
Droge stof (g/kg)	340,3 \pm 5,4	330,3 \pm 7,4
VEM (g/kg ds)	1001 \pm 6,6	978 \pm 7,8
Zetmeel (g/kg ds)	363 \pm 22,5	324 \pm 11,8
Suiker (g/kg ds)	49,0 \pm 4,9	51,7 \pm 5,6
N-gehalte (g/kg ds)	11,3 \pm 0,3	11,8 \pm 0,3
N-afvoer (kg/ha)	238 \pm 3,9	242 \pm 12,9
P-gehalte (g/kg ds)	2,3 \pm 0,1	2,3 \pm 0,2
P-afvoer (kg/ha)	47,6 \pm 3,3	47,9 \pm 4,9

4.1.2 Bewortelingsdiepte

Vlak voor de oogst was de maximale effectieve bewortelingsdiepte van snijmaïs in perceel 39 (normaal peil) gemiddeld genomen 4 cm hoger dan in perceel 38 (hoog peil) (Figuur 4.1).



Figuur 4.1 Maximale effectieve bewortelingsdiepte (gemiddelden \pm s.e. n=10) op 16 september op perceel 39 (normaal peil) en perceel 38 (hoog peil)

4.2 Bodem

4.2.1 Minerale stikstof

In 2004 neemt de hoeveelheid minerale N tussen maart en juli door bemesting toe (Tabel 4.2). Op perceel 39 (normaal peil) neemt de totale hoeveelheid minerale N in de laag 0-60 cm vanaf het voorjaar tot aan de oogst geleidelijk toe. Op perceel 38 (hoog peil) neemt in het eerste deel van het groeiseizoen de hoeveelheid N relatief sterker toe, terwijl deze in de nazomer sterker afneemt. Opvallend in perceel 38 is de hoge waarde van 16,4 kg N ha⁻¹ dm⁻¹, die op 14 juli in de laag 20-30 cm -mv werd gevonden. Deze sterke toename is niet verklaarbaar. Direct na de oogst was de totale hoeveelheid minerale N in de laag 0-100 cm iets hoger in perceel 38 (hoog peil) dan in perceel 39 (normaal peil). Na de oogst neemt de hoeveelheid minerale N zowel in perceel 38 (hoog peil) als in perceel 39 (normaal peil) geleidelijk af. Wel wordt in oktober 2004 meer minerale N in de bovenste en minder in de diepere bodemlagen gevonden in perceel 38 dan in perceel 39. In december 2004 zijn nauwelijks meer verschillen tussen peilen aanwezig.

Tabel 4.2 N-mineraal per bodemlaag van 10 cm voor perceel 39 (normaal peil) en perceel 38 (hoog peil)

Perceel	Peil	Laag cm	N-min	N-min	N-min	N-min
			11-mrt 2004 kg N/ha	14 juli 2004 kg N/ha	8 okt 2004 kg N/ha	6 dec 2004 kg N/ha
38	Hoog	0-10	4.20	6.00	8.80	2.40
38	Hoog	10-20	4.80	5.80	8.60	2.40
38	Hoog	20-30	4.80	16.40	9.00	2.20
38	Hoog	30-40	3.40	6.00	5.60	3.40
38	Hoog	40-50	2.60	6.00	6.40	4.20
38	Hoog	50-60	2.00	6.20	5.20	7.40
38	Hoog	60-70	1.80		3.80	8.40
38	Hoog	70-80	2.00		2.60	9.40
38	Hoog	80-90	3.80		2.20	5.60
38	Hoog	90-100	4.60		1.60	5.20
	<i>Totaal</i>					
	0-100 cm		34.0		53.8	50.6
39	Normaal	0-10	4.20	4.80	7.80	2.40
39	Normaal	10-20	4.80	6.60	6.60	2.40
39	Normaal	20-30	4.20	3.80	7.00	2.80
39	Normaal	30-40	3.00	7.40	7.60	4.00
39	Normaal	40-50	1.60	6.40	4.80	5.60
39	Normaal	50-60	1.80	4.20	3.00	7.80
39	Normaal	60-70	2.20		4.00	8.60
39	Normaal	70-80	2.80		5.00	8.00
39	Normaal	80-90	4.20		4.80	8.60
39	Normaal	90-100	5.20		4.20	5.80
	<i>Totaal</i>					
	0-100 cm		34.0		54.8	56.0

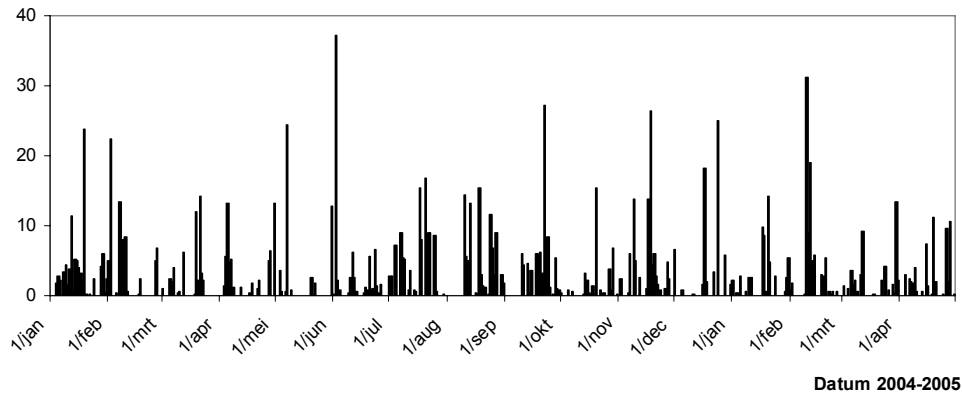
4.3 Hydrologie

4.3.1 Neerslag en referentieverdamping

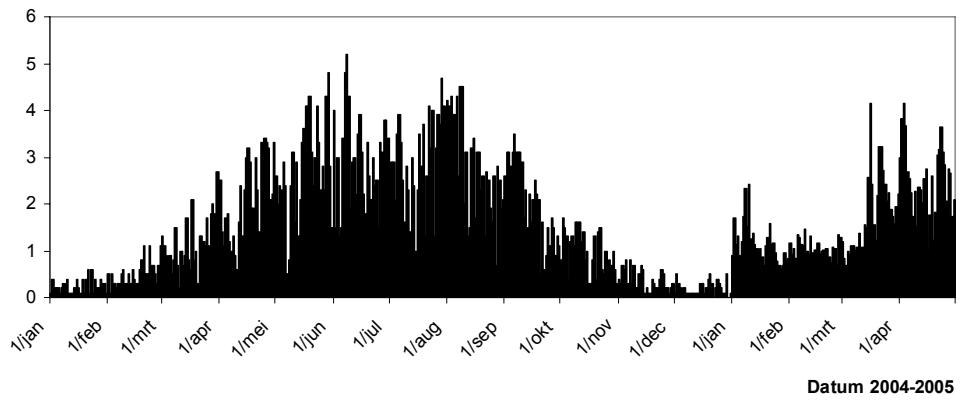
Figuur 4.2 geeft de neerslag, de referentieverdamping (gebaseerd op grasland) en het netto neerslagoverschot (exclusief beregening) voor de periode 1 januari 2004 t/m 30 april 2005. De neerslag op Vredepeel is gemeten met het plaatselijke weerstation. De referentieverdamping is afkomstig van KNMI-weerstation Eindhoven. We presenteren hier de referentiegewasverdamping volgens Makkink (1957) om het weerjaar te karakteriseren. Uit het vlakke verloop van het cumulatieve neerslagoverschot kunnen we afleiden dat er in het groeiseizoen nauwelijks watertekorten zijn opgetreden. Het was dus een relatief natte zomer. Dit wordt bevestigd door het feit dat er in 2004 geen beregening heeft plaatsgevonden.

In 2004 was de cumulatieve neerslag 878 mm; de cumulatieve referentieverdamping (grasland) 583 mm.

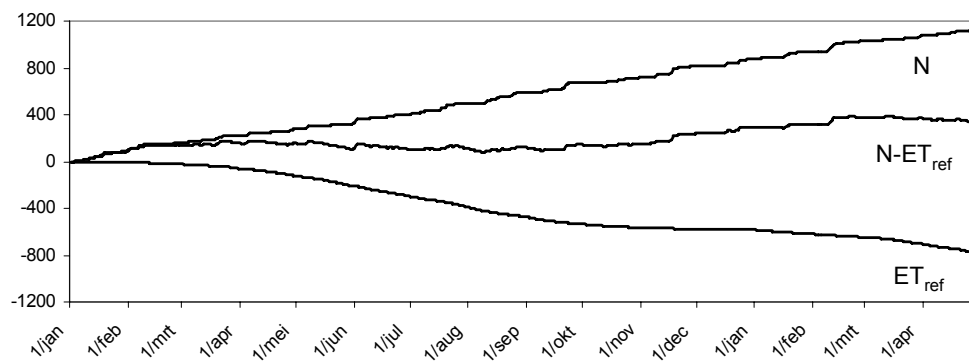
Neerslag (mm d^{-1})



Referentieverdamping (ET_{ref}) (mm d^{-1})



Cumulatieve Neerslag (N), Referentieverdamping (ET_{ref}), en Neerslagoverschot ($N-ET_{ref}$)(mm)

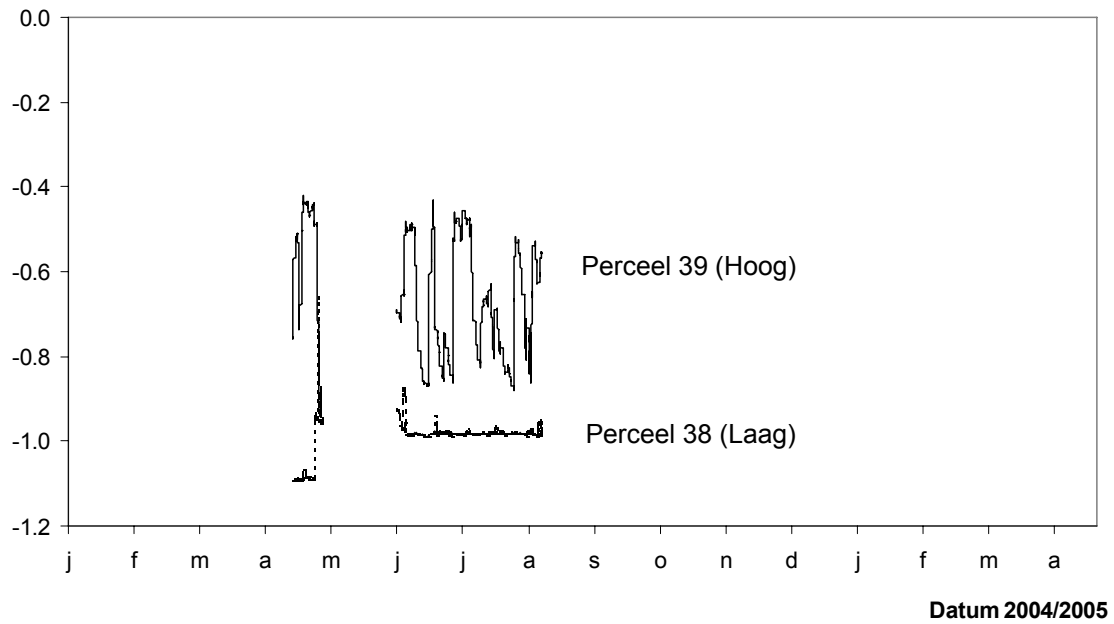


Figuur 4.2 Neerslag, referentie-evapotranspiratie (ET_{ref}) en de cumulatieve neerslag (N) en referentie evapotranspiratie (ET_{ref})(uitgezet als $-ET_{ref}$) en het cumulatieve neerslagoverschot ($N-ET_{ref}$) gedurende de periode 1 januari 2004 tot en met 30 april 2005 te Vredepeel

4.3.2 Sloopwaterstanden

De slootwaterstanden in 2004-2005 laten bij het hoge peil sterke variaties zien tussen 0,4-0,8 m -mv (Fig. 4.3). Het is dus niet gelukt een constant hoog peil te handhaven. Het lage peil lag rond de 1,0 m -mv gedurende de periode juni-augustus 2004.

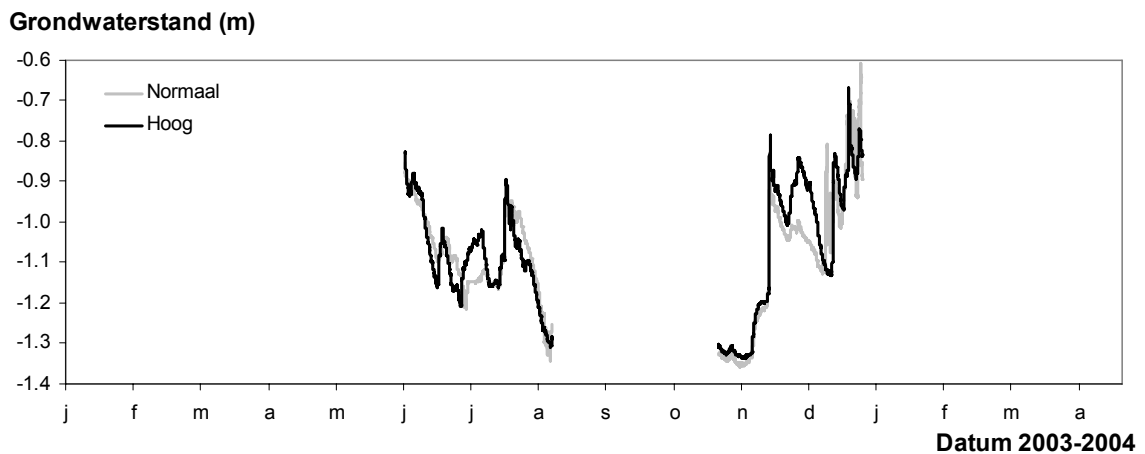
Sloopwaterpeil (m)



Figuur 4.3 Gemeten slootwaterpeilen voor perceel 38 (hoog peil) en voor perceel 39 (normaal peil). De slootwaterpeilen zijn weergegeven ten opzichte van het gemiddelde maaiveld

4.3.3 Grondwaterstanden

De grondwaterstanden zijn op 2,50 m vanaf de drain gemeten in het midden van de percelen 38 en 39 (Fig. 4.4). Er heeft op perceel 38 (hoog peil) wel vernatting plaats gevonden, maar de verschillen in grondwaterstanden met het perceel met normale peil zijn gering, daarnaast ontbreken meetgegevens gedurende de periode augustus t/m oktober 2004. In het groeiseizoen van mei t/m augustus 2004 zien we dat de grondwaterstanden vrij diep zijn ($<-1,0$ m) en dat op beide percelen in juli een scherpe daling van de grondwaterstanden optreedt. Dit wijst er op dat in deze periode er geen wateraanvoer via de drain heeft plaatsgevonden.

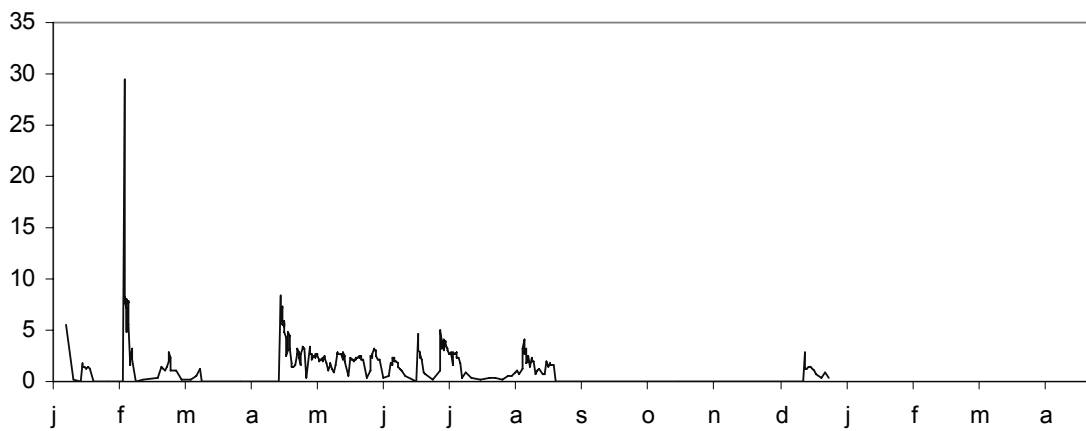


Figuur 4.4 Grondwaterstanden gemeten op de percelen 38 (hoog peil) en 39 (normaal peil), op 2,50 m van de drain

4.3.4 In- en uitstroom van drainwater

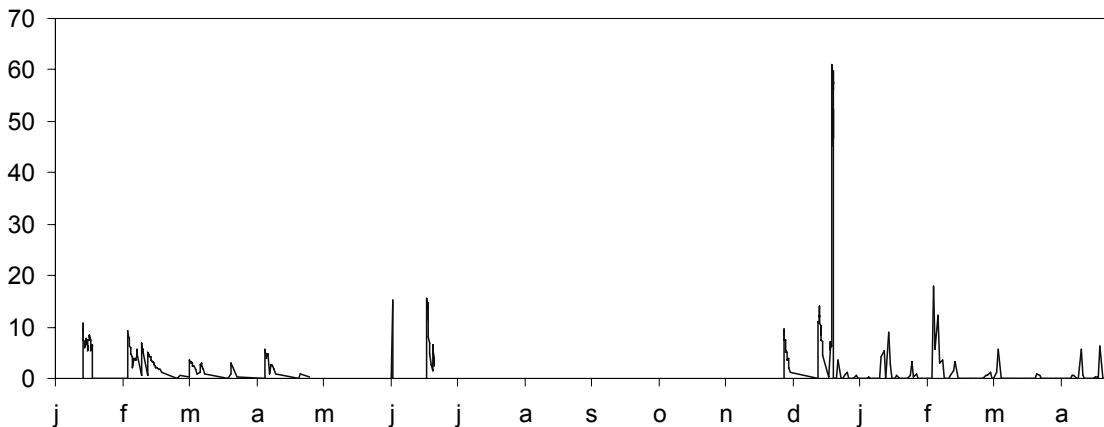
De meetgegevens van de drain (Figuur 4.5) laten zien dat er vooral in de periode van 1 mei t/m half augustus 2004 infiltratie van slootwater in perceel 38 (hoog peil) heeft plaatsgevonden. Na half augustus 2004 heeft geen wateraanvoer meer plaatsgevonden via de drain op perceel 38 (hoog peil), dit komt overeen met de lagere grondwaterstanden in Figuur 4.4. Ook de afvoer van water via drains in perceel 39 (normaal peil) stopt in deze periode, wat kan worden verklaard uit de lage grondwaterstanden op dit perceel in deze periode. Een eventueel neerslagoverschot zal dan niet via de drains worden afgevoerd, maar via vrije drainage naar de ondergrond.

Instroom drain perceel 38 (mm/d)



Datum 2004/2005

Drainage perceel 39 (mm/d)



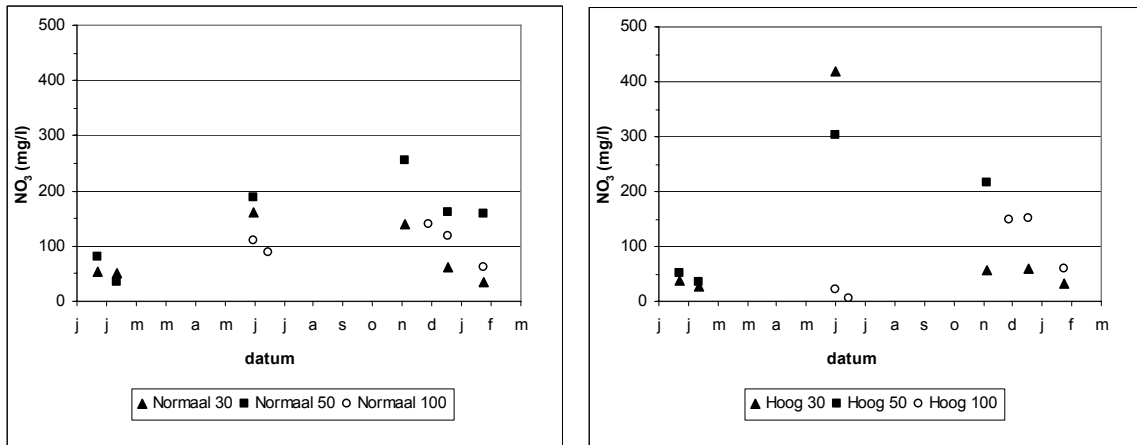
Datum 2004/2005

Figuur 4.5 Instroom van water via de drain bij hoog peil (perceel 38) en uitstroom van water bij normaal peil (perceel 39) in 2004-2005

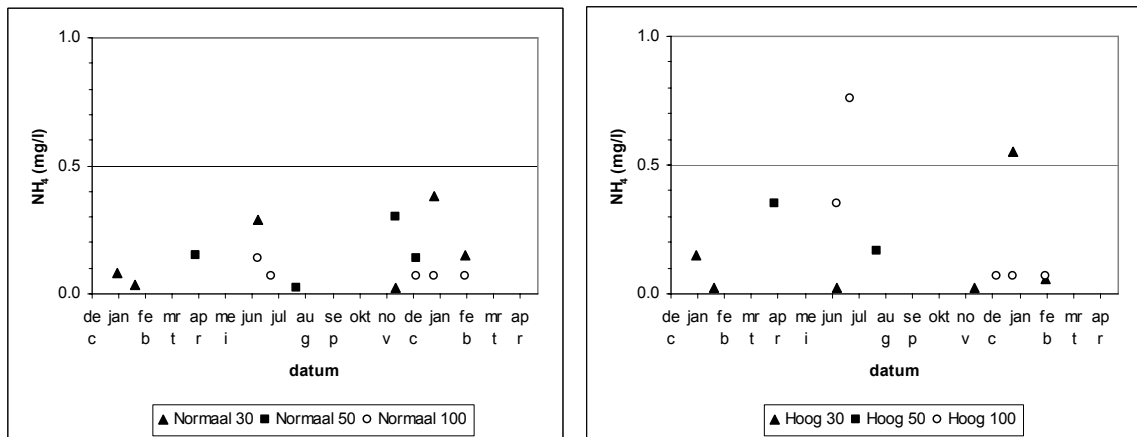
4.4 Waterkwaliteit

4.4.1 Bodem- en grondwater

De NO_3^- -concentraties in het bodem- en grondwater op een diepte van 50 en 100 cm -mv zijn hoog ($>100 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$; Figuur 4.6) t.o.v. de EU-norm van $50 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$. De concentraties op 30 cm-mv diepte zijn buiten het groeiseizoen lager dan op een 50 cm -mv diepte. Op een diepte van 100 cm -mv zijn de NO_3^- -concentraties in de orde van grootte van 100 mg/l , wat correspondeert met de gemeten NO_3^- -concentraties in het drainwater van perceel 39 (normaal peil). Gedurende de eerste helft van de zomerperiode infiltreert slootwater met een relatief lage NO_3^- -concentratie in perceel 38 (hoog peil), wat een verklaring kan zijn voor de lage concentraties in het grondwater (100 cm -mv) die in juni en juli 2004 in dit perceel worden gevonden.



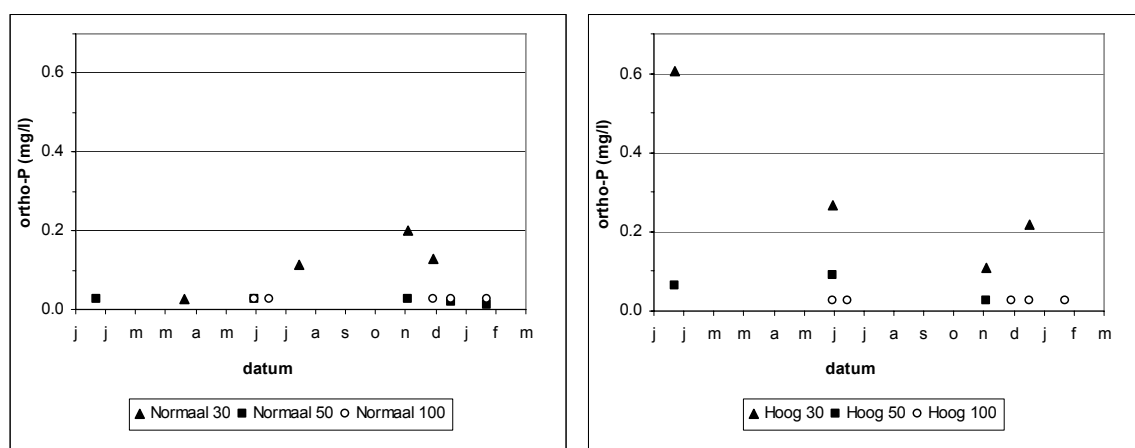
Figuur 4.6 Nitraatgehalten in het bodemvocht of grondwater op 30, 50 en 100 cm -mv in de percelen 38 (hoog peil) en 39 (normaal peil)



Figuur 4.7 Ammoniumgehalten in het bodemvocht of grondwater op 30, 50 en 100 cm -mv in de percelen 38 (hoog peil) en 39 (normaal peil).

De PO₄-P concentraties zijn op 100 cm–mv zijn erg laag (< 0,05 mg/l) wat aangeeft dat de P-uitspoeling op deze zandgrond geen probleem is (Fig. 4.8). Er lijkt nog voldoende P-absorptievermogen in de bodem aanwezig te zijn om gemobiliseerd P in de bovengrond op grotere diepte weer vast te leggen (zie ook Figuur 4.8). Dit is consistent met de lage PO₄-P concentraties die we in het drainagewater van perceel 39 (normaal peil) vinden. Het lijkt er op dat het vernatte perceel 38 op 30 en 50 cm–mv hogere P-concentraties heeft dan het niet vernatte perceel 39. Op 30 cm kan dit samenhangen met de hogere fosfaatverzadigingsgraad bij het hoge dan bij het lage peil, en mogelijk het mobiliseren van P door vernatting, echter Figuur 4.8 geeft hier geen aanwijzingen voor.

Dit zou veroorzaakt kunnen zijn door het mobiliseren van P door de vernatting. Bij het hoge peil van perceel 38 verwachten we in de zomerperiode dat door de infiltratie van slootwater met een relatief hoge PO₄-P concentratie ook de PO₄-P concentratie in op 100 cm–mv zal toenemen. Deze toename zien we echter niet in de gemeten PO₄-P concentraties. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat deze infiltrerende PO₄-P snel direct in de omgeving van de drain wordt vastgelegd en we deze PO₄-P niet meten in het grondwater op posities midden tussen de drains.



Figuur 4.8 Ortho-P gehalten (mg P/l) in het bodemvocht of grondwater op 30, 50 en 100 cm -mv in de percelen 38 (hoog peil) en 39 (normaal peil).

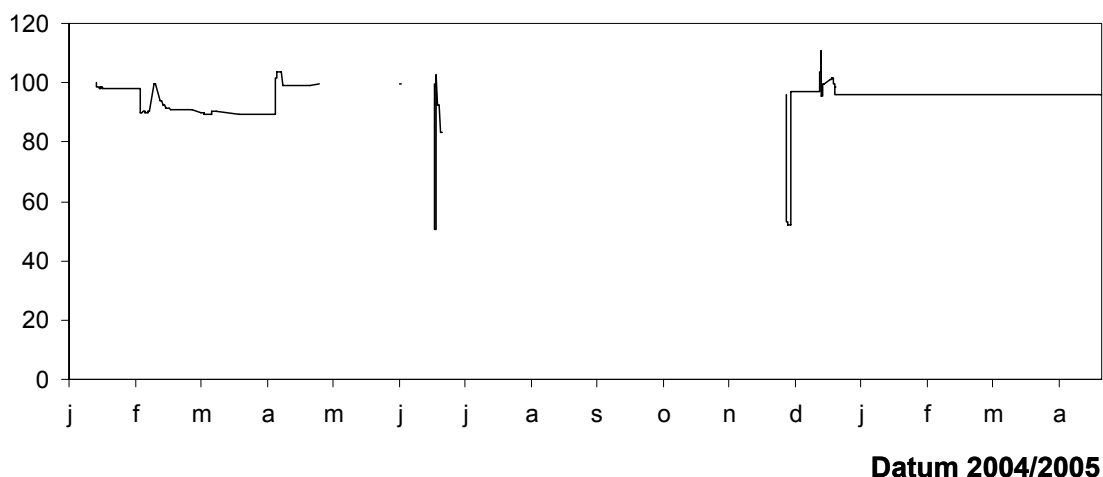
4.4.2 Drainagewater

Drainwater uit perceel

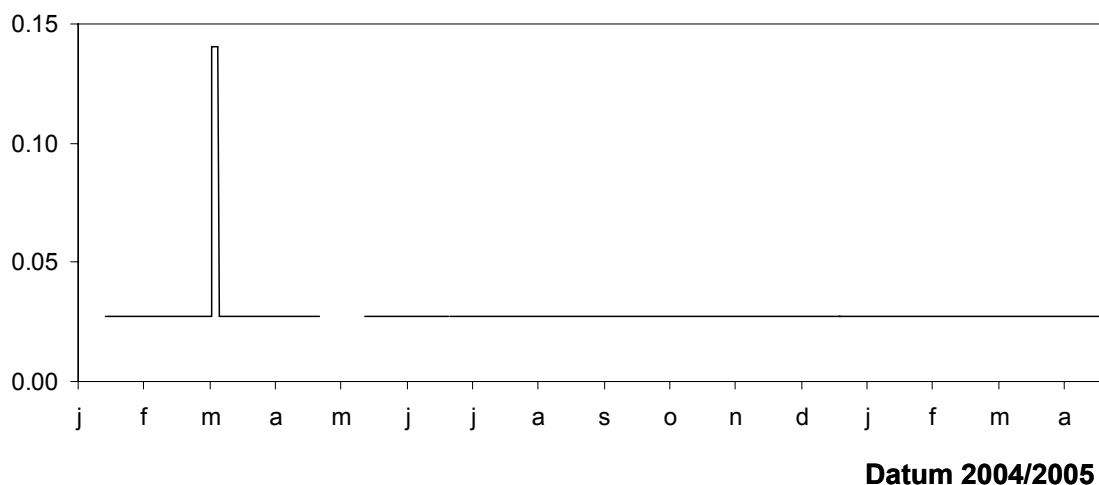
De NO₃-concentraties in het uitstromende drainwater (perceel 39; normaal peil) in januari t/m april 2004 zijn met 100 mg/l hoog en constant (Fig. 4.9). Later vindt er in 2004 nauwelijks meer uitspoeling plaats, op een enkele piek rond half juni 2004 na. Het uitspoelseizoen 2004-2005 begint in december 2004. De fosfaat-concentraties in het uitstromende drainwater (perceel 39; normaal peil) zijn erg laag en meestal onder de detectielimiet van 0,05 mg/l; in dat geval is een waarde van 0,025 aangegeven (Figuur 4.10). Allen rond begin maart 2004 is er kleine piek in de P-concentratie gemeten. Echter zelfs dan blijft de concentratie onder de oppervlakte-

waterkwaliteitsgrens van 0,15 mg P/l. Na 1 januari 2005 zijn er geen concentratiegegevens meer beschikbaar; voor de berekening van de waterbalansen en N- en P-vrachten nemen we aan dat de NO_3^- - en P-concentraties constant blijven zoals in Figuur 4.9 is aangegeven.

NO_3^- -concentratie drainagewater (mg l⁻¹)



$\text{PO}_4\text{-P}$ concentratie drainagewater (mg l⁻¹)



Figuur 4.9 NO_3^- - en $\text{PO}_4\text{-P}$ concentraties in uitstromend drainwater van perceel 39 (normaal peil); gegevens 2005 op basis van extrapolatie

Infiltrerend slootwater

De NO_3^- -concentraties in het in perceel 38 (hoog peil) infiltrerende slootwater (hoog peil) zijn begin 2004 hoog, circa 50 mg/l (Fig. 4.10). In de periode april t/m augustus 2004 daalt de nitraatconcentratie naar zo'n 10-20 mg/l. In december 2004 stijgt de NO_3^- -concentratie naar hogere niveaus, rond de 100 mg/l.

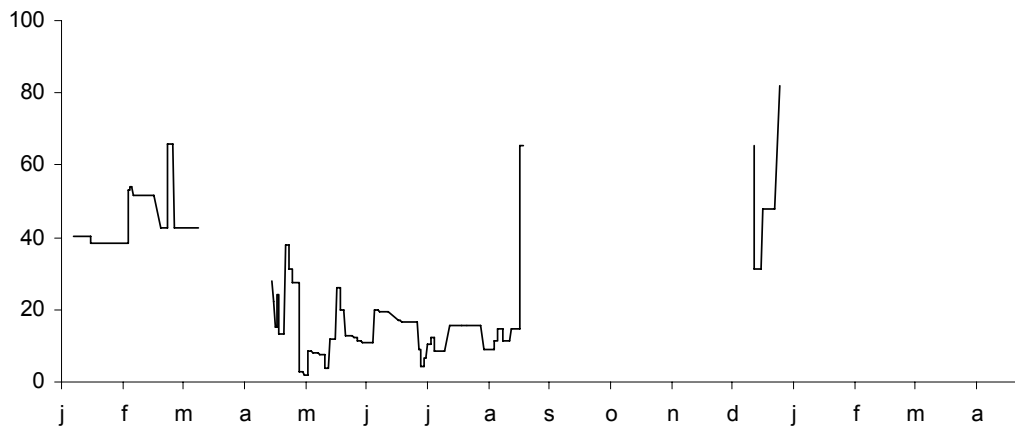
Het infiltrerende slootwater is vooral inlaatwater uit het Peelkanaal en mogelijk wat afgevoerd drainwater van andere percelen. In het groeiseizoen zal vooral het inlaatwater uit het Peelkanaal een dominante invloed hebben. De verschillen in NO_3^- -

concentraties van het inlaatwater tussen zomer en winter weerspiegelen dus vooral verschillen in concentraties in het Peelkanaal, welke weer deels bepaald worden door seizoensverschillen in N- en P-belasting vanuit de landbouw, maar ook door bronnen van elders.

In het algemeen zijn NO_3 -concentraties in het oppervlaktewater in agrarische gebieden in de zomer lager dan in de winter, omdat in de zomer het gewas meer N opneemt en het neerslagoverschot relatief gering is en vaak negatief. In het uitspoelseizoen (najaar en winter) staat er geen gewas meer op het land en kan het neerslagoverschot aanzienlijk zijn.

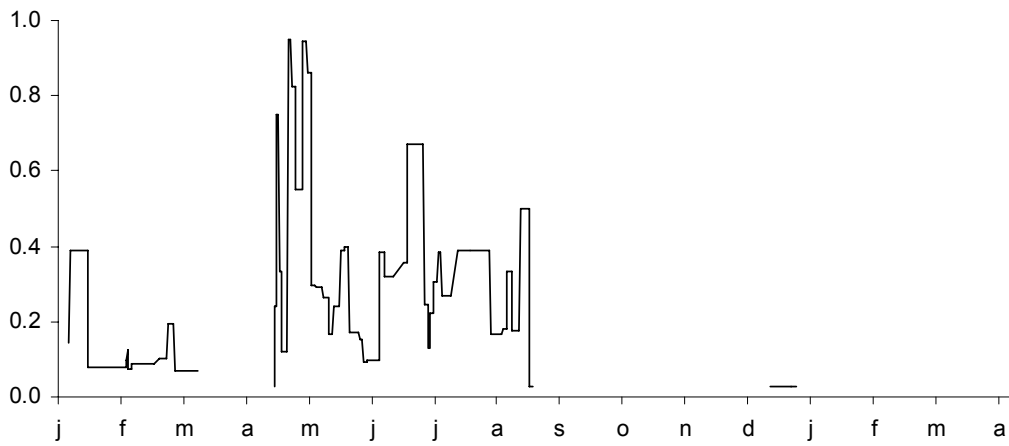
De $\text{PO}_4\text{-P}$ -concentraties in het infiltratiewater van circa 0,10 mg/l in de winterperiode zijn gemiddeld relatief laag, maar nemen in de zomerperiode toe. Dit bevestigt dat het infiltratiewater afkomstig is uit het Peelkanaal en niet uit aangrenzende landbouwpercelen. Uit de metingen aan de drain in perceel 39 (normaal peil) blijkt dat er nauwelijks fosfaat via drains uit de percelen van proefboerderij Vredepeel spoelt.

NO₃-concentratie instromend slootwater (mg l⁻¹)



Datum 2004/2005

PO₄-P-concentratie instromend slootwater (mg l⁻¹)



Datum 2004/2005

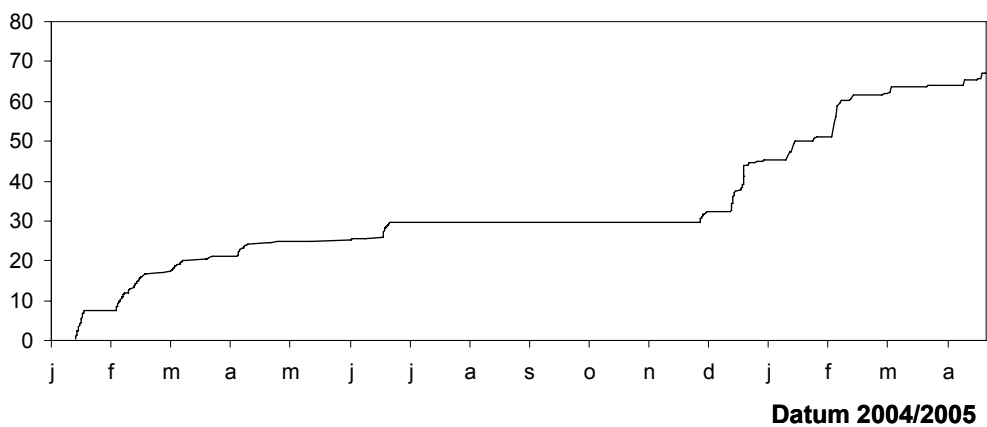
Figuur 4.10 NO₃- en PO₄-P concentraties in drainwater dat in perceel 38 (hoog peil) stroomt

4.4.3 Nutriëntenvrachten via drains

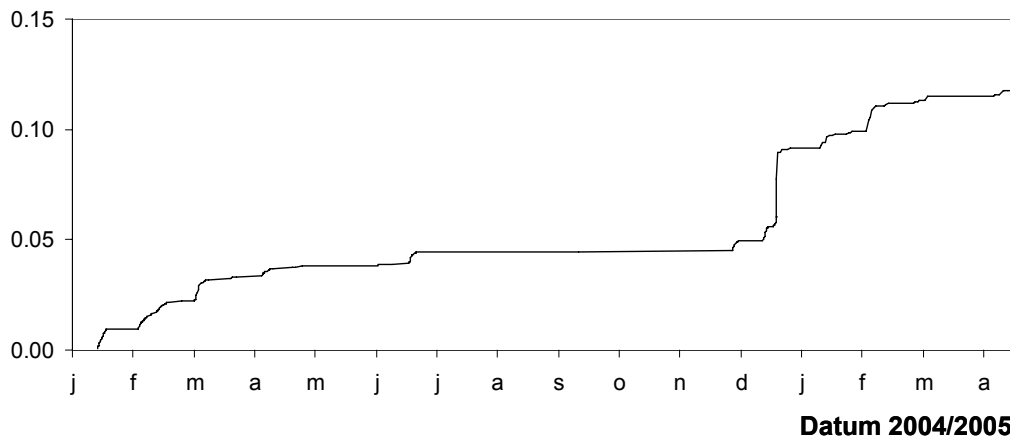
Uitstromend water

De belasting van het oppervlaktewater via drains is voor perceel 39 (normaal peil) in de periode januari t/m juni 2004 circa 30 kg NO₃-N/ha (Fig. 4.11). Dit gedeelte van de uitspoeling kan nog toegerekend worden aan het uitspoelseizoen 2003-2004. Gedurende het groeiseizoen is er geen substantiële N-uitspoeling. In periode van 1 april 2004 t/m 31 maart 2005 spoelt 43 kg NO₃-N/ha uit, waarbij opgemerkt moet worden dat voor het gedeelte in 2005 gebruik is gemaakt van geschatte concentraties en een "tipping bucket waterbalans" om de bijdrage aan de uitspoeling te schatten. De fosfaatuitspoeling is erg laag.

Uitspoeling drain cumulatief (kg NO₃-N ha⁻¹)



Uitspoeling drain cumulatief (kg PO₄-P ha⁻¹)

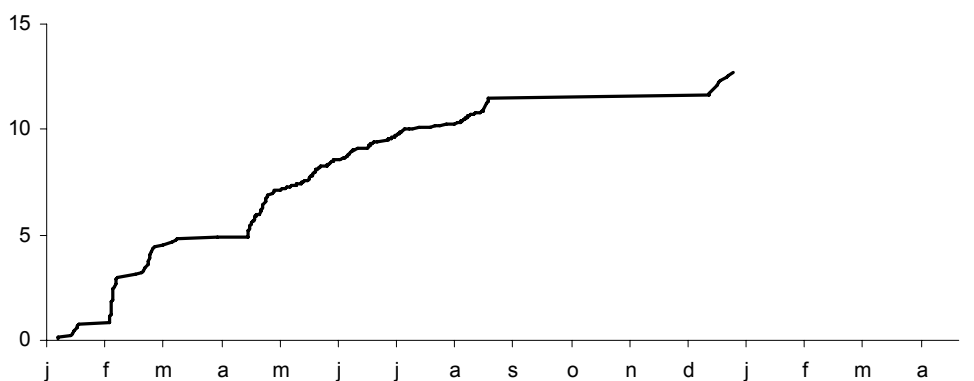


Figuur 4.11 N- en P-vrachten in het drainagewater van perceel 39 (normaal peil); gegevens 2005 op basis van extrapolatie

Infiltrerend slootwater

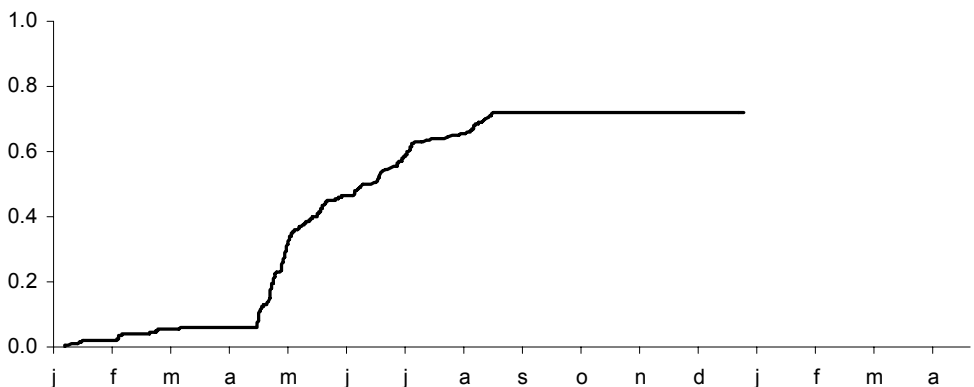
De cumulatieve instroom van stikstof ($\text{NO}_3\text{-N}$) op perceel 38 (hoog peil) treedt gedurende een groot gedeelte van het jaar op, maar met name in het groeiseizoen, en bedraagt 12 kg $\text{NO}_3\text{-N}/\text{ha}$ voor het jaar 2004 (Fig. 4.12). De cumulatieve instroom van fosfaat ($\text{PO}_4\text{-P}$) vindt bijna volledig gedurende het groeiseizoen plaats; en bedraagt 0,8 kg $\text{PO}_4\text{-P} / \text{ha}$.

N-infiltratie via slootwater cumulatief (kg $\text{NO}_3\text{-N ha}^{-1}$)



Datum 2004/2005

P-infiltratie via slootwater cumulatief (kg $\text{PO}_4\text{-P ha}^{-1}$)



Datum 2004/2005

Figuur 4.12 N- en P vrachten in het infiltrerend slootwater van perceel 38 (hoog peil)

5 Water- en nutriëntenbalansen

We zullen op basis van de meetgegevens en schattingen een berekening maken van de water- en nutriëntenbalansen van de twee percelen.

5.1 Water- en nutriëntenbalansen 2003-2004

5.1.1 Waterbalansen 2003-2004

We beschouwen voor de waterbalans 2003-2004 de periode van 1 mei 2003 t/m 30 april 2004. We beginnen dus bij de start van het groeiseizoen en eindigen bij de start van het volgende groeiseizoen, zodat we het gehele uitspoelingseizoen van het gewas aardappel meenemen. Voor bepaling van de evapotranspiratie gebruiken wij de methode zoals beschreven in paragraaf 2.4.2. Wij veronderstellen dat de waterinhoud in het bodemprofiel aan het begin en eind van de beschouwde periode gelijk is en dat er dus geen verandering in waterberging optreedt. In Tabel 5.1 zien we dat er 80 mm minder beregend is op het vernatte perceel 39, maar dat daarvoor een extra hoeveelheid van 330 mm infiltratiewater is aangevoerd gedurende het gehele jaar. Een groot deel van dit infiltratiewater is weer via lateraal en verticaal transport in de ondergrond afgevoerd. Als al dit water (“Aanvulling grondwater” in Tabel 5.1) ten goede komt aan de aanvulling van het grondwater, dan wordt bij het hoge peil (perceel 38) ca. 5x zoveel water naar het grondwater afgevoerd als bij het normale peil (perceel 39).

Tabel 5.1 Waterbalansen (mm) voor de percelen 38 (hoog) en 39 (normaal) voor de periode 1 mei 2003 t/m 30 april 2004

	Perceel 38 (hoog peil) (mm)	Perceel 39 (normaal peil) (mm)
Neerslag (A)	773	773
Beregening (B)	75	155
Evapotranspiratie (C)	501	501
Drainage (D)	0	292
Infiltratie (E)	330	0
Aanvulling grondwater (lateraal en verticaal in ondergrond) (F = A+B-C-D+E)	677	135
Totale waterafvoer (drain + ondergrond) (G = F+D)	677	427

5.1.2 Nutriëntenbalansen 2003-2004

We beschouwen voor de nutriëntenbalansen 2003-2004 de periode van 1 mei 2003 t/m 30 april 2004; dezelfde periode als de boven beschreven waterbalans. We gaan er in de balans vanuit dat er netto geen N vrijkomt of verdwijnt uit de organische stofpool van de bodem. De ammoniakemissie is berekend als 5% van de aangevoerde minerale stikstof in varkensdrijfmest (PPO, 2003). De mineralisatie is geschat op 100 kg N/ha/jaar, mede op basis van de gegevens van het project "Telen met Toekomst" (Smit en Zwart, 2003). Denitrificatie wordt op Vredepeel erg laag ingeschat op ca. 15 kg N/ha/jaar (Zwart, 2003). We gaan uit van dezelfde denitrificatie bij beide peilen.

We zien (Tabel 5.2) dat de totale emissie van stikstof naar het grondwater op perceel 38 (hoog peil) met 141 kg N/ha aanzienlijk hoger is dan de 105 kg N/ha naar het grond- en oppervlaktewater op perceel 39 (normaal peil). De verschillen worden veroorzaakt door een lagere gewasopname op perceel 38 (hoog peil) en de extra inlaat van N via het inlaatwater. Echter door de grote afvoer van water van 677 mm bij het hoge peil (Tabel 5.1) zien we dat de hoeveelheid water waarin deze hoeveelheid stikstof kan worden getransporteerd bij het hoge peil bijna 1,5x groter is dan bij het normale peil met een waterafvoer van 427 mm (zie Tabel 5.2). We hebben op perceel 38 (hoog peil) te maken met een grotere N-vracht, maar verdund met een nog grotere hoeveelheid inlaatwater. Op basis van deze nutriënten- en waterbalansen schatten we de NO₃-concentraties in het diepere grondwater op 92 mg/l voor perceel 38 (hoog peil) en 109 mg/l voor perceel 39 (normaal peil).

De gemeten gemiddelde concentraties in het drainwater is circa 100 mg NO₃/l voor perceel 39 (normaal peil) (zie Figuren 3.13 en 4.19). De geschatte NO₃-concentratie op basis van de water- en N-balans ligt dichtbij de gemeten NO₃-concentraties in het drainagewater.

Tabel 5.2 Nutriëntenbalansen voor N (kg/ha) voor de percelen 38 (hoog peil) en 39 (normaal peil) voor de periode 1 mei 2003 t/m 30 april 2004

	Perceel 38 (hoog peil) (kg N/ ha)	Perceel 39 (normaal peil) (kg N / ha)
Bemesting	225	225
(direct werkzaam) (A)		
Ammoniakemissie (B)	6	6
Mineralisatie (C)	100	100
Depositie (D)	45	45
Afvoer met gewas (E)	219	244
Uitspoeling drain (NO ₃ -N) (F)	0	61
Inspoeling drain (NO ₃ -N) (G)	11	0
Denitrificatie (H)	15	15
Transport naar grondwater (I = A-B+C+D-E-F+G-H)	141	44
Totale emissie naar grond- en oppervlaktewater (J = I+F)	141	105

Er wordt in de periode 1 mei 2003 t/m 30 april 2004 meer P toegediend dan dat er wordt opgenomen (Tabel 5.3). Uit de zeer lage P-concentraties in het drainagewater blijkt dat er geen P-uitspoeling plaatsvindt. Het overschot aan P wordt dus vastgelegd in de bodem.

Tabel 5.3 P-balansen (kg P/ha) voor de percelen 38 (hoog peil) en 39 (normaal peil) voor de periode 1 mei 2003 t/m 30 april 2004

	Perceel 38 (hoog peil) (kg P/ ha)	Perceel 39 (normaal peil) (kg P/ ha)
Bemesting (P ₂ O ₅ -P) (A)	50	50
Afvoer met gewas (P) (B)	32	30
Uitspoeling drain (PO ₄ -P) (C)	0	0
Inspoeling drain (PO ₄ -P) (D)	1	0
P-vastlegging (E = A-B-C+D)	19	20

5.2 Water- en nutriëntenbalansen 2004-2005

We zullen op basis van de meetgegevens en schattingen een berekening maken van de water- en nutriëntenbalansen van de twee percelen.

5.2.1 Waterbalansen 2004-2005

We beschouwen voor de waterbalans 2004-2005 de periode van 1 april 2004 t/m 31 maart 2005 (Tabel 5.4). We beginnen dus bij de start van het groeiseizoen en eindigen bij de start van het volgende groeiseizoen, zodat we het gehele uitspoelingsseizoen van het gewas maïs meenemen. We gebruiken dezelfde benadering als beschreven in paragraaf 5.1.1. Bij ontbrekende draingegevens in 2005 is gebruik gemaakt van extrapolatie door middel van de “tipping bucket waterbalans”-methode.

We zien dat bij het hoge peil een grote hoeveelheid van 250 mm water infiltreert, wat tezamen met het neerslagoverschot door waterstroming in de ondergrond (richting Peelkanaal) naar de diepere ondergrond verdwijnt. Deze grote balanspost van infiltrerend slootwater wordt mede veroorzaakt door de schaal van ons experiment. We vernatten een relatief klein gebiedje in een zeer waterdoorlatende omgeving. Dit betekent dat veel water naar de omgeving verdwijnt en dat we dus extra veel water moeten aanvoeren. Bij vernatting op een grotere schaal zal vooral de laterale waterstroming afnemen omdat alle percelen in de omgeving worden vernat. De waterstroming naar het lage gedeelte van het Peelkanaal zal op deze locatie altijd een belangrijke verliespost blijven omdat het water relatief snel naar dit kanaal kan stromen. Slechts door ingrijpende maatregelen, bijvoorbeeld het aanleggen van een damwand, zou deze post verlaagd kunnen worden.

Tabel 5.4 Waterbalansen (mm) voor de percelen 38 (hoog peil) en 39 (normaal peil) voor de periode 1 april 2004 t/m 31 maart 2005 (extrapolatie voor ontbrekende data 2005 toegepast)

	Perceel 38 (hoog peil) (mm)	Perceel 39 (normaal peil) (mm)
Neerslag (A)	859	859
Berekening (B)	0	0
Evapotranspiratie (C)	565	565
Drainage (D)	0	201
Infiltratie (E)	250	0
Aanvulling grondwater (lateraal en verticaal in ondergrond) (F = A+B-C-D+E)	544	93
Totale waterafvoer (drain + ondergrond) (G = F+D)	544	294

5.2.2 Nutriëntenbalansen 2004-2005

We beschouwen voor de nutriëntenbalansen de periode van 1 april 2004 t/m 31 maart 2005; dezelfde periode als voor de boven beschreven waterbalans. Verder gaan wij uit van dezelfde aannames als voor 2003-2004.

Voor deze periode zien wij (Tabel 5.5) dat de totale emissie van stikstof naar grond- en oppervlaktewater voor beide percelen haast gelijk is 28 en 34 kg N/ha. Echter door de grote aanvoer van inlaatwater bij het hoge peil (Tabel 5.4) zien we dat de hoeveelheid water ("totale wateraanvoer"; Tabel 5.4) waarin deze hoeveelheid stikstof kan worden getransporteerd bij het hoge peil bijna 2x groter is als bij het normale peil. We hebben hier dus te maken met een gelijke N-vracht, maar verdund met een grote hoeveelheid inlaatwater. Op basis van deze nutriënten- en waterbalansen schatten we de NO₃-concentraties in het diepere grondwater op 28 mg/l voor perceel 38 (hoog peil) en 42 mg/l voor perceel 39 (normaal peil).

De gemeten gemiddelde concentraties in het drainagewater is echter 95 mg NO₃/l voor perceel 39 (normaal peil). De geschatte NO₃-concentratie op basis van de water- en N-balans komt niet overeen de gemeten NO₃-concentraties in het drainagewater. In deze N-balans lijkt het er op dat er door de doorwerking van fouten de laterale transportterm te laag wordt berekend. Voor perceel 39 (normaal peil) lijkt het er zelfs op dat er 15 kg N wordt aangevoerd, wat niet waarschijnlijk is als er tegelijkertijd 43 kg N door drainage verdwijnt. Gezien de circa 2x hogere NO₃-concentraties in het drainagewater, lijkt het er op dat we met deze balansbenadering de totale emissie naar grond- en oppervlaktewater ongeveer een factor 2 onderschatten. We zullen hier in de evaluatie van de balansen in de volgende paragraaf nader op ingaan.

Tabel 5.5 N-balansen (kg N/ha) voor de percelen 38 (hoog peil) en 39 (normaal peil) voor de periode 1 april 2004 t/m 31 maart 2005 (extrapolatie voor ontbrekende data 2005 toegepast); gewas 2004: maïs

	Perceel 38 (hoog peil) (kg N/ha)	Perceel 39 (normaal peil) (kg N/ha)
Bemesting		
(direct werkzaam) (A)	142	142
Ammoniakemissie (B)	6	6
Mineralisatie (C)	100	100
Depositie (D)	45	45
Afvoer met gewas (E)	242	238
Uitspoeling drain (NO ₃ -N) (F)	0	43
Inspoeling drain (NO ₃ -N) (G)	10	0
Denitrificatie (H)	15	15
Transport naar grondwater (I = A-B+C+D-E-F+G-H)	34	-15
Totale emissie naar grond- en oppervlaktewater (J = I+F)	34	28

Uit de zeer lage P-concentraties in het drainagewater blijkt dat er geen P-uitspoeling plaatsvindt (Tabel 5.6). De berekende afname in de bodemvoorraad P is haast gelijk aan het overschot in het voorgaande jaar (zie Tabel 5.4).

Tabel 5.6 P-balansen (kg P/ha) voor de percelen 38 (hoog) en 39 (normaal) voor de periode 1 april 2004 t/m 31 maart 2005 (extrapolatie voor ontbrekende data 2005 toegepast); gewas 2004: maïs

	Perceel 38 (hoog peil) (kg P/ ha)	Perceel 39 (normaal peil) (kg P/ ha)
Bemesting P ₂ O ₅ -P (A)	29	29
Afvoer gewas P	48	48
Uitspoeling drain (PO ₄ -P) (B)	0	0
Inspoeling drain (PO ₄ -P) (C)	1	0
Transport (lateraal en vertikaal in ondergrond) (D)	0	0
Afname bodemvoorraad (E = A-B+C-D)	19	18

5.3 Evaluatie balansen

De balansen zijn gebaseerd op meetgegevens, maar ook op verschillende aannames en extrapolatie van gegevens. Dit zorgt voor een grote onzekerheid in de balansen. We zullen nu enkele posten van de water- en nutriëntenbalans bespreken en een indicatie geven met betrekking tot de onzekerheden. Een uitgebreide algemene analyse van nutriëntenbalansen en hun fouten en onzekerheden is gegeven door Oenema en Heinen (1999). Zij maken onderscheid in systematische fouten, waarbij het gemiddelde van het meetresultaat afwijkt van de werkelijke waarde; en toevallige fouten waarbij het gemiddelde van de meetwaarde wel juist is maar er spreiding rond dit gemiddelde optreedt door (natuurlijke) variaties. Wij zullen in deze paragraaf proberen een schatting te geven van fouten in zowel de water- als nutriëntenbalansen. Als van balansposten geen kwantitatieve gegevens bekend zijn, maken wij

gebruik van eigen schattingen. Wij gaan er in het algemeen vanuit dat fouten in de verschillende balansposten onafhankelijk van elkaar zijn.

5.3.1 Waterbalans

Verandering in de waterinhoud van de bodem In de waterbalans gaan we er van uit dat na een jaar de waterinhoud weer gelijk is aan de uitgangssituatie. Dit hoeft niet het geval te zijn en we schatten de toevallige fout door een verandering in waterberging op 50 mm.

Neerslag: De neerslag wordt lokaal gemeten. Bij het meten van de neerslag wordt meestal een onderschatting van de neerslag verkregen omdat door windeffecten en interceptieverdamping een deel van de neerslag niet in de opvangbak, die meestal op 40 cm hoogte is opgesteld, terecht komt. Een ideale opstelling voor een neerslagmeter is een “Engelse opstelling” of een opstelling op maaiveldshoogte. De gemeten neerslag kan dus een lichte onderschatting van gemiddeld 4% zijn van de werkelijke neerslag, maar we verwachten dat deze systematische fout relatief klein is ten opzichte van andere posten in de waterbalans. De schatting van de evapotranspiratie is ook gebaseerd op waterbalansberekeningen met dezelfde systematische neerslagfout. Daarom zal de fout in de neerslag verdisconteerd worden in de fout in de berekening van de evapotranspiratie (zie ook : Massop *et al.*, 2005).

Berekening: De hoeveelheid beregeningswater wordt gemeten met een watermeter aan de pomp. Het is een post op de waterbalans die relatief nauwkeurig bekend is. We schatten de toevallige fout op 2% van de hoeveelheid beregeningswater.

Evapotranspiratie: De potentiële evapotranspiratie wordt berekend aan de hand van de Makkink-formule voor een goed ontwikkeld grasveld (“referentiegewasverdamping”). Deze referentiegewasverdamping wordt vervolgens met gewasfactoren vertaald naar de actuele evapotranspiratie van kale grond (evaporatie) of een combinatie van gewas- en bodemverdamping (evapotranspiratie). De verwachting is dat vooral in een droog jaar als 2003 de evapotranspiratie wordt overschat met deze atmosferische benadering, omdat het gewas de maximale verdamping niet altijd uit de bodem kan onttrekken. Ook de schatting van de kale bodemverdamping door het gebruik van een “gewasfactor = 0.54” voor de periode 1 oktober t/m 31 maart is onzeker. Deze gewasfactor is afgeleid van Massop *et al.* (2005). Zij geven een uitgebreide analyse van de fouten in de schatting van de verdamping en geven voor Nederland indicaties voor de gemiddelde jaarlijkse verdamping: kale grond 250 mm, grasland 535 mm en akkerbouw 515 mm. Voor de kale bodem verdamping in de periode 1 oktober t/m 31 maart wordt een cumulatief gemiddelde van 80 mm gegeven. Massop *et al.* (2003) stellen voorts dat vooral in droge en natte perioden er een verdampingsreductie dient plaats te vinden ten opzichte van de referentieverdamping, zelfs als er berekend wordt. In onze eenvoudige waterbalansberekening is er in 2004 voor maïs geen verdampingsreductie gebruikt. Voor het erg droge groeiseizoen 2003 hebben wij voor aardappel een extra verdampingsreductie van 12% gebruikt, gebaseerd op een eigen inschatting van de

verdampingsreductie en data uit Massop *et al.* (2005). Door deze aanpassingen denken we op jaarbasis redelijk in de buurt van de actuele evaporatie te zitten, maar gezien alle onzekerheden in de berekeningen, schatten we de toevallige fout op 10%.

Drainage: In de perioden waarin waterafvoer via drainage goed is gemeten is de onzekerheid in de gemeten hoeveelheid drainagewater te verwaarlozen t.o.v. andere fouten in de waterbalans. In de gevallen waar we gebruik hebben gemaakt van het neerslagoverschot om de drainage van perceel 39 (normaal peil) in te schatten (“tipping-bucket waterbalansmethode”) wordt de onzekerheid veel groter omdat we niet zeker weten welk deel van het neerslagoverschot naar de drain gaat en welk deel naar de ondergrond. De systematische fouten in de neerslag en in de berekening van de evapotranspiratie werken direct door in deze werkwijze, aangezien het neerslagoverschot hierop gebaseerd is. We schatten de onzekerheid in de drainafvoer op circa 10%.

Infiltratie: Dit is de gemeten hoeveelheid infiltrerend slootwater, welke nauwkeurig is gemeten (+/- 3%).

Transport lateraal en naar ondergrond: is een balansterm die wordt berekend uit de overige posten en deze term heeft dus een grote onzekerheid omdat de onzekerheden van de andere posten hierin accumuleren. In Tabel 5.7 is als voorbeeld voor het perceel 39 (normaal peil) aangegeven wat de fouten in de balansposten minimaal en maximaal kunnen zijn en wat het gevolg is voor het berekende transport naar de ondergrond.

Tabel 5.7 Doorwerking van fouten in de waterbalans op de berekening van het minimale en maximale watertransport in de ondergrond voor perceel 39 (normaal peil) in de periode 1 mei 2003 t/m 30 april 2004

Balanspost (mm)	Schatting	Minimaal	Maximaal
Verandering Waterinhoud bodem	0	-50	50
Neerslag	773	773	773
Berekening	155	148	163
Evapotranspiratie	501	551	451
Drainage	292	321	263
<i>Transport ondergrond</i>	<i>135</i>	<i>-1</i>	<i>272</i>

De waarden in Tabel 5.7 gaan er vanuit dat alle fouten onafhankelijk van elkaar zijn. Dit is niet het geval. Als er drainage plaatsvindt dan is het waarschijnlijk dat er ook watertransport in de ondergrond plaatsvindt, aangezien beide waterstromingen door de stijghoogte van het grondwater beïnvloed worden. Het is dus onwaarschijnlijk dat het transport in de ondergrond minimaal is (-1 mm) en de drainage maximaal (321 mm). Tabel 5.7 moet dus meer gezien worden als een eerste poging om de orde van grootte en de effecten van fouten te laten zien. Van Rijn (2003) heeft laten zien er uit de stijghoogtegradiënten netto neerwaartse stroming optreedt, hieruit kunnen we

concluderen dat er met zekerheid netto watertransport naar de ondergrond plaatsvindt in perceel 39 (normaal peil).

5.3.2 Nutriëntenbalans

Stikstofbalansen

Bemesting De bemesting met kunstmest is nauwkeurig bekend (+/- 2%) en de aangevoerde hoeveelheid organische stikstof in de dierlijke mest is ook goed bekend (+/- 5%). Het gedeelte van de bemesting die in het groeiseizoen beschikbaar komt is de grootste onzekerheid in de balansen, aangezien dit sterk afhankelijk is van de condities gedurende het groeiseizoen. We schatten deze onzekerheid in op ca. 10%. De manier waarop de organische bemesting in de balans wordt meegenomen, heeft directe consequenties voor de bijdrage van de mineralisatie uit organische stof. In deze balansbenadering gaan we er van uit dat een gedeelte van de organisch gebonden N in dierlijke mest (65-50%) direct beschikbaar komt en bij de bemesting wordt gerekend. Het overige gedeelte komt ten goed aan de organische stofvoorraad, waaruit weer mineralisatie kan plaatsvinden.

Ammoniakemissie De ammoniakemissie is geschat op basis van de bemestingsadviesbasis (PPO, 2003). De actuele weersomstandigheden (windsnelheid en temperatuur) en de manier van uitrijden van de dierlijke mest bepalen in hoge mate de actuele ammoniakemissie. In dit geval is in 2003 en 2004 de mest geïnjecteerd, wat tot de relatief lage ammoniakemissie leidt. We schatten echter dat deze berekende ammoniakemissie de ondergrens is en dat bij minder gunstige condities een dubbele hoeveelheid mogelijk zou zijn.

Organische stofvoorraad en mineralisatie Een belangrijke aanname bij het maken van de stikstofbalans is dat er netto geen stikstof wordt vastgelegd of vrijkomt uit de organische stofvoorraad. Op jaarbasis is dit geen realistische aanname, aangezien de organische bemestingsgiften sterk verschillen voor de verschillende gewassen. Op langere termijn van een gewasrotatie (4 jaar) of langer is deze aanname waarschijnlijk als de aanvoer van (organische) stikstof gelijk is aan de afvoer van organische stikstof via mineralisatie. Het organische stofgehalte zal in deze evenwichtssituatie dan constant blijven.

De netto mineralisatie uit de organische stofvoorraad wordt geschat op 100 kg N/ha op basis van gegevens uit de experimenten op Vredepeel van telen met Toekomst (Smit en Zwart, 2003). Er is een aanzienlijke onzekerheid (ca. 20%) in deze schatting aangezien ook deze post sterk onderhevig kan zijn aan fluctuaties ten gevolgen van de actuele bodemcondities. Uit gegevens van Clevering *et al.* (2006; p35) blijkt de onbemeste veldjes in de N-trappenproef in 2003 en 2004 bij een “normaal peil” ook een N-afvoer van circa 100 kg N/ha opleveren. Dit is een aanwijzing dat de netto mineralisatieschatting realistisch is. We schatten de toevallige fout op maximaal 50 kg N/ha.

Depositie De depositie is geschat op basis van regionale gegevens van stikstofdepositie. We schatten dat deze kleine post een toevallige fout heeft van zo'n 20%.

Opname gewas De gewasopname is bepaald op basis van het gemiddelde van enkele proefveldjes en is dus relatief nauwkeurig (+/5%) in het veld gemeten.

Uitspoeling drain In de perioden waarin de waterafvoer goed gemeten is, is de onzekerheid in de gemeten hoeveelheid drainagewater te verwaarlozen t.o.v. andere fouten in de waterbalans, ook de bepalingen van de gemeten hoeveelheden NO_3 en NH_4 zijn nauwkeurig. In de andere gevallen waarin we gebruik hebben gemaakt van het neerslagoverschot om de drainage van perceel 39 (normaal peil) in te schatten ("tipping-bucket waterbalansmethode") wordt de onzekerheid veel groter omdat we niet zeker weten welk deel van het neerslagoverschot naar de drain gaat en welk deel naar de ondergrond. De fout in de schatting van de drainage was zo'n 10%; de NO_3 -concentraties lagen bij uitspoeling altijd rond de 100 mg NO_3/l . In deze studie is de hoeveelheid organische stikstof in het drainwater niet gemeten, aangezien aangenomen wordt dat op deze zandgrond nauwelijks organische N uit de drain stroomt. Het verdient toch aanbeveling om deze aanname in het vervolg wel voor enkele monsters te checken door ook N-totaal en eveneens organisch P te meten. We schatten de toevallige fout in de cumulatieve N-uitspoeling op 10%.

Inspoeling drain De gemeten hoeveelheid infiltrerend slootwater is nauwkeurig gemeten (+/- 3%), ook de hoeveelheid infiltrerend NO_3 en NH_4 is nauwkeurig bekend. In het infiltrerende slootwater, afkomstig van het Peelkanaal, zou de hoeveelheid N-totaal hoger kunnen liggen dan de minerale hoeveelheid N. Zeker voor infiltrerend oppervlaktewater verdient het aanbeveling om in de toekomst ook N-totaal en organisch P te meten.

Denitrificatie De grote vraag blijft hoeveel denitrificatie er in de boven- en ondergrond optreedt. Zwart (2003) geeft aan dat denitrificatie te verlopen is, aangezien er onvoldoende opgelost organische stof aanwezig is. De stikstofbalans op basis van gelabelde N_{15} -experimenten op het perceel 39 (normaal peil) van Van Groenigen *et al.* (2006) geeft ruimte voor een denitrificatie van zo'n 7% van de opgebrachte anorganische bemesting (m.n. kunstmest). Waarschijnlijk is de denitrificatie van dierlijke mest hoger door het grotere hoeveelheid oplosbare koolstof. De gemeten nitraatconcentraties in het bodemwater laten op perceel 39 (normaal peil) een afname van de nitraatconcentratie met de diepte zien, waarbij het onwaarschijnlijk is dat op deze diepten nog nitraatopname door het gewas mogelijk is. Er zijn dus aanwijzingen dat er in de ondergrond wel denitrificatie optreedt. Er is een flinke onzekerheid en we schatten de denitrificatie op 15 +/- 10 kg N/ha.

Transport naar de ondergrond

Het transport naar de ondergrond is een resultante van de balans. De onzekerheid in deze post is groot en ligt tussen 0 en 126 kg N /ha/jaar (Tabel 5.8). Uit de waterbalans weten we wel zeker dat het transport naar de ondergrond niet negatief kan zijn aangezien de uitspoeling via de drain en transport naar de ondergrond sterk

gecorrleerd zijn, zal er een netto neerwaartse waterbeweging zijn en dus ook N-transport naar de ondergrond (minimaal 0). Uit de relatief kleine bijdrage van denitrificatie en ammoniakemissie volgt dat een groot gedeelte van het nutriëntenoverschot naar grond- en oppervlaktewater verdwijnt.

Tabel 5.8 Doorwerking van fouten in de N-balans op de berekening van het minimale en maximale stikstoftransport naar de ondergrond voor perceel 39 (normaal peil) in 2003

Balanspost (kg N / ha)	Schatting	Minimum	Maximum
Mineralisatie (incl. veranderingen organische stofpool)	100	50	150
Bemesting	225	212	238
Ammoniakemissie	6	12	3
Depositie	45	54	36
Opname gewas	244	256	232
Uitspoeling drain	61	67	58
Denitrificatie	15	25	5
<i>Transport ondergrond</i>	<i>44</i>	<i>-44</i>	<i>126</i>

Fosforbalansen

De fosfaatbalansen worden niet uitgebreid besproken. Uit Tabellen 5.3 en 5.6 is direct duidelijk dat de posten bemesting en afvoer gewas het grootst zijn en redelijk nauwkeurig bekend (ca. +/- 5%). De verandering van de P-bodemvoorraad is de meest onbetrouwbare post en is niet eenvoudig te meten gezien de complexe P-chemie in de bodem. Deze post is dus vaak de sluitpost van de balans. Aangezien de in- en uitspoeling van P erg klein is (max. 1 kg P/ha/jaar) is de fout in de toe- of afname van bodemvoorraad P in de orde van grootte van 4 kg P/ha/jaar; dit is de som van de fouten in de bemesting en de gewasopname.

6 Discussie

6.1 Uitvoering experimenten

De uitvoering van het vernattingsexperiment was lastig. Door een tekort aan inlaatwater was het in de droge zomer van 2003 niet mogelijk het hoge peil te handhaven. Door ingrepen van het waterschap en aanleg van nieuwe drains elders op het bedrijf werden de slootwaterpeilen soms tijdelijk verlaagd. De inrichting van het proefveld bleek ook niet waterdicht. In 2003 is er op perceel 39 (normaal peil) veel water door de drain gestroomd dat niet van het perceel afkomstig was, maar infiltreerde uit een kavelsloot aan de noordzijde van het perceel. Dit leidde tot grote moeilijkheden bij het interpreteren van de gegevens, waardoor er in 2003 schattingen van de waterbalans voor perceel 39 (normaal peil) gemaakt moesten worden in plaats van het gebruik van goede meetgegevens. Er ontbreken in delen van de meetperiode ook grondwaterkwaliteitsgegevens. Dit alles maakt het moeilijk om een compleet beeld van de effecten van vernatting te krijgen.

De meetperiode 2003-2005 bevatte maar 2 groeiseizoenen, waardoor toevallige weersomstandigheden een grote invloed hebben op het verloop van de experimenten. Zo had 2003 een erg droog groeiseizoen waarin veel is beregend. Het is dan lastig om onderscheid te maken tussen de effecten van vernatting door beregening (water komt van boven) en het vernatting door het opzetten van slootpeilen (water komt van beneden). In beide gevallen wordt de bodem van extra water voorzien, waarbij bij beregening het water direct aan de wortelzone wordt toegediend en bij het opzetten van het grondwaterpeil de watervoorziening dieper plaatsvindt. Vochtgehaltemetingen in 2003 lieten geen consistente verschillen tussen perceel 39 (normaal peil) en perceel 38 (hoog peil) zien (van Rijn, 2004).

De experimenten zijn uitgevoerd op twee percelen, zonder herhalingen. Het uitgangspunt was om in voldoende detail aan de processen te meten om zodoende beter inzicht in de gevolgen van vernatting te krijgen. Door aan drains te meten wordt een ruimtelijke integratie over het hele ontwateringsgebied van één drain verkregen (950 m²). De nutriëntentoestand van perceel 39 (normaal peil) en perceel 38 (hoog peil) waren vergelijkbaar (Tabel 2.1 en Bijlage 5). Echter door het ontbreken van herhalingen kunnen we geen uitspraken doen over significantie tussen de verschillen in nutriëntenverliezen tussen de 2 behandelingen (“normaal peil” en “hoog peil”). Door deze processtudie is het wel duidelijk geworden dat de hydrologie, en de daarmee samenhangende waterstroming en het nutriënten-transport, een dominante invloed heeft op de nutriëntenconcentraties in grond- en oppervlaktewater.

6.2 Vernatting, gewasopbrengsten en nutriëntenopname

Er zijn relatief kleine verschillen gevonden in gewasopbrengsten tussen perceel 38 (hoog peil) en perceel 39 (normaal peil) (Tabel 6.1). In 2003 was de netto aardappelopbrengst 81 ton/ha voor perceel 38 (hoog peil) en 79 ton/ha voor perceel 39 (normaal peil). In 2004 was de netto maïsopbrengst 62 ton/ha voor beide percelen. De verschillen in opbrengsten konden volledig verklaard worden uit verschillen in vochtopname.

Tabel 6.1. Gewasopbrengsten en N- en P-afvoer in 2003 (aardappel) en 2004 (snijmaïs) voor perceel 39 (normaal peil) en perceel 38 (hoog peil)

Gewas	Netto opbrengst (ton/ha)		Nutriëntenopname (kg/ha)			
			N		P	
	<i>normaal</i>	<i>hoog</i>	<i>normaal</i>	<i>hoog</i>	<i>normaal</i>	<i>hoog</i>
Aardappel	79	81	244	212	29	32
Snijmaïs	62	62	238	242	48	48

De kleine verschillen in het droge jaar 2003 worden vooral verklaard door de grotere hoeveelheid beregening van 150 mm op perceel 39 (normaal peil) ten opzicht van 75 mm op perceel 38 (hoog peil). Dit beregeningswater wordt toegediend in de droge wortelzone en komt zodoende direct ten goede aan het gewas. Weliswaar is op perceel 38 (hoog peil) minder beregening nodig, maar de bevochtiging via het grondwater lijkt landbouwkundig gezien minder effectief dan het inzetten van beregening. Door van Bakel (mond. mededeling) is berekend dat gemiddeld 60% van het beregeningswater ten goede komt aan het gewas, en dat dit voor infiltratiewater maar 20% is.

De N-opname door het gewas is in 2003 bij aardappel hoger op perceel 39 (normaal peil), de P-opname is op perceel 38 (hoog peil) hoger. Mogelijk neemt in droge jaren de N-beschikbaarheid (door hogere mineralisatie) in de bovengrond door beregenen toe. P-opname vindt vooral vroeg in het groeiseizoen plaats (voordat met beregenen gestart wordt), het kan zijn dat door permanente vernatting de mobiliteit van P in de bewortelbare zone toeneemt. In 2004 zijn bij snijmaïs geen verschillen in gewasopbrengst en nutriëntenopname gevonden. In dat jaar was vocht niet beperkend voor de N- en P-beschikbaarheid.

6.3 P-toestand van de bodem

Figuur 3.10 laat zien dat de bouwvoor (0- 30 cm–mv) fosfaatverzadigd is, maar de bodemlagen daaronder niet. Als bovenin het profiel P gemobiliseerd wordt, bijvoorbeeld door vernatting of beregenen, dan kan deze P bij verticaal transport onderin weer worden vastgelegd. Dit beeld komt overeen met de lage P-concentraties in het drainwater van perceel 39 (normaal peil). Aangezien de ondergrond van de percelen nog niet fosfaatverzadigd is, zal de P-uitspoeling op korte termijn bij de huidige oppervlaktewaterkwaliteitsnorm van 0,15 mg P/l geen probleem zijn op deze percelen. Op langere termijn kan door netto P-toevoer (P-

aanvoer met meststoffen is hoger dan P-afvoer met gewassen) P-uitspoeling wel een probleem worden. Ook kan de definitie van de fosfaatverzadiging veranderen (bijvoorbeeld van 25% naar 10% verzadiging) als in de toekomst de oppervlaktewaternormen mogelijk scherper worden, de percelen zullen dan eerder als P-lekkend beschouwd worden.

Op perceel 38 (hoog peil) zal er meer P gemobiliseerd worden in lagen waar het langer nat is, maar ook daar is er in de ondergrond nog voldoende capaciteit om deze P weer vast te leggen. Dit zou kunnen verklaren dat er soms in het bovenste grondwater hogere P-concentraties in perceel 38 (hoog peil) worden gevonden dan in perceel 39 (normaal peil). Echter op grotere diepte (150-200 cm) verdwijnen deze verschillen weer (Alblas *et al.*, 2003). Bij het hoge peil speelt ook de infiltratie van P-rijk oppervlaktewater een grote rol (zie volgende paragraaf). De resultaten van de hogere P-opname bij aardappel in het droge jaar 2003 op het vernatte perceel 38 (hoog peil) zijn een indicatie dat door vernatting (vochtiger bodem) meer P beschikbaar komt. Ook de hogere Pw-waarde in de laag 20-30 bij het hoge peil wijst mogelijk op een hogere P-beschikbaarheid (Figuur 3.3). De bewortelingsdiepte van beide gewassen is op perceel 39 (normaal) peil groter dan op perceel 38 (hoog peil). Dit wijst op een betere vocht- en P-beschikbaarheid op perceel 38 (hoog peil), waardoor de wortels zich minder diep ontwikkelen.

6.4 N- en P-concentraties in grond- en drainwater

Perceel 39 (normaal peil)

De gemeten NO₃-concentraties in het drainagewater liggen op perceel 39 (normaal peil) rond de 100 mg/l. Drains liggen op 80 cm-mv. Dit houdt in dat het grondwater rond de drain ook deze concentratie zal hebben. Aangezien drainagewater altijd samengesteld is uit water afkomstig uit verschillende bodemlagen die naar de drain stromen (de Vos *et al.*, 2000; de Vos, 2001), mag verwacht worden dat de nitraatconcentraties in het grondwater op circa 1 m -mv. Boven deze 100 mg/l zullen liggen en water op grotere diepte onder deze waarde. De NO₃-concentraties van 100 mg/l (23 mg NO₃-N/l) in het drainwater zijn relatief hoog, en een factor 10 boven de oppervlaktewaternorm van 2,2 mg N/l. De afname van NO₃-concentraties met de diepte lijkt maar gedeeltelijk verklaard te kunnen worden door denitrificatie, aangezien bekend is dat denitrificatie op Vredepeel laag is (zie volgende paragrafen). Wellicht dat de hydrologie ook hier een grote rol speelt aangezien maar een deel van het neerslagoverschot (ca% 40) de ondergrond bereikt en dit water wellicht gemengd wordt met schoner grondwater dat lateraal wordt getransporteerd. Er zijn zeker dicht bij het Peelkanaal aanwijzingen dat dit plaatsvindt (van Rijn, 2004; de Vos, 2003).

De P-concentraties in het drainwater zijn erg laag en blijven gemiddeld ruim onder de norm van 0,15 mg P/l. De lage P-concentraties komen overeen met de ruime P-absorptiecapaciteit (lage fosfaatverzadiging) in de ondergrond.

Perceel 38 (hoog peil)

Bij het hoge peil vindt alleen maar infiltratie van slootwater plaats en geen drainage. Dit betekent dus dat de grondwaterstand op dit goeddoorlatende perceel altijd lager is gebleven dan de slootwaterstand. Het eventuele neerslagoverschot verdwijnt dus via verticale en laterale stroming. Gedurende droge periodes infiltreert veel slootwater met daarin N en P in het perceel. De concentraties van het instromende slootwater liggen in de orde van grootte van 20 mg NO₃/l en 0,4 mg PO₄-P/l (Figuren 3.14 en 4.10). Dit betekent dat wat NO₃ betreft relatief schoon slootwater infiltreert en dat dit water wordt gemengd met het relatief NO₃-rijke water afkomstig uit het perceel. Met het slootwater worden hoge concentraties PO₄ aangevoerd wat tot een verrijking van de concentraties in het grondwater zal leiden, aangezien uit de resultaten van perceel 39 (normaal peil) blijkt dat er nauwelijks PO₄ uitspoelt. Het infiltrerende PO₄ zal echter weer relatief snel in de ondergrond vastgelegd worden. Het infiltrerende oppervlaktewater lijkt een belangrijke reden voor de verhoogde PO₄-concentraties zoals die in de periode 2000-2003 in het ondiepe grondwater zijn gevonden door Alblas *et al.* (2003). Mobilisatie van P door vernatting (optreden van ijzerreductie of veranderingen in pH) lijkt een minder voor de hand liggende verklaring. Mocht vooral het infiltreren van P-rijk water de oorzaak zijn van verhoogde P-concentraties dan kan dit geverifieerd worden door na te gaan of een gradiënt in P-concentraties in het grondwater aanwezig, met hoge P-concentraties rond de drain en afnemende concentraties verder van de drain.

7 Conclusies

Vernatting

Vernatten van een akkerbouwperceel te Vredepeel, door het opzetten van slootwaterpeilen, resulteert in infiltratie van een grote hoeveelheid water van 250-330 mm/jaar in de goed doorlatende bodem. Het grootste gedeelte van dit water wordt via verticale en laterale grondwaterstroming afgevoerd en komt dus niet direct ten goede aan gewasgroei. De hoeveelheid infiltratiewater is van dezelfde orde van grootte als het gemiddelde neerslagoverschot. Dit betekent dat op het vernatte perceel de kwaliteit van het grondwater sterk beïnvloed wordt door de hoeveelheid en kwaliteit van het infiltrerende water. Het infiltratiewater had een gemiddelde concentratie van circa 20 mg NO₃/l en 0,4 mg PO₄-P/l. Dit betekent wat NO₃ betreft dat relatief schoon slootwater infiltreert en dit water wordt gemengd met het relatief NO₃-rijke water afkomstig uit het perceel. Dit leidt tot een lage NO₃-concentratie in het diepere grondwater door verdunning. Met het slootwater worden relatief hoge concentraties PO₄ aangevoerd, wat tot een verrijking van de PO₄-concentraties in het grondwater leidt, aangezien uit de resultaten van perceel 39 (normaal peil) blijkt dat er nauwelijks PO₄ uit het bodemprofiel uitspoelt. De infiltrerende PO₄ zal echter weer relatief snel in de ondergrond vastgelegd worden. Toch kan het infiltrerende water een belangrijke reden zijn voor de verhoogde PO₄-concentraties zoals die in het grondwater zijn gemeten door Alblas *et al.* (2003). Het moment van bemonstering en de positie ten opzichte van de drain waaruit het water infiltreert kunnen in dit geval sterk bepalend zijn voor de gevonden concentraties.

Bij vernatting op een groter ruimtelijk schaalniveau of bij een minder waterdoorlatende bodem zullen de laterale waterverliezen sterk afnemen.

Berekening

Vernatting heeft in het droge groeiseizoen 2003 geleid tot 80 mm minder beregening op perceel 39 (hoog peil)(75 mm) ten opzichte van perceel 39 (normaal peil) (155 mm). De netto aardappelopbrengst met 80 ton/ha voor beide percelen gelijk, maar perceel 39 (normaal peil) had een 13% hogere N-gewasopname en perceel 38 (hoog peil) een 9% hogere P-gewasopname. Dit wijst er op dat door periodieke beregening vooral de N-beschikbaarheid in de bovengrond wordt verhoogd, en dat door permanente vernatting de P-beschikbaarheid ook al in het begin van de groeiperiode (wanneer veel P wordt opgenomen) waarschijnlijk wordt verhoogd. In 2004 zijn deze verschillen niet gevonden, maar het verschil in vernatting tussen beide percelen was toen gering en er werd geen beregening toegepast.

Water- en stoffenbalansen

De water- en stoffenbalansen laten op jaarbasis grote onzekerheden zien. De maximale fout van de waterbalans ligt in de orde van grootte van 130 mm. Voor de stikstofbalans is de maximale fout in de orde van grootte van 80 kg N/ha en voor de fosforbalans in de orde van grootte van 4 kg P/ha. Dit betekent dat uit de sluitposten van de balans geen kleine verschillen tussen de percelen ten gevolge van vernatting

afgeleid kunnen worden. Wel geven de balansen goed inzicht in de grootte en het belang van de verschillende posten. Vooral de onzekerheid in denitrificatie maakt het onzeker of lagere NO_3 -concentraties op grotere diepte in het grondwater het gevolg hiervan zijn of dat er door grondwaterstroming verdunning optreedt. Ook specifiek onderzoek naar denitrificatie op Vredepeel (Zwart, 2003; en van Groeningen *et al.*, 2006) heeft hier nog geen sluitend antwoord op kunnen geven. Wel is het duidelijk dat voor het begrijpen van de nutriëntenbalansen een nauwkeurige waterbalans noodzakelijk is.

Fosfaatuitspoeling

De percelen 38 (hoog peil) en 39 (normaal peil) zijn in de bouwvoor (0-30 cm diepte) fosfaatverzadigd, maar op grotere diepte (nog) niet. Fosfaat dat uit de bovengrond naar grotere diepten wordt getransporteerd, wordt daar weer vastgelegd. Dit is consistent met de lage $\text{PO}_4\text{-P}$ -concentraties die in het drainagewater van perceel 39 (normaal peil) zijn gemeten. Het infiltrerende slootwater in perceel 38 (hoog peil) zorgt er wel voor dat daar $\text{PO}_4\text{-P}$ -concentraties in het grondwater hoger worden, maar de verwachting is dat deze P vervolgens weer wordt vastgelegd.

Nitraatuitspoeling

De geschatte stikstofverliezen naar grond- en oppervlaktewater zijn aanzienlijk en variëren voor aardappel in 2003 van 105 kg N/ha voor perceel 39 (normaal peil) tot 141 kg N/ha voor perceel 38 (hoog peil). Voor maïs in 2004 tussen 28 kg N/ha voor perceel 38 (hoog peil) tot 43 kg N/ha voor perceel 38 (normaal peil). Deze schattingen zijn echter erg onzeker, gezien de grote onzekerheden in de stikstofbalansberekeningen. Op perceel 39 (normaal peil) liggen gemeten NO_3 -concentraties in grond- en drainagewater rond de 100 mg NO_3/l ; een factor 2 boven de EU-norm van 50 mg NO_3/l . Op perceel 38 (hoog peil) wordt het stikstofoverschot sterk verdund met relatief schoon infiltratiewater waardoor de geschatte NO_3 -concentraties variëren tussen de 50-100 mg NO_3/l , de enkele grondwatermetingen geven echter concentraties rond de 100 mg NO_3/l aan.

Literatuur

- Alblas, J., Verstegen, H.A.G., Weijers, G. (2003). Verslag peilverhoging. PPO Projectrapport 5123216, Lelystad.
- Beek, J. and W.H. van Riemsdijk, 1979. Interaction of orthophosphate ions with soil. In: G.H. Bolt (ed.) Soil chemistry. B. Physico-chemical models. Elsevier Amsterdam. pp. 259-284.
- Boland, D., J.A. Bleumink, Th. Vellinga en J.G. Kroes, 2000. Omgaan met vernatting. CLM publicatie 451-2000. Elinkwijk b.v., Utrecht.
- Bruin, H.A.R. de, 1987. From Penman to Makkink. In: J.C. Hooghart (Ed.), Evaporation and Weather: Technical Meeting 44, Ede, The Netherlands, 25 March 1987. Proceedings and Information / TNO Committee on Hydrological Research; No. 39, pp. 5-31.
- Clevering, O.A., J. Alblas, G. Weijers, H.A.G. Verstegen en M.M. van der Werff, 2006. Agronomische gevolgen van peilverhoging. Resultaten van vijf jaar praktijkonderzoek (2000-2004) naar de gevolgen van peilverhoging voor beregenen, nutriëntenbeschikbaarheid en gewasopbrengsten in de akkerbouw. PPO-rapport 510183, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lelystad.
- Feddes, R.A., 1987. Crop factors in relation to Makkink reference crop evaporation. In: J.C. Hooghart (Ed.), Evaporation and Weather: Technical Meeting 44, Ede, The Netherlands, 25 March 1987. Proceedings and Information / TNO Committee on Hydrological Research; No. 39, pp. 33-45.
- Groenendijk, P. en F.J.E. van der Bolt, 1996. Nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater in de stroomgebieden van de Beerze, de Reusel en de Rosep. Effecten van waterhuishoudkundige ingrepen. DLO-Staring Centrum, Wageningen, Rapport 306.4.
- Groenigen, J.W. van, C. van Kessel, C., K.B. Zwart, J.A. de Vos, and G.L. Velthof, 2006. Two-year recovery and nitrate leaching of 15N labeled fertilizer on a sandy potato field. Nutr. Cycl. Agroecosyst. (in prep.).
- Heinen, M., K. Zwart en E.W.J. Hummelink. 2005. Calibratie van de reductiefuncties in een eenvoudig denitrificatiemodel. Alterra-rapport 1216. Alterra, Wageningen. 33 p.
- Hoek, K.W. van der, 2002. Uitgangspunten voor de mest- en ammoniakberekeningen 1997 tot en met 1999 zoals gebruikt in de Milieubalans 1999 en 2000. RIVM-rapport 773004012, Bilthoven.
- Oenema, O. and M. Heinen, 1999. Uncertainties in nutrient budgets due to biases and errors. In: E.M.A. Smaling, O. Oenema and L.O. Fresco (Eds.), Nutrient disequilibria in agroecosystems. Concepts and case studies. CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 75-97.
- Makkink, G.F., 1957. Testing the Penman formula by means of lysimeters. Journ. Inst. of Water Eng. 11: 277-288.
- Massop, H.T.L., Bakel, P.J.T. van, Kroon, T., Kroes, J.G., Tiktak, A., en W. Werkman, 2005. Op zoek naar de "ware" neerslag en verdamping; toetsing van de met het STONE 2.1-instrumentarium berekende verdamping aan literatuurgegevens en aan regionale waterbalansen, en de gevoeligheid van het

- neerslagoverschot op de uitspoeling van nutriënten. Alterra-rapport 1158, reeks Milieu en Landelijk Gebied.
- Moore, P.A. and K.R. Reddy, 1994. Role of Eh and pH on phosphorus geochemistry in sediments of Lake Okeechobee, Florida. *Journal of Environmental Quality* 23: 955-964.
- Ponnamperuma, F.N., 1972. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy* 24: 29-95.
- PPO, 2003. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. PPO 307. Lelystad
- Rijn, van B.W.F., 2004. Hydrologische en milieukundige gevolgen bij vernatting van landbouwgronden. *Afstudeerscriptie Hogeschool INHOLLAND Alkmaar.*
- Reddy, K.R. and W.H. Patrick Jr., 1984. Nitrogen transformations and loss in flooded soils and sediments-review. *CRC Critical Reviews in Environmental Control*. 13 (4): 273-309.
- Schaffers, A.P., 2000. In situ annual nitrogen mineralization predicted by simple soil properties and short-period field incubation. *Plant and Soil* 221: 205-219.
- Scalenghe, R., A.C. Edwards, F. Ajmone Marsan and E. Barberis, 2002. The effects of reducing conditions on the solubility of phosphorus in a diverse range of European agricultural soil. *European Journal of Soil Science*, 53: 439-447.
- Schoumans, O.F. and L. Köhler, 1997. Invloed van veroudering van ijzerhydroxide en anaerobe omstandigheden op de fosfaatconcentratie in fosfaatverzadigde lagen. *DLO-Staring Centrum rapport 508, Wageningen*
- Schoumans, O.F., A. Breeuwsma, A. El Bachrioui-Louwerse en R. Zwijnen, 1991. De relatie tussen de bodemvruchtbaarheidsparameters Pw- en P-Al-getal en fosfaatverzadiging bij zandgronden. *SC-rapport 112. Staring Centrum Wageningen.*
- Schoumans, O.F., L. Renaud, H.P. Oosterom en P. Groenendijk, 2004. Lot van het fosfaatoverschot. *Alterra-rapport 730.5, Wageningen.*
- Sival, F.P., P.C. Jansen, B.S.J. Nijhof en A.H. Heidema, 2002. Overstroming en vegetatie: Literatuurstudie over de effecten van overstroming op zuurgraad en voedselrijkdom. *Alterra rapport 335, Wageningen.*
- Smit, A. en K.B. Zwart, 2003. Stikstofstromen op de kernbedrijven Meterik en Vredepeel; mineralisatie van bodem en gewasresten. *Plant Research International, Telen met toekomst-rapport OVO304.*
- Stuyt, L.C.P.M., F.J.E. van der Bolt, C.H.M. de Bont, N.W. van den Brink, I. Immink J.E. Groenenberg, L.W.G. Higler, W.C. Knol, J.Kros, A.J.M. Koomen, G.J. Maas, A. Makaske, J. Runhaar en F.P. Sival, 2001. Effecten van overstromingen op LNC-waarden, landbouw, natuur en Milieu. In: den Heyer F., A. van der Veen, L. Stuyt, A.C.W.M. Vrouwenvelder, A.B.M. Stax, M. de Muinck Keizer, B. Jonkman, Ch. Vlek en P.H. Waarts (Eds). *Wat als we nat gaan, een beschouwing van de stand van zaken. Delft Cluster.*
- Vierde Nota waterhuishouding regeringsbeslissing, 1998. Ministerie V en W.
- Vos, J.A. de, D.H.R. Hesterberg and P.A.C Raats, 2000. Nitrate leaching in a tile-drained silt loam soil, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64: 517-527.
- Vos, J.A. de, 2001. Monitoring nitrate leaching from submerged drains. *J. Environm. Qual.* 30:1092-1096.

- Vos, J.A. de, O.A. Clevering, F.P. Sival, J. Alblas, N. Reijers en H. van Reuler, 2003. De invloed van de waterhuishouding op stikstof- en fosfaatverliezen in open teelten. Alterra-rapport 596, Wageningen.
- Vos, J.A. de, E.W.J. Hummelink en T.S. van Steenberg, 2003. Waterretentie en waterdoorlatendheidskarakteristieken van TmT-proefvelden. TmT publicatie nr. 8.
- Vos, J.A. de en F.B.T. Assinck, 2004. Nitraatuitspoeling Vredepeel 2002-2003. Telen met Toekomst-rapport OV 0406, 2004. Plant Research International, Wageningen.
- Vos, J.A. de, O.A. Clevering en F.P. Sival, 2006. Stikstof- en fosfaatverliezen naar grond- en oppervlaktewater bij vernatting van landbouwgronden. Alterra-rapport, Wageningen (in voorbereiding).
- Wienk, L.D., J.T.A. Verhoeven, H. Coops en R. Portielje, 2000. Peilbeheer en nutriënten. RIZA rapport 2000-012, Lelystad.
- Young, E.O. and D.S. Ross, 2001. Phosphate release from seasonally flooded soils: a laboratory microcosm study. *Journal of Environmental Quality* 30: 91-101.
- Zwart, K.B., 2003. Denitrificatie in de bouwvoor en de ondergrond; resultaten van metingen in 13 profielen tot 2 m diep. Alterra-rapport 724.

Bijlage 1 Teeltgegevens 2003

Consumptie aardappelen (Astrix) 2003

Activiteit		Datum
Teelttechnisch		
Ploegen: woelen + vorenpakker		2 apr
Poten: 2650 kg/ha		17 apr
Aanaarden		29 apr
Opkomst		19 mei
Oogst		9 okt
Bemesting Hoofdproefveld		
VDM 25m ³		13 mrt
<i>totaal-N</i>	184 kg/ha	
<i>P₂O₅</i>	115 kg/ha	13 mrt
<i>K₂O</i>	192 kg/ha	13 mrt
Kunstmest		
<i>K60</i>	90 kg K20 ha	17 mrt
<i>KAS</i>	40 N kg/ha	5 mei
<i>KAS</i>	30 N kg/ha	13 jun
Onkruidbestrijding		
Chemisch: 0,3 kg/ha Sencor en 1,5 l/ha Linuron		2 mei
Chemisch: 0,1 kg/ha Sencor en 0,5 l/ha Codacide		15 mei
Beregenen normaal peil		
25 mm		22jun,25jul,4aug,13aug,23aug
30 mm		16 jul
Beregenen hoog peil		
25 mm		8 aug, 23 aug
30 mm		19 jul

Teeltgegevens 2004

Snijmais (Tripoli) 2004.

Activiteit		Datum
Teelttechnisch		
Ploegen: woelen + vorenpakker		29 apr
Zaaien		3 mei
Opkomst		18 mei
Oogst		25 sept
Bemesting Hoofdproefveld		
RDM 50m ³		20 apr
<i>totaal-N</i>	175 N kg/ha	
Bekalking 3000kg/ha Dolokal		1 mrt
Boriumbemesting 3000kg/ha		16 mrt
Onkruidbestrijding		
Chemisch: 0.5 Mikado + 0.7 Dual Gold + 0.2 l/ha Banvel		2 jun
Chemisch: 1 Terbutylazin + 2 Codacide		14 jun
beregening normaal peil		-
beregening hoog peil		-

Bijlage 2 Bodemprofielbeschrijvingen Vredepeel

Bodemprofielbeschrijving Vredepeel. perceel 39 (normaal)

Datum	19/06/2005	Grondgebruik	AB				
Project	Vernatting	Bewortelbare diepte	65				
Plaats	Vredepeel	GHG/GLG (Gt)	45/150				
	(Vlo)						
Perceel	39 (normaal)	Punt/vlakcode	2r 432/ Hn53				
Coördinaten	394.906/186.751	Grondsoort	Veldpodzolgrond				
Horizont	Diepte (cm)	Org.Stof (%)	Mediaan <2 <50 M50	Kalk	Rijping	Geolog. Formatie	Opmerking
1Ap	0 - 25	4.5	13 175			411	
1AE	25 - 35	1.0	10 175			411	uitgehoogd
1Bhe	35 - 50	2.5	10 170			411	kazig d.bruin
1BCe	50 - 95	0.3	12 170			411	
1Cu	95 - 130		14 190			413	gelaagd
1Cgr	130 - 150		14 190			413	
1Cr	150 - 180		12 190			413	

Bodemprofielbeschrijving Vredepeel. perceel 39 (normaal)

Datum	19/06/2005	Grondgebruik	AB				
Project	Vernatting	Bewortelbare diepte	60				
Plaats	Vredepeel	GHG/GLG (Gt)	65/160				
	(Vlo)						
Perceel	39 (normaal)	Punt/vlakcode	2r 432/ Hn53				
Coördinaten	394.978/186.769	Grondsoort	Veldpodzolgrond				
Horizont	Diepte (cm)	Org.Stof (%)	Mediaan <2 <50 M50	Kalk	Rijping	Geolog. Formatie	Opmerking
1Ap	0 - 30	4.5	15 170			411	
1Bhe	30 - 40	2.5	12 170			411	
1BCe	40 - 55	1.5	10 170			411	
1Ce	55 - 110		10 175			411	
1Cu	110 - 160		12 175			411	
1Cr	160 - 180		14 190			413	

Bodemprofielbeschrijving Vredepeel. perceel 38 (hoog)

Datum	19/06/2005	Grondgebruik	AB
Project	Vernatting	Bewortelbare diepte	35
Plaats (Vlo)	Vredepeel	GHG/GLG (Gt)	40/130
Perceel	38 (hoog)	Punt/vlakcode	4i 432/ tZn53
Coördinaten	395.007/186.810	Grondsoort	Gooreerdgrond

Horizont	Diepte (cm)	Org.Stof (%)	Mediaan <2 <50 M50	Kalk	Rijping	Geolog. Formatie	Opmerking
1Ap	0 - 30	4.5	12 170			411	
1Ce	30 - 50		10 175			411	
1Cu	50 - 100		10 175			411	
1Cgr	100 - 130		8 185			413	glimmers
1Cr	130 - 180		8 185			413	glimmers

Bodemprofielbeschrijving Vredepeel. perceel 38 (hoog)

Datum	19/06/2005	Grondgebruik	AB
Project	Vernatting	Bewortelbare diepte	50
Plaats (Vlo)	Vredepeel	GHG/GLG (Gt)	70/160
Perceel	38 (hoog)	Punt/vlakcode	2r 432/ Hn53
Coördinaten	394.930/186.815	Grondsoort	Veldpodzolgrond

Horizont	Diepte (cm)	Org.Stof (%)	Mediaan <2 <50 M50	Kalk	Rijping	Geolog. Formatie	Opmerking
1Ap	0 - 25	4.0	12 160			411	
1Bhe	25 - 35	3.0	10 160			411	
1BCe	35 - 45	1.0	10 170			411	
1Ce	45 - 75		10 175			411	
1Cu	75 - 160		12 190			413	gelaagd
1Cr	160 - 180		12 190			413	

Bijlage 3 Drainbemonsteringssysteem

Inleiding

Bij de het functioneren van de drains in de proefvelden te Vredepeel hebben we te maken met drie situaties. In de eerste situatie (1) staat het slootwater niveau onder de uitlaat van de drain. De drain kan water vrij afwateren op de sloot. In de tweede situatie (2) staat het slootwater boven de drain, bijvoorbeeld door bewust het slootwaterpeil te verhogen, maar bij een groot neerslagoverschot kan de drain nog steeds water afvoeren naar de sloot omdat de stijghoogte in de drain groter is dan die van de sloot ($H_{\text{drain}} > H_{\text{sloot}}$). In een derde situatie (3) staat het slootwater ook boven de drain en vindt er stroming plaats van de sloot naar de drain ("sub-infiltratie"). In deze situatie (3) is de stijghoogte in de sloot groter dan die in de drain ($H_{\text{sloot}} > H_{\text{drain}}$). In alle drie de situaties willen we in staat zijn met een drainbemonsteringssysteem continu de hoeveelheid, flux en samenstelling van het getransporteerde water te meten. We kunnen dan vaststellen hoeveel water en nutriënten er via de drain getransporteerd zijn. Bij de meting willen we de natuurlijke omstandigheden die zouden optreden als er geen meetapparatuur was geplaatst zo goed mogelijk benaderen (= geen invloed van het meetsysteem). Dit houdt in dat het drainwater dat we willen meten dezelfde tegendruk van het slootwater moet "ervaren" en dat we geen extra stromingsweerstand in het systeem mogen introduceren.

Bij het ontwerpen van het meetsysteem gaan we van de volgende uitgangspunten uit:

- a) Dimensionering: 1 drain voert water af van een bodemoppervlakte van 1150 m² (lengte perceel 230 m, drains om de 5 m). We verwachten een maximale piekafvoer van de drains van 50 mm/d en zullen voor de zekerheid een factor 2 speling houden: maximale flux = 100 mm/d.
- b) Per 5 mm afvoer van de drain willen we een flow-proportioneel drainmonster hebben, waarin we de samenstelling van het drainewater later in het lab kunnen meten.
- c) Het gehele systeem is geautomatiseerd en alle tijdstippen van bemonstering en fluxen worden geregistreerd.

Ontwerp

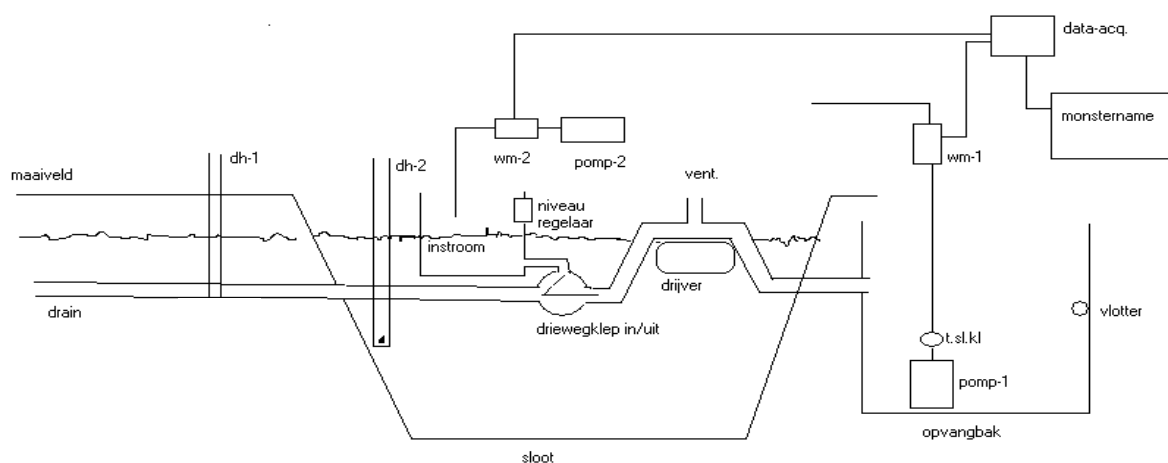
Bij het ontwerp maken we onderscheid tussen situaties (1 en 2) "drainage" en situatie "3" sub-infiltratie (zie Figuur B3.1).

1. Situaties 1 en 2 "Drainage". Water uit de drain loopt via het drijversysteem in een opvangbak.
Het drijversysteem zorgt ervoor dat in de te meten drain(s) dezelfde tegendruk heerst als in een natuurlijke situatie. Als de opvangbak vol is wordt het water door pomp-1 weggepompt en de hoeveelheid gemeten door een elektronische watermeter (wm-1). Na een 1 mm afvoer wordt door het monsternameapparaat een monster uit de drain genomen en wordt 100 ml water in een monsterflesje gepompt. Na 5 mm afvoer is 5 maal bemonsterd;

en ontstaat een mengmonster van 500 ml. Daarna schakelt de bemonsteraar door naar het volgende flesje.

2. In situatie 3 “Sub-infiltratie” komt het niveau in de sloot dermate hoog dat er via de drain infiltratie plaatsvindt, dit wordt ook door het systeem gemeten. Door stijghoogtemeters dh-1 en dh-2 wordt gemeten of de stijghoogte in de sloot groter is dan de stijghoogte in de drain. Indien dit het geval is ($H_{\text{sloot}} > H_{\text{drain}}$) wordt er water in de instroombak gepompt tot deze hetzelfde niveau heeft als de sloot, de hoeveelheid water wordt gemeten door watermeter wm-2. Het niveau in de instroombak wordt geregeld t.o.v. het slootniveau met een niveauregelaar. Door de driewegklep om te zetten van “drainage” naar “infiltratie” zal het water de drain instromen. Na een 1 mm water zal er door het monsternamen-apparaat een monster worden genomen uit de instroombak (=slootwater), en vervolgens volgens bovenstaande (ad 1) een mengmonster worden gemaakt van 5 mm infiltratiewater.
3. We gaan er vanuit dat we een drain bemonsteren (lengte perceel 230 mtr, drains om de 5 m); dit houdt in dat 1 mm afvoer overeenkomt met $1150 \text{ m}^2 * 1 \text{ mm} = 1,15 \text{ m}^3$ water = 1150 liter. Als we elke 1 mm willen bemonsteren, houdt dit in na elke 1150 liter water er een submonster moet worden genomen. We gaan er vanuit dat tijdens het bemonsteren van het water het pompen van (pomp 1 gewoon door kan gaan). Pomp 1 heeft een pompcapaciteit van minimaal 100 mm/dag = $100 * 1150$ liter /dag = 115 000 liter /dag = $115000 / (24 * 60) = 80$ liter / minuut = 1,3 liter /seconde. Pomp 2 wordt hetzelfde gekozen i.v.m. uitwisselbaarheid. Watermeters (wm-1 en wm-2) zijn gelijk en moeten in staat zijn een maximaal debiet van 1,3 liter per seconde te meten. Pomp1- en -2 zullen altijd op maximaal debiet draaien, wat betekent dat bij lage fluxen uit de drain de pomp soms een tijdje uitstaat en dan weer aanslaat als op de opvangbak vol is. Om te zorgen dat de pomp niet steeds aan- en uitslaat heeft het de voorkeur om het volume van de opvangbak 1 zo groot te kiezen dat de pomp er enkele tientallen seconden over doet om de bak te legen, stel 60 seconden; het volume van $V1 = 78$ liter.
4. Problemen kunnen optreden als er een situatie ontstaat waarbij er nauwelijks drainage of infiltratie is. Het risico bestaat dan dat de bemonstering gaat oscilleren tussen drainage en infiltratie. Ook ontstaan afwijkingen in het volume van het laatste monsterflesje, omdat bij een overgang van infiltratie naar drainage op een ander flesje wordt overgeschakeld. Om dit soort problemen te minimaliseren moet er een soort traagheid ingebouwd worden; bijvoorbeeld dat de driewegklep (Klep 1) pas omschakelt als gedurende 15 minuten (gemiddelde waarden) het drukverschil tussen slootwater en drainwater meer dan 1 cm bedraagt t.o.v. de evenwichtsituatie (0 cm, geen drukverschil).

5. De diameter van leiding achter de drain zijn groter of gelijk aan die van de drain om zo extra weerstand te voorkomen.
6. Bij meting van stijghoogte in de sloot en in de drain dient rekening gehouden te worden met stroming, windeffecten etc. De meting dient door een filter of andere bescherming tegen grote fluctuaties te worden beschermd. Metingen van deze drukken gemiddeld over een 1-minuut worden opgeslagen in de datalogger.
7. Het is van groot belang om een robuust software programma en bemonsteringsapparaat te hebben, zodat na eventuele technische problemen de opstart en het herkennen van de monsterflesjes eenvoudig is.
8. Van cruciale onderdelen van het meetsysteem wordt minimaal 1 extra exemplaar aangeschaft om onderhoud en uitwisseling mogelijk te maken.



dh-1 meet de stijghoogte in de drain!!
 dh-2 meet de stijghoogte in de sloot.

Figuur B3.1 Schematische weergave van het drainbemonsteringsstelsel

Bijlage 4 Fosfaatverzadigingsgraad

Een bodem is fosfaatverzadigd als de fosfaatverzadigingsgraad hoger is dan 25% (Schoumans *et al.*, 1991). De fosfaatvoorraad in de bodem, mede in relatie tot de capaciteit van de bodem om fosfaat te binden, is in belangrijke mate sturend voor de minerale fosfaatuitspoeling, en is daardoor redelijk gecorreleerd met de mate van fosfaatverzadiging van de bovengrond van de bodem (Schoumans *et al.*, 2004).

Een bodem is fosfaatverzadigd als het gemiddelde fosfaatgehalte vanaf het maaiveld tot aan de GHG groter is dan 25% van het FBV van de bodem berekend vanaf het maaiveld tot aan de GHG:

$$FVG = P_{act,GHG} / FBV_{GHG} * 100 (\%) \quad (1)$$

met $P_{act,GHG}$ = actuele fosfaatgehalte (kg P₂O₅/ha)
FBV = Fosfaatbindend vermogen ((kg P₂O₅/ha)

Fosfaatbindend vermogen (FBV), uitgedrukt in mmol per kg wordt geschat op basis van het oxalaat extraheerbaar Al en Fe;

$$FBV = 0.5 (Al_{ox} + Fe_{ox}) \quad (2)$$

Fosfaatbezettingsfractie (FBF) is gedefinieerd als:

$$FBF = P_{ox} / (Al_{ox} + Fe_{ox}) \quad (3)$$

Uit de formules 1, 2 en 3 kan de relatie tussen FBF en FVG afgeleid worden en is:

$$FVG = 200 * FBF (\%)$$

Fosfaatverzadigde gronden zijn gedefinieerd via de FBF formule (3)

Bijlage 5 Bodemchemische karakteristieken

Tabel B5.1 Bodemkarakteristieken gemeten op de Vredepeel op 19 november 2003

Perceel	Peil	Laag	pH-KCl	pH-CaCl2	Org. stof	N-totaal	P-totaal	K	Al-ox	Fe-ox	P-ox	P/(Al+Fe)	FVG	Pw	P-Al	K	Kalk
		cm			%	g/kg	mg/kg	mgK/kg	mmol/kg	mmol/kg	mmol/kg		mg	mgP2O5/l	mgK2O/100g	%	
38 Hoog		0-10	5.8	5.7	4.2	1.0	401	99	46.4	8.2	13.5	0.2	49	61	68	15	< 0.1
38 Hoog		10-20	5.8	5.8	4.8	1.0	452	74	50.9	7.0	16.2	0.3	56	73	72	10	0.1
38 Hoog		20-30	5.9	5.8	4.8	1.0	425	48	53.0	6.5	15.5	0.3	52	65	74	7	0.1
38 Hoog		30-40	5.5	5.5	3.7	0.8	278	29	52.0	4.3	9.5	0.2	34	36	43	6	0.2
38 Hoog		40-50	5.0	5.1	1.7	0.3	86	21	39.9	1.7	2.9	0.1	14	10	13	5	< 0.1
38 Hoog		50-60	4.7	4.9	0.9	0.1	47	17	31.9	1.3	1.1	0.0	7	4	5	4	< 0.1
38 Hoog		60-70	4.7	4.8	0.7	0.1	34	16	28.7	1.2	0.9	0.0	6	4	3	4	< 0.1
38 Hoog		70-80	4.7	4.9	0.6	0.1	35	15	27.4	1.2	0.7	0.0	5	4	2	4	0.1
38 Hoog		80-90	4.7	4.9	0.5	0.0	25	15	25.0	1.2	0.6	0.0	4	4	2	6	0.1
38 Hoog		90-100	4.7	4.9	0.5	0.0	20	16	23.3	1.3	0.5	0.0	4	4	1	6	< 0.1
39 Normaal		0-10	5.7	5.6	4.2	1.1	426	96	49.7	7.9	14.8	0.3	51	60	60	13	< 0.1
39 Normaal		10-20	5.7	5.6	4.6	1.2	480	90	54.9	8.4	16.1	0.3	51	63	71	12	< 0.1
39 Normaal		20-30	5.6	5.6	4.7	1.3	523	62	59.0	8.5	16.2	0.2	48	66	67	8	0.1
39 Normaal		30-40	5.3	5.4	4.5	1.1	368	38	66.0	6.5	11.3	0.2	31	37	43	9	0.1
39 Normaal		40-50	5.0	5.1	2.5	0.6	149	27	52.8	3.6	4.7	0.1	17	12	16	5	0.1
39 Normaal		50-60	4.7	4.9	1.4	0.2	51	21	10.0	0.7	0.8	0.1	16	4	4	6	0.1
39 Normaal		60-70	4.6	4.8	0.9	0.1	30	18	23.2	1.6	0.7	0.0	6	4	2	5	< 0.1
39 Normaal		70-80	4.6	4.7	0.7	0.1	29	15	22.8	1.7	0.6	0.0	5	4	1	4	< 0.1
39 Normaal		80-90	4.6	4.6	0.7	0.1	33	16	20.7	1.3	0.5	0.0	5	4	1	4	0.3
39 Normaal		90-100	4.6	4.8	0.7	0.1	23	17	17.5	1.0	0.4	0.0	4	4	4	4	0.2

Tabel B5.2 Bodemkarakteristieken gemeten op de Vredepeel op 19 november 2003

Perceel	Peil	Laag cm	Organische stof %	P-totaal mg/kg	Pw mg P2O5/l	P-AI mgP2O5/100g	Pverz ¹	FVG ² %
38	Hoog	0-10	4.2	401	61	68	0.2	49
38	Hoog	10-20	4.8	452	73	72	0.3	56
38	Hoog	20-30	4.8	425	65	74	0.3	52
38	Hoog	30-40	3.7	278	36	43	0.2	34
38	Hoog	40-50	1.7	86	10	13	0.1	14
38	Hoog	50-60	0.9	47	4	5	0.0	7
38	Hoog	60-70	0.7	34	4	3	0.0	6
38	Hoog	70-80	0.6	35	4	2	0.0	5
38	Hoog	80-90	0.5	25	4	2	0.0	4
38	Hoog	90-100	0.5	20	4	1	0.0	4
39	Normaal	0-10	4.2	426	60	60	0.3	51
39	Normaal	10-20	4.6	480	63	71	0.3	51
39	Normaal	20-30	4.7	523	66	67	0.2	48
39	Normaal	30-40	4.5	368	37	43	0.2	31
39	Normaal	40-50	2.5	149	12	16	0.1	17
39	Normaal	50-60	1.4	51	4	4	0.1	16
39	Normaal	60-70	0.9	30	4	2	0.0	6
39	Normaal	70-80	0.7	29	4	1	0.0	5
39	Normaal	80-90	0.7	33	4	1	0.0	5
39	Normaal	90-100	0.7	23	4	4	0.0	4

¹ berekend volgens P-ox/(Al-ox+Fe-ox)

² berekend volgens P-ox/(0.5*(Al-ox+Fe-ox))