

Animal Sciences Group

Divisie Veehouderij, kennispartner voor de toekomst



process for progress

Rapport 68

Effecten van fosfaat en stikstofoverschotten op grasland II

September 2007



ANIMAL SCIENCES GROUP
WAGENINGEN UR

Colofon

Uitgever

Animal Sciences Group van Wageningen UR
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail Info.veehouderij.ASG@wur.nl
Internet <http://www.asg.wur.nl>

Redactie

Communication Services

Aansprakelijkheid

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

Liability

Animal Sciences Group does not accept any liability for damages, if any, arising from the use of the results of this study or the application of the recommendations.

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponereerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

Field trials were performed on grazing pastures at 4 different locations research to examine the agricultural and environmental implications of 2 levels of surplus N and 3 levels of surplus phosphates (P_2O_5). After eight years (1997-2004) a significant effect was found of surplus phosphate on the Phosphorus levels in grass at two locations. A surplus of $40 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$ provided a P level 14% higher than by a neutral level of $0 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$. The effect of P_2O_5 on dry matter yield was slight (3,5 % higher at $40 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$ than at $0 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$). The Phosphorus condition of the soil (Pw-unit, PAL-unit, P-ox, P-tot) displayed large between-year variation and generally declined significantly at the lowest level of P_2O_5 surplus ($0 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$). This increased at the highest level ($40 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$) of P_2O_5 surplus. The mechanistic model ANIMO was calibrated using the results measured in the field trials. Generally speaking, the model provided a reasonable estimate of the concentrations measured, amount of leaching and PW-units. However, there is a hint of overestimation of the changes in P-conditions at higher levels of surplus P_2O_5 .

Keywords: surplus nitrogen, surplus phosphates, pasture, phosphate fertilizer, yield, grazing, nitrogen, phosphate, phosphorus condition, Pw-units, PAL-units, P-ox, P-total, phosphate saturation degree, leaching, mechanistic model, validation, ANIMO

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteur(s): J.C. van Middelkoop, C. van der Salm, P.A.I. Ehlert, G. André, D. Oudendag, M. Pleijter

Titel: Effecten van fosfaat- en stikstofoverschotten op grasland II
Rapport 68

Samenvatting

In een veldproef op beweid grasland is op 4 locaties onderzocht wat de landbouwkundige en milieukundige effecten zijn van 2 stikstof (N) overschotten en 3 fosfaat (P_2O_5) overschotten. Na acht jaar (1997-2004) was er op 2 locaties een significant effect van het P_2O_5 -overschot op het P-gehalte van het gras. Bij een overschot van $40 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$ was het P-gehalte 14 % hoger dan bij overschot $0 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$. Het P_2O_5 -effect op de drogestofopbrengst was nog gering (3,5 % hoger bij $40 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$ dan bij $0 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$). De P-toestand van de bodem (Pw-getal, PAL-getal, P-ox, P-tot) vertoonde grote jaar-tot-jaar variatie en daalde over het algemeen significant bij het laagste P_2O_5 -overschot van $0 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$ en steeg bij het hoogste overschot van $40 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$. Het mechanistisch model ANIMO is gecalibreerd op de meetresultaten. De orde van grootte van de gemeten concentraties, uitspoeling en het Pw-getal wordt door het model redelijk voorspeld. Bij hogere P_2O_5 -overschotten is echter sprake van een overschatting van de verandering in P-toestand.

Trefwoorden: stikstofoverschot, fosfaatoverschot, grasland, fosfaatbemesting, opbrengst, beweiding, stikstof, fosfaat, fosfaattoestand, Pw-getal, PAL-getal, P-ox, P-totaal, fosfaatverzadigingsgraad, uitspoeling, mechanistisch model, validatie, ANIMO



Rapport 68

Effecten van fosfaat- en stikstofoverschotten op grasland II

Effects of phosphorus and nitrogen surpluses on grassland II

J.C. van Middelkoop

C. van der Salm

P.A.I. Ehlert

G. André

D. Oudendag

M. Pleijter

September 2007

Voorwoord

In het najaar van 1996 is het project “Effecten van verlaagde fosfaat- en stikstofoverschotten op grasland” gestart met de aanleg van een veldproef. Over de eerste periode van het onderzoek (1997 tot en met 2001) is Praktijkrapport 48 verschenen. Voor u ligt het tweede rapport uit deze serie en behandelt de proefjaren 2002 tot en met 2004.

Het niveau van de behandelingen in de proef zijn gebaseerd op het Mineralen Aangifte Systeem (MINAS) dat sinds 1998 van kracht is in Nederland. MINAS werd in 2006 vervangen door een stelsel van gebruiksnormen. In het rapport zijn de behandelingen daarom vergeleken met de voorgenomen normen voor 2009.

Het project “Effecten van verlaagde fosfaat- en stikstofoverschotten op grasland” is uitgevoerd in samenwerkingsverband tussen het Praktijkonderzoek van de Animal Sciences Group (WUR) te Lelystad en Alterra (WUR) te Wageningen. In de eerste fase was tevens het Nutriënten Management Instituut NMI te Wageningen betrokken bij het project.

Naast de auteurs van dit rapport hebben in de loop van de jaren veel mensen meegewerkt aan dit project:

- Bij de opzet van het onderzoek en de eerste proefjaren zijn Theun Vellinga (destijds PR) en Oene Oenema (destijds AB-DLO) betrokken.
- Medewerkers van de praktijkcentra Aver Heino, Cranendonck, Zegveld, de Waiboerhoeve en Praktijkonderzoek Plant en Omgeving Lelystad (PPO-AGV) en Praktijk Plant en Omgeving Vredepeel hebben zorg gedragen voor de uitvoering van de proef.
- De eerste jaren zijn de proefveden begeleid door Teun Kraak, Klaas Sikkema en Harm Everts.
- Tot 2001 is René Schils betrokken geweest bij het project als projectleider.
- Hans Zweers, Meint Vellinga en in eerdere jaren Antonie van den Toorn en Jaap Pankov (Alterra) hebben grondbemonstering en grond/bodemwaterbemonstering begeleid en uitgevoerd.

De veldproef heeft als demonstratieobject gediend bij open dagen en excursies op de Praktijkcentra en in de loop van de jaren zijn er regelmatig artikelen verschenen in Praktijkkompas en andere vakbladen. Een lijst van rapporten, publicaties en voordrachten is weergegeven in bijlage 4.

In de eerste fase van deze proef (1997 t/m 2001) is tevens aandacht geschonken aan de ruimtelijke verdeling van P_2O_5 over percelen. De resultaten van dit deelonderzoek is gerapporteerd in het verslag van de eerste fase van dit project (Van Middelkoop et al., 2004) en in een wetenschappelijke publicatie (Chardon et al., 2007).

Het project is vanaf 2002 gefinancierd door LNV vanuit kennisbasis KB4 en Programma Mest en Mineralen.

Wij bedanken René Schils voor het kritisch doornemen en becommentariëren van het concept en Vincent Hindle voor de vertaling van samenvatting naar de Engelse summary.

De auteurs

Samenvatting

Sinds 1950 is het gebruik van minerale meststoffen en krachtvoer in de Nederlandse landbouw toegenomen waardoor de melkveehouderij kon intensiveren. Een gevolg van deze intensivering is dat de aanvoer op bedrijven de afvoer ver overtreft. Een aanzienlijk deel van dit nutriëntenoverschot hoopt zich op in de bodem, daarnaast treden er verliezen op naar de lucht (stikstof) en het grondwater en oppervlaktewater (stikstof en fosfor). De overheid heeft daarom wetgeving ontwikkeld om deze verliezen te beperken. Voor stikstof betekent dit dat de hoeveelheid te gebruiken dierlijke mest en minerale meststoffen begrensd is, afhankelijk van grondsoort en gebruik. Uitleg over deze wetgeving is te vinden op de website www.hetInVloket.nl. Voor fosfaat (P_2O_5) wordt op termijn gestreefd naar evenwichtsbemesting op grasland. Dat wil zeggen dat de aanvoer met bemesting gelijk is aan de afvoer met gewas. De voorgenomen norm voor 2009 is 95 kg en voor 2015 90 P_2O_5 ha⁻¹.

Het is onzeker wat de landbouwkundige en milieukundige effecten van verlaging van stikstof- en fosfaatbemesting op lange termijn in de praktijk zijn. Uit berekeningen en proefveldgegevens uit het verleden zijn schattingen gemaakt van de gevolgen op bodemvruchtbaarheid. Om betrouwbaar vast te kunnen stellen welke effecten verlaging van stikstof- en fosfaatbemesting op grasproductie en -kwaliteit, bodemvruchtbaarheid en de landbouwkundige en milieukundige P_2O_5 -verliezen op lange termijn hebben, is veldonderzoek onder praktijkomstandigheden noodzakelijk. Daarvoor is er een veldproef aangelegd.

De proef is aangelegd op vier locaties (en drie grondsoorten): Aver Heino te Heino, Overijssel (zand), Cranendonck te Soerendonk, Noord Brabant (zand), Waiboerhoeve te Lelystad, Flevoland (jonge zeeklei) en Zegveld te Zegveld, Utrecht (veen). De behandelingen zijn fosfaatoverschotten 0, 20 en 40 kg P_2O_5 per ha per jaar (aangeduid met P00, P20 en P40). Deze fosfaatoverschotten zijn gecombineerd met twee N overschotten, 180 en 300 kg N per ha per jaar (aangeduid met N180 en N300). Op iedere locatie lagen de zes behandelingen in enkelvoud. Er is afwisselend gemaaid en beweid. Van iedere snede is de opbrengst en N- en P-gehalte van het gras bepaald. Naast minerale meststoffen is er dunne rundermest toegediend. Vooraf is de onttrekking van P_2O_5 en N ingeschat en daarop is de N- en P_2O_5 -bemesting afgestemd.

Op de proefvelden is tevens in het najaar de P-toestand (Pw-getal, PAL-getal, Pox en P-totaal) van de bovenste 30 cm (verdeeld over 0-5, 5-10, 10-20 en 20-30 cm) van het bodemprofiel bepaald.

Eveneens zijn P_2O_5 -verliezen door uit- en afspoeling gemeten.

De verkregen proefresultaten zijn tevens gebruikt om het nutriëntenuitspoelingsmodel Animo te valideren. Dit model berekent in combinatie met het hydrologisch model SWAP de nutriëntenconcentraties in het bodemwater, de uitspoeling van nutriënten naar het grond- en oppervlaktewater, de veranderingen in N- en P-gehalten in de bodemvoorraad en de gewasopbrengst.

De resultaten van 1997 tot en met 2001 zijn gerapporteerd in Praktijkrapport 48 (ASG-WUR). Dit rapport rapporteert resultaten tot en met 2004.

Resultaten en conclusies

Wanneer over de gehele proefperiode gekeken wordt (1997 tot en met 2004) zijn de gemiddelde fosfaatoverschotten over de vier locaties redelijk overeenkomstig de streefwaarde namelijk -2,5 op P00, 17,5 op P20 en 36,8 kg P_2O_5 ha⁻¹ op P40.

Gewas

Na 8 jaar is de drogestofopbrengst van de zand- en veenlocaties op P40 circa 400 kg ds ha⁻¹ jr⁻¹ hoger dan op P00, dit is ongeveer 3,5 %. Op de klei-locatie was de reactie omgekeerd dan verwacht. De drogestofopbrengst van P00 was juist 400 kg ds ha⁻¹ jr⁻¹ hoger dan van P40. Dit wordt veroorzaakt door N180-P40 object dat ieder jaar minder gras produceert dan de overige veldjes.

Er is op de zand- en veenlocaties dus een licht negatief effect op de drogestofopbrengst van fosfaatevenwichtsbemesting ten opzichte van bemesting van 40 kg P_2O_5 ha⁻¹ jr⁻¹ boven onttrekking op deze percelen met fosfaattoestand "voldoende" of hoger. Verwacht wordt dat het effect van het P-overschot op de drogestofopbrengst in de toekomst groter wordt naarmate de bodemvruchtbaarheid verder daalt.

Het effect van het P-overschot op het P-gehalte van het gras was significant op Cranendonck (zand) en op Zegveld (veen). Gemiddeld over acht jaar is het P-gehalte in het gras op deze locaties circa 0,4 g P kg⁻¹ ds hoger op het object P40 dan op het object P00. Dit is circa 14 %. Op de Waiboerhoeve en Aver Heino was er geen significant effect van fosfaatoverschot op het P-gehalte van het gras.

Het P-gehalte van het gras kwam in de gehele proef gemiddeld niet onder de richtlijn die het CVB (CVB, 2005) geeft voor het rantsoen van melkgevend koeien (3,0 tot 3,5 g P kg⁻¹ ds). In een rantsoen met een groot aandeel (kuil)gras en krachtvoer met voor dit rantsoen gangbare P-gehalten (4-5 g P kg⁻¹ product) komt de P-voorziening van melkvee niet in gevaar. In rantsoenen met (kuil)gras en snijmaïs wordt meestal aangevuld met krachtvoer met

een hoger P-gehalte om het lagere P-gehalte van snijmaïs te compenseren. Ook in een dergelijk rantsoen komt met de gemeten P-gehalten komt de P-voorziening van melkvee niet in gevaar.

Vergelijking aangelegde objecten met gebruiksnormen

Hoewel de proef aangelegd is op basis van overschotten in MINAS komt de bemesting op de lage N-trap (N180) goed overeen met de N-gebruiksnorm voor 2009, zowel voor N-werkzaam als voor N-organisch. Ook de P_2O_5 – bemesting op P00 voldoet op Aver Heino, Cranendonck en Zegveld aan de bemesting volgens de voorgenomen norm van 2015 (90 kg P_2O_5 ha⁻¹ inclusief weidemest).

Bodem

De jaar-tot-jaar variatie in de P-toestand was aanzienlijk, waardoor het na acht jaar meten nog moeilijk is om de trend in de P-toestand bij verschillende overschotten statistisch betrouwbaar aan te geven. De onderlinge verschillen tussen de behandelingen beginnen zich echter af te tekenen. De verschillen tussen de fosfaatoverschotten is meestal alleen in de laag 0-5 cm te zien en een enkele keer in de laag 5-10 cm. De aangegeven verschillen in de volgende alinea's zijn de uitkomsten van statistische analyse.

Pw-getal

Op alle locaties zijn veranderingen van het Pw-getal in de laag 0-5 cm systematisch volgens het P-overschot. In de laag 5-10 cm, 10-20 cm en 20-30 cm zijn de veranderingen op geen enkele locatie systematisch volgens de P-overschotten.

Op de beide zandlocaties, in de laag 0-5 cm daalt op P00 (evenwichtsbemesting) het Pw-getal 5 tot 10 en op P20 0 tot 8 mg P_2O_5 l⁻¹. Op P40 stijgt het Pw-getal 3 tot 8 mg P_2O_5 l⁻¹.

Op de kleigrond stijgen in 0-5 cm alle Pw-getallen: op P00 5, de P20 12 en de P40 22 mg P_2O_5 l⁻¹.

Op de veengrond dalen in 0-5 cm alle Pw-getallen: op P00 13, op P20 10 en op P40 2 mg P_2O_5 l⁻¹.

PAL-getal

Op alle locaties zijn veranderingen van het PAL-getal in de laag 0-5 cm systematisch volgens het P-overschot.

Op de beide zandlocaties, in de laag 0-5 cm, daalt het PAL-getal op P00 12 tot 14, op P20 6 tot 7 mg P_2O_5 100 g⁻¹ grond en blijft het PAL-getal op P40 gelijk. In de laag 5-10 cm daalt het PAL-getal P00 licht, blijft gelijk of daalt licht op P20 en blijft gelijk of stijgt licht op P40. In de lagen 10-30 cm is er vrijwel geen verandering in de PAL-getallen.

Op de klei- en veengrond in 0-5 cm blijft het PAL-getal op P00 gelijk, stijgt het PAL-getal op P20 met 10-11 en op P40 met 17 mg P_2O_5 100 g⁻¹ grond.

Op kleigrond stijgt het PAL-getal in 5-10 cm: op P00 met 4, op P20 met 8 en op P40 met 10 mg P_2O_5 100 g⁻¹ grond. In 10-30 cm stijgen de PAL-getallen op alle P-overschotten met 2 mg P_2O_5 100 g⁻¹ grond.

Op veengrond dalen de PAL-getallen in 5-10 cm, op P00 met 14, op P20 en P40 met 11 mg P_2O_5 100 g⁻¹ grond.

In 10-20 cm dalen de PAL-getallen op alle objecten van 6 tot 7 mg P_2O_5 100 g⁻¹ grond. In 20-30 cm veranderen de PAL-getallen niet.

P-oxalaat

Op Aver Heino daalt de P-oxalaat lichte daling in 0-5 en 5-10 cm op P00 en P20 (3 mmol P kg⁻¹ grond), in de overige lagen en op P40 is er geen verandering.

Cranendonck daalt de P-oxalaat in de laag 0-5 en 5-10 cm licht op alle objecten, circa 2 mmol P kg⁻¹ grond. In de overige lagen is er geen verandering.

Op de Waiboerhoeve is er vrijwel geen significante verandering in de objecten en lagen.

Zegveld daalt de P-oxalaat in alle lagen en op alle objecten maar de dalingen zijn niet systematisch volgens en met kleine verschillen tussen P-overschotten. De dalingen zijn circa 10 mmol P kg⁻¹ grond in 0-5 cm, circa 6 mmol P kg⁻¹ grond in 5-10 cm en circa 10 mmol P kg⁻¹ grond in 10-20 cm en 20-30 cm. Relatief zijn dit grote veranderingen. In de lagen 0-5 en 5-10 komt op zand- en kleigrond 1 eenheid overeen met 40-50 kg P_2O_5 ha⁻¹ en in lagen 10-20 en 20-30 cm met ca. 100 kg P_2O_5 ha⁻¹ en op veen respectievelijk 15 en 30 kg P_2O_5 ha⁻¹.

P-totaal

Op Cranendonck en Aver Heino verandert P-totaal in de verschillende lagen vrijwel niet.

Op Waiboerhoeve stijgt P-totaal in 0-5 cm 50 en in 5-10 cm 30 mg P_2O_5 100 g⁻¹ grond. Er is een lichte invloed van het P-overschot. In de laag 10-20 en 20-30 cm verandert P-totaal niet. Een eenheid in de laag 0-5 en 5-10 komt op klei en zand ongeveer overeen met 6 kg P_2O_5 ha⁻¹. De verandering in 0-10 cm vertegenwoordigt dus ongeveer 250 kg P_2O_5 ha⁻¹.

Op Zegveld stijgt in de laag 0-5 cm P-totaal ongeveer 70 mg P_2O_5 100 g⁻¹ grond waarbij de stijging niet systematisch volgens het P-overschot is. In de diepere lagen daalt P-totaal, eveneens niet systematisch volgens P-overschot. In 5-10 cm daalt P-totaal 60, in 10-20 cm 100 en in 20-30 cm 40 mg P_2O_5 100 g⁻¹ grond. Een

eenheid in de laag 0-5 en 5-10 komt op veen ongeveer overeen met 2 kg P_2O_5 ha⁻¹ en in 10-20 en 20-30 cm met 4 kg P_2O_5 ha⁻¹. De verandering in 0-10 cm vertegenwoordigt dus ongeveer 250 kg P_2O_5 ha⁻¹ en in 20-30 cm 500 kg P_2O_5 ha⁻¹.

P-concentraties en uitspoeling

De P-concentraties in het bodemvocht variëren sterk in de tijd waardoor zelfs op lange termijn de effecten van verschillen in bemesting moeilijk zijn aan te tonen. Uit de metingen komt echter wel naar voren dat op alle locaties de ortho-P en P-totaal concentraties in de laag van 0-5 cm hoger zijn naarmate het fosfaatoverschot hoger is. De verschillen zijn significant voor Aver Heino en in de laatste 4 jaar ook voor Cranendonck. De totale fosfaatverliezen door uitspoeling uit de bovenste 30 cm liggen tussen ruim 11 kg P_2O_5 ha⁻¹ jr⁻¹ op Aver Heino en 1 kg P_2O_5 ha⁻¹ jr⁻¹ op de Waiboerhoeve. De uitspoeling gedurende de proef was vooral afhankelijk van de (initiële) fosfaattoestand (Pw) van het diepere deel van de bouwvoor (20-30 cm) en wordt gedurende de proef nauwelijks beïnvloed door het fosfaatoverschot.

Simulaties met ANIMO

De orde van grootte van de gemeten fosfaatconcentraties in bodemvocht en grondwater en het Pw-getal konden redelijk goed met het simulatiemodel ANIMO worden gesimuleerd. Het model gaf een goede voorspelling van de gemiddelde jaarlijkse uitspoelingsfluxen op de objecten. De temporele dynamiek in de fosfaatconcentraties werd echter niet nauwkeurig door het model berekend.

De gemiddelde P-totaal concentraties worden door het model sterk onderschat. Deze discrepantie kan voor een deel te wijten zijn aan het beperkte aantal metingen van de P-totaal concentraties in het bodemvocht (3 maal per jaar). De P-totaal concentraties in het bodemvocht variëren sterk in de tijd ten gevolge van de gift met dierlijke mest waardoor het niet goed mogelijk is om op basis van slechts 3 metingen per jaar een goede jaargemiddelde concentratie te bepalen.

De verandering in het Pw-getal kon bij de lagere P overschotten meestal redelijk goed gesimuleerd worden. Bij hogere P overschotten werd op termijn de Pw overschat. In een aantal gevallen (Cranendonck en Zegveld) worden ook bij lage overschotten de Pw waarden op termijn overschat. De overschatting van de opslag van geadsorbeerd P varieert op jaarbasis in de laag van 0-10 cm van 35 kg P_2O_5 ha⁻¹ jr⁻¹ op Waiboerhoeve tot 135 kg P_2O_5 ha⁻¹ jr⁻¹ op Cranendonck. De overschatting van de opslag van geadsorbeerd P in de hele bovengrond (0-30 cm) is ongeveer 50 % lager. De gesimuleerde vastlegging van fosfaat ten gevolge van fixatie (anorganisch P) en immobilisatie in organische vorm wordt blijkbaar door het model onderschat.

Validatie van deze processen moet plaats vinden op basis van veranderingen in oxalaat extraheerbaar fosfaat en totaal P. De lange termijn verandering van deze pools is nog steeds vrij onzeker. Het is daardoor moeilijk om op basis van de analyses vast te stellen of en hoe sterk het model de vastlegging van P in organische (immobilisatie) of anorganische vorm onderschat. De extra vastlegging van P die in het veld gemeten wordt is te groot om volledig door immobilisatie te worden verklaard. Vastlegging van P in anorganische vorm (fixatie) wordt niet bevestigd door de (dalende) trend in oxalaat extraheerbaar P. Mogelijk wordt een deel van het P vastgelegd in een niet door oxalaat extraheerbare vorm. De analyse van totaal-P leveren echter geen trends op, die overeen komen met de bodembalans, zodat hierover vooralsnog geen conclusies kunnen worden getrokken.

Summary

Since 1950 the use of mineral fertilizers and concentrates in Dutch agriculture has increased, facilitating an intensification of dairying farming. As a result of intensification farm supplies far surpassed farm removal. A considerable proportion of this nutrient surplus congregates in the soil. Additional losses via the atmosphere (nitrogen), groundwater and surface water (nitrogen and phosphorus) also occur.

Therefore the government has developed legislature in an attempt to limit these losses. This means that in the case of nitrogen the amount of animal manure and mineral fertilizers is limited, according to soil type and usage. An explanation of this legislature can be found on the web at www.hetInVloket.nl.

In the case of phosphates (P_2O_5) a term has been introduced for the balanced fertilization of pasture. That is to say, that fertilizer supply should be equal to the amount removed by any crop grown on the area land in question. The accepted level for 2009 is 95 kg P_2O_5 ha⁻¹ decreasing to 90 kg P_2O_5 ha⁻¹ in 2015.

It remains uncertain what the practical agricultural and environmental consequences will be of lowering nitrogen and phosphate fertilizer levels over a longer period. Estimations have been made of the consequences for soil fertility using calculations based on data from past field trials. Field trials under practical circumstances are essential in enabling a reliable estimate of the effects of lowering nitrogen and phosphate fertilization on grass production and quality, soil fertility and agricultural and environmental losses of P_2O_5 long term. To this end a field trial was initiated at 4 locations (involving 3 different soil types): Aver Heino at Heino in the province of Overijssel (sandy soil), Cranendonck at Soerendonk, in the province of Noord Brabant (sandy soil), Waiboerhoeve at Lelystad in the province of Flevoland (young sea clay) at the experimental farm Zegveld at Zegveld in the province of Utrecht (peaty soil). The treatments involved phosphate surpluses of 0, 20 and 40 kg P_2O_5 per ha per annum (P00, P20 and P40 respectively). These phosphate surpluses were combined with two levels of nitrogen surplus, 180 and 300 kg N per ha per annum (N180 and N300 respectively). All 6 treatments were introduced at each location. The pastures were alternately mown or grazed. The N and P content in the grass was measured for each cut. Liquid cattle manure (slurry) was also applied alongside mineral fertilizers. Before the trial commenced an estimate was made of the amount of P_2O_5 and N removed and the N and P_2O_5 application was made accordingly.

Each autumn the P condition (PW-units, PAL-units, P-ox and P-total) of the trial fields were measured in the upper 30 cm (sectioned as 0-5, 5-10, 10-20 and 20-30 cm) of the soil profile.

In addition, the P_2O_5 losses due to leaching and runoff were measured.

The results obtained from the field trials were used to validate the nutrient leaching simulation model (ANIMO). This model calculates together with the hydrological model SWAP nutrient concentrations in the groundwater, leaching of nutrients to groundwater and surface water, changes in N- and P storage levels in the soil and estimates crop yields.

Praktijkrapport 48 (ASG-WUR; in Dutch) provides a resumé of the results in period 1997 through 2001. This report provides additional information through to and including 2004.

Results and conclusions

When we examine the results from the whole trial period (1997 to 2004) the average phosphate surplus for all 4 locations displays a reasonable comparison to target levels i.e: -2,5 for P00, 17,5 for P20 and 36,8 kg P_2O_5 ha⁻¹ for P40.

Crops

After 8 years the dry matter yield at the sandy and peaty soil locations for P40 is approximately 400 kg DM ha⁻¹ yr⁻¹ higher than for P00, this is about 3,5 %. At the clay soil location the reaction was directly opposite to expectation. Dry matter yield for P00 was thus 400 kg DM ha⁻¹ yr⁻¹ higher than for P40. This was caused by treatment N180-P40 that produced less grass than the other pastures.

The sandy and peaty soil locations had a slightly negative effect on dry matter yield for phosphate balanced fertilization in relation to 40 kg P_2O_5 ha⁻¹ yr⁻¹ above removal from these pastures (phosphate condition was "sufficient" or higher). It is anticipated that in future the effect of P surplus on dry matter yield shall increase as soil fertility declines.

The effect of P surplus on P content of grass was significant at the Cranendonck location (sandy soil) and at Zegveld (peaty). The eight-year average for the P content of grass at these locations was approximately 0,4 g P kg⁻¹ DM higher for P40 than P00, approximately 14 %. At the Waiboerhoeve and Aver Heino locations phosphate surplus levels had no significant effect on grass P levels.

During the whole trial average grass P levels remained above CVB guidelines (CVB, 2005) for lactating dairy cattle rations (3,0 to 3,5 g P kg⁻¹ DM). In rations containing large levels of (ensiled)grass and concentrates with normal P levels (4-5 g P kg⁻¹ product) the P supply for dairy cattle was not a problem. Rations comprising large

levels of (ensiled)grass and forage maize are often supplemented with concentrates containing higher P levels to compensate the lower P content of the maize. Here too, measured P levels do not indicate a threat to P supply for dairy cattle.

Comparison between experimental treatments and standard directives

Although the experimental design was based on MINAS surplus levels the low N fertilizer level (N180) agreed favourably with the N-directive for 2009, both for mineral and organic N. The P_2O_5 fertilizing levels for P00 at Aver Heino, Cranendonck and Zegveld are all adequate and agree with levels advised for 2015 (90 kg P_2O_5 ha⁻¹ including animal manure).

Soil

Yearly variation in P condition was considerable, therefore after eight years it was difficult to determine a statistically significant trend in P condition. However, between-treatment differences are becoming apparent. Differences between levels of phosphate surplus are apparent mainly in the 0-5 cm layer and occasionally in the 5-10 cm layer.

Differences in the results of the statistical analyses are discussed in the following paragraphs.

Pw-units

Systematic changes in PW-units were observed at all locations in the 0-5 cm layer according to levels of P surplus. However, in the 5-10 cm, 10-20 cm and 20-30 cm layers no systematic changes were observed in accordance with P surplus levels.

On the sandy soils, PW-units in the 0-5 cm layer fell by 5 to 10 for P00 (balanced fertilizing) and on P20 by 0 to 8 mg P_2O_5 l⁻¹. The PW-units for P40 rose by 3 to 8 mg P_2O_5 l⁻¹.

On clay soil in the 0-5 cm layer all Pw-units increased by 5 for P00, 12 for P20 and 22 mg P_2O_5 l⁻¹ for P40.

On peaty soil in 0-5 cm layer all Pw-units fell by 13 for P00, 10 for P20 and 2 mg P_2O_5 l⁻¹ for P40.

PAL-units

Systematic changes in PAL-units were observed at all locations in the 0-5 cm layer according to levels of P surplus.

On both locations with sandy soil, in the 0-5 cm layer the PAL-units fell by 12 to 14 for P00 and on P20 by 6 to 7 mg P_2O_5 100 g⁻¹ soil and the PAL-units for P40 remained unchanged. In the 5-10 cm layer the PAL-units fell slightly for P00, remained unchanged or fell slightly for P20 and remained unchanged or rose slightly for P40.

Almost no changes were observed in PAL-units in the 10-30 cm layer.

On clay and peaty soils the PAL-units in the 0-5 cm layer remained unchanged for P00, rose for P20 by 10-11 and for P40 by 17 mg P_2O_5 100 g⁻¹ soil.

On clay soil in the 5-10 cm layer the PAL-units rose for P00 by 4, for P20 by 8 and for P40 by 10 mg P_2O_5 100 g⁻¹ soil. In the 10-30 cm layer the PAL-units increased for all levels of P surplus by 2 mg P_2O_5 100 g⁻¹ soil.

The PAL-units in the 5-10 cm layer of the peaty soil fell for P00 by 14, for P20 and P40 by 11 mg P_2O_5 100 g⁻¹ soil. In the 10-20 cm layer the PAL-units fell for all treatments by 6 to 7 mg P_2O_5 100 g⁻¹ soil. No changes were observed in PAL-units in the 20-30 cm layer.

P-oxalate

At Aver Heino, P-oxalate fell in the 0-5 and 5-10 cm layers for P00 and P20 (3 mmol P kg⁻¹ soil), no changes were observed in the other layers and for P40.

At Cranendonck, P-oxalate fell in layers 0-5 and 5-10 cm for all treatments by approximately 2 mmol P kg⁻¹ soil. Further, no changes were observed.

Almost no changes in P-oxalate were observed at the Waiboerhoeve.

P-oxalate levels did decline slightly at Zegveld in all layers for all treatments but the decline was not systematic and differed little between P surplus levels. The decline was approximately 10 mmol P kg⁻¹ soil in the 0-5 cm layer, approximately 6 mmol P kg⁻¹ soil at 5-10 cm and approximately 10 mmol P kg⁻¹ soil at 10-20 cm and 20-30 cm. These are relatively large changes. In layers 0-5 and 5-10 on sandy and clay soils 1 unit equates to 40-50 kg P_2O_5 ha⁻¹ and in layers 10-20 and 20-30 cm with ca. 100 kg P_2O_5 ha⁻¹. On peaty soil this is 15 and 30 kg P_2O_5 ha⁻¹ respectively.

P-total

At Cranendonck and Aver Heino almost no changes were observed in P-total.

P-total levels at the Waiboerhoeve rose in the 0-5 cm layer by 50 and in the 5-10 cm layer by 30 mg P_2O_5 100 g⁻¹ soil. There was a slight influence from the P-surplus level. In the 10-20 and 20-30 cm layers P-total remained unchanged. A unit in the 0-5 and 5-10 layer on clay and Sandy soil equates to approximately 6 kg P_2O_5 ha⁻¹. Thus changes in the 0-10 cm layer represent almost 250 kg P_2O_5 ha⁻¹.

At Zegveld, P-total rose in the 0-5 cm layer 70 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ soil where the increase isn't systematic to P surplus. In the lower layers P-total declined, also not systematic to P-surplus. In the 5-10 cm layer P-total fell by 60, in the 10-20 cm layer by 100 and in the 20-30 cm layer by 40 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ soil. A unit in layers 0-5 and 5-10 equates approximately to 2 kg P₂O₅ ha⁻¹ and in layers 10-20 and 20-30 cm with 4 kg P₂O₅ ha⁻¹. Thus the changes in 0-10 cm represent approximately 250 kg P₂O₅ ha⁻¹ and in 20-30 cm 500 kg P₂O₅ ha⁻¹.

P-concentrations and leaching

P-concentrations in groundwater vary immensely over time by which the effects of fertilizing become difficult to distinguish. However, the measurements indicate that at all locations the ortho-P and P-total concentrations in the 0-5 cm layer increase as the phosphate surplus increases. These differences are significant at Aver Heino and during the last 4 years also for Cranendonck. Total phosphate loss through leaching of the uppermost 30 cm is between 11 kg P₂O₅ ha⁻¹ yr⁻¹ at Aver Heino and 1 kg P₂O₅ ha⁻¹ yr⁻¹ at the Waiboerhoeve. Leaching during the experiment was primarily dependant on (initial) phosphate status (PW) of the lower levels of the tilth (20-30 cm) and was hardly influenced by levels of phosphate surplus observed during the trial.

Simulations with ANIMO

The magnitude of the measured levels of phosphate concentrations in soil moisture and groundwater and the PW-units was reasonably estimated by the simulation model ANIMO. The model provided a good forecast of the annual leaching fluxes for each treatment. However, the model did not sufficiently predict the temporal dynamics of the phosphate concentrations.

Average P-total concentrations were strongly underestimated by the model. This discrepancy can for a large part be attributed to the limited amount of P-total measurements in soil moisture (3 per year). P-total concentrations vary considerably over time in response to levels of animal manure applications making it difficult to estimate accurately the annual average based on just three measurements per year.

Changes in PW-units were reasonably simulated at lower levels of P surplus. At higher levels of P surplus the PW-units were eventually overestimated. In some cases (Cranendonck and Zegveld) the PW-units at lower surplus levels were also eventually overestimated. Overestimation of the storage of absorbed P varied annually in the 0-10 cm layer from 35 kg P₂O₅ ha⁻¹ yr⁻¹ at the Waiboerhoeve to 135 kg P₂O₅ ha⁻¹ yr⁻¹ at Cranendonck.

Overestimation of the storage of absorbed P in the whole upper layer (0-30 cm) is approximately 50 % lower.

Apparently the model overestimates levels in simulation of the fixation of phosphate (anorganic P) and immobilisation of organic P.

Validation of these processes must be performed based on changes in oxalate extractable phosphate and total P. The long term consequences for these pools remains uncertain. Therefore it is difficult on the basis of the analysis to indicate the magnitude of overestimation of the model for the fixation of organic (immobilisation) or anorganic P. Levels of extra fixation of P measured in the field are too large to be completely accountable to immobilisation.. Fixation of anorganic P is not supported by the (declining) trend in oxalate extractable. It is possible that part of the P is fixed in a form that is non-extractable by oxalate. However, the P-total analysis does not display any trends that agree with soil balance, thus for the time being no conclusions can be made for P-total.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Proefopzet	3
	2.1 Behandelingen	3
	2.2 Proefvelden en bemesting.....	3
	2.3 Gewaswaarnemingen	5
	2.4 Bodem	5
	2.5 Fosfaatverliezen door uit- en afspoeling	5
	2.6 Statistische analyses	6
	2.7 Overige waarnemingen	7
	2.8 Chemische en fysische analysemethoden	7
	2.9 Modelberekeningen met nutriëntenmodel ANIMO	10
	2.9.1 Model parameterisatie en toepassing.....	11
3	Resultaten	12
	3.1 Overschotten en vergelijking verliesnormen met gebruiksnormen.....	12
	3.1.1 Gerealiseerde bemesting en overschot	12
	3.1.2 Gebruiksnormen.....	13
	3.2 Gewas.....	15
	3.2.1 Drogestofopbrengst.....	15
	3.2.2 N- en P-gehalten in het gras.....	17
	3.2.3 N- en P ₂ O ₅ -opbrengsten	20
	3.2.4 Voederwaarde en minerale samenstelling	23
	3.3 Bodemvruchtbaarheid fosfaat	24
	3.3.1 Gemeten P-voorraad in de bodem.....	24
	3.3.2 Statistische analyse P-voorraad in de bodem met REML	30
	3.4 P-voorraad in de bodem op object N300-P-100	38
	3.5 Fosfaatconcentraties en uitspoelingsverliezen van fosfaat	39
	3.5.1 Fosfaatconcentraties in het bodemvocht	39
	3.5.2 Hydrologische fluxen	42
	3.5.3 Fosfaatverliezen ten gevolge van uitspoeling	49
	3.6 Modelberekeningen	51
	3.6.1 Gesimuleerde P-overschotten	51
	3.6.2 Simulatie van fosfaatconcentraties in bodemoplossingen en uitspoelingsverliezen.....	52
	3.6.3 Resultaten van de simulatie van Pw-getal	58
4	Discussie	62
	4.1 Bemesting, gerealiseerde N en P ₂ O ₅ -overschotten en gebruiksnormen	62
	4.2 Gewas.....	63
	4.3 Effect van P-overschot op bodemvruchtbaarheid	64
	4.4 Simulatie van Pw	67

5 Conclusies	70
Bijlagen	73
Bijlage 1 Graslandgebruik op de proefvelden	73
Bijlage 2 Geplande en uitgevoerde bemesting op de proefvelden.....	74
Bijlage 3 Stikstof- en fosfaataanvoer, -afvoer en -overschot	76
Bijlage 4 Rapporten, publicaties en presentaties	78
Literatuur.....	80

1 Inleiding

Probleemstelling

Sinds 1950 is het gebruik van minerale meststoffen en krachtvoer in de Nederlandse landbouw toegenomen waardoor de melkveehouderij kon intensiveren. Een gevolg van deze intensivering is dat de aanvoer op bedrijven de afvoer ver overtreft. Een aanzienlijk deel van dit nutriëntenoverschot hoopt zich op in de bodem, daarnaast treden er verliezen op naar de lucht (stikstof) en het grondwater en oppervlaktewater (stikstof en fosfor).

Om de belasting van het milieu door landbouwkundige activiteiten in Nederland te verlagen, is van 2001 tot en met 2005 het MINeralen Aangifte Systeem (MINAS) van kracht geweest. In dit systeem waren voor akkerbouw (inclusief alle open teelten) en grasland maximale stikstof- en fosfaatoverschotten toegestaan, de zogenaamde verliesnormen. In het najaar van 2003 is MINAS als sturingsinstrument echter afgekeurd door het Europese hof omdat niet voldaan werd aan de verplichtingen opgelegd door de Europese nitraatrichtlijn.

Een nieuw actieprogramma werd noodzakelijk. Dit heeft geleid tot de invoering van het stelsel van gebruiksnormen in 2006. Binnen de gebruiksnormen is het toegestaan om 170 kg stikstof (N) ha⁻¹ jr⁻¹ toe te dienen met dierlijke mest. Voor bedrijven van welke minimaal 70 % van de cultuurgrond grasland is, bestaat er de mogelijkheid om derogatie aan te vragen en is het dan toegestaan om 250 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ uit dierlijke mest toe te dienen. Naast de begrenzing van de hoeveelheid dierlijke mest is de hoeveelheid werkzame N beperkt. Hierin wordt de N uit dierlijke mest meegerekend met een wettelijk vastgestelde werkingscoëfficiënt en de rest kan aangevuld worden met kunstmest N. De hoogte van de gebruiksnorm voor werkzame N is afhankelijk van de grondsoort en het gebruik: wanneer het vee niet wordt geweid, is de gebruiksnorm hoger. De hoogte van de gebruiksnormen, de werkingscoëfficiënten en andere onderdelen van de wetgeving zijn te vinden op de website van het ministerie van LNV: www.hetInvloket.nl.

Voor fosfaat (P₂O₅) wordt op termijn gestreefd naar evenwichtsbemesting op grasland. Dat wil zeggen dat de aanvoer met bemesting gelijk is aan de afvoer met gewas. De voorgenomen norm voor 2009 is 95 kg P₂O₅ ha⁻¹. Deze norm voor 2009 en volgende jaren zal echter nog definitief vastgesteld worden.

Het is onzeker wat de landbouwkundige en milieukundige effecten van verlaging van stikstof en fosfaatbemesting op lange termijn in de praktijk zijn. De projectgroep Verliesnormen heeft in 1994 in de fosfaatdeskstudie onderzocht wat het landbouwkundig onvermijdbare P₂O₅-verlies is, nodig om de bodemvruchtbaarheid in stand te houden (Oenema & van Dijk, 1994). In deze deskstudie werd een grote bandbreedte gevonden.

Uit de berekeningen kwam dat er tussen 25 en 50 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹ nodig is om de fosfaattoestand op grasland op de waardering *voldoende* te handhaven. De milieukundig toelaatbare verliezen worden afgeleid uit normen voor de kwaliteit voor zoet stagnant oppervlaktewater (0,15 mg totaal P l⁻¹). Ruwweg zal bij uitspoeling 1 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹ en een neerslagoverschot van 300 mm ha⁻¹ jr⁻¹, het bodemvocht, dat op termijn in het oppervlaktewater terecht komt, deze fosfaatconcentratie bevatten.

In november 2000 is het rapport "Actualisering stikstof- en fosfaatdeskstudies" (Schröder & Corré, 2000) verschenen waarin de aanbeveling wordt gedaan om de lange termijn effecten van P₂O₅-verliesnormen te onderbouwen. Met behulp van simulatiemodellen heeft Alterra berekeningen uitgevoerd om de landbouwkundige en milieukundige effecten van de verliesnormen op lange termijn te voorspellen. Maar om goed vast te kunnen stellen welke effecten de verliesnormen op grasproductie, -kwaliteit, bodemvruchtbaarheid en de landbouwkundige en milieukundige P₂O₅-verliezen hebben, is veldonderzoek onder praktijkomstandigheden noodzakelijk voor een traject van verliesnormen voor N en P₂O₅ op verschillende grondsoorten. Sinds 1994 hebben ASG en NMI gezamenlijk en afzonderlijk veldproeven uitgevoerd met daarin een aantal combinaties van N- en P₂O₅-niveaus (Hoving en Schils, 2000; van Middelkoop et al., 2003a; van Middelkoop et al., 2003b; Boons-Prins et al., 2003; Schils and Snijders, 2004). Met deze proeven is nagegaan wat de interactie tussen (suboptimale) N- en P₂O₅-bemesting is. Het gras in de proeven is uitsluitend gemaaid en de bemesting is gelijkmatig (breedwerpig) over de oppervlakte verdeeld. In deze proeven waren voornamelijk objecten met alleen kunstmest opgenomen en slechts enkele objecten met dunne rundermest. Er is geen beweiding toegepast.

In najaar 1996 is om de invloed van beweiding en dierlijke mest vast te stellen door ASG, NMI en Alterra een onderzoek opgestart naar de effecten van verschillende fosfaatverliesnormen onder beweidingomstandigheden met toepassing van organische mest. Daarvoor is er een veldproef aangelegd waarin op vier locaties een drietal P₂O₅-overschotten op twee N-overschotten zijn aangelegd. Er is afwisselend gemaaid en beweid en dunne rundermest toegediend. Eveneens zijn P₂O₅-verliezen door uit- en afspoeling gemeten. De niveaus van overschot in de veldproef zijn vastgesteld op basis van de wettelijke bepalingen en de uitkomst van de eerder genoemde deskstudie in 1994 (Oenema & van Dijk, 1994).

De eerste fase van deze proef is gerapporteerd in Praktijkrapport 48 (Van Middelkoop et al., 2004).

Doel van de proef

Het doel van de proef is nagaan of de verwachte veranderingen plaatsvinden en op welke termijn deze veranderingen zich voordoen.

Hypotheses:

- Bij evenwichtsbemesting voor fosfaat zal de bodemvruchtbaarheid voor fosfaat, gemeten in Pw- en PAL-getal, dalen en op termijn stabiliseren op een lager niveau dan wanneer een positief fosfaatoverschot wordt behaald.
- Het niveau van drogestofopbrengst en het P-gehalte van het gras zal onder invloed van de lagere bodemvruchtbaarheid en bemesting dalen en, evenals de bodemvruchtbaarheid, stabiliseren op een lager niveau dan wanneer een positief fosfaatoverschot wordt behaald. Mogelijk worden andere gehalten in het gras ook beïnvloed zoals N-gehalte, Ruwe Celstof (RC), energie inhoud (VEM), Darm Verteerbaar Eiwit (DVE) en Onbestendig Eiwit Balans (OEB).
- De uit- en afspoeling van fosfaat zullen dalen en op termijn stabiliseren op een lager niveau dan wanneer een positief fosfaatoverschot wordt behaald.
- De voorraad P-totaal in de bodem zal heel licht dalen bij evenwichtsbemesting doordat er een (kleine) hoeveelheid P_2O_5 verdwijnt uit de bouwvoor door uit- en afspoeling.
- De effecten van het niveau van N- en P_2O_5 -overschot op gewas en bodemparameters interacteren met elkaar.
- De termijn waarop stabilisatie verwacht mag worden, hangt af van het initiële niveau van bodemvruchtbaarheid voor fosfaat op de proefvelden.

De termijn waarop de stabilisatie van gewas- en bodemparameters statistisch betrouwbaar vastgesteld kan worden, is naar verwachting langer omdat er variantie van de gemeten parameters zal zijn. De termijn is vooraf moeilijk in te schatten.

Om de hypothesen te toetsen worden de volgende waarnemingen en activiteiten uitgevoerd in de veldproef:

- Meten van de landbouwkundige effecten van een traject van overschotten op grasland voor stikstof en fosfaat onder praktijkomstandigheden op verschillende grondsoorten: grasproductie, - kwaliteit, bodemvruchtbaarheid en botanische samenstelling;
- Meten van ophoping en uitmijnen van fosfaatfracties in de bodem onder de regiems van de verschillende overschotten;
- Meten van de fosfaatverliezen via vastlegging in de bodem en uit- en afspoeling bij een traject van overschotten voor stikstof en fosfaat onder praktijkomstandigheden op verschillende grondsoorten.
- Vastleggen van effecten van uitmijnen op bodemparameters.

Daarnaast is het leveren van dataset t.b.v. validatie van modelinstrumenten voor berekenen van effecten van mestbeleid een doel van de proef.

2 Proefopzet

2.1 Behandelingen

In dit veldonderzoek is het effect van een reeks van drie P_2O_5 - en twee N-overschotten op perceelsniveau onderzocht. De behandelingen zijn beschreven in het eerste rapportage van dit onderzoek (van Middelkoop et al, 2004). Omdat sinds 2006 het stelsel van verliesnormen (MINAS) is vervangen door het stelsel van gebruiksnormen is het, om resultaten te vertalen naar de huidige wetgeving, noodzakelijk om de gehanteerde verliesnormen in de proef te vergelijken met de systematiek van gebruiksnormen. Dit is weergegeven in paragraaf 3.1.2. De behandelingen en na te streven overschotten veranderen echter niet om de reeks niet te onderbreken.

2.2 Proefvelden en bemesting

Vier proefvelden zijn in het najaar van 1996 aangelegd: op Aver Heino, Cranendonck (beide zandgrond), Waiboerhoeve (jonge zeeklei) en Zegveld (veengrond). Op ieder proefveld liggen zes behandelingen: fosfaatoverschotten 0, 20 en 40 kg P_2O_5 ha⁻¹ jr⁻¹, (P00, P20 en P40) op twee N-overschotten 180 en 300 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ (N180 en N300). In Praktijkrapport 48 (van Middelkoop et al., 2004) is verslag gedaan van de voorgeschiedenis van de proefvelden, de uitgangssituatie van de bodem en de aangelegde behandelingen.

Tabel 1 Aanduiding van objecten met bijbehorend gepland N- en P_2O_5 -overschot

Aanduiding	N-overschot kg ha ⁻¹ jr ⁻¹	P_2O_5 -overschot kg ha ⁻¹ jr ⁻¹
N180-P00	180	0
N180-P20	180	20
N180-P40	180	40
N300-P00	300	0
N300-P20	300	20
N300-P40	300	40
N300-P-100	300	-100

Op de eerste zes objecten in tabel 1 is afwisselend gemaaid en beweid. Op Cranendonck, de Waiboerhoeve en Zegveld zijn de eerste en vierde snede gemaaid, op de overige sneden zijn pinken ingeschaard. In enkele gevallen is wegens weersomstandigheden van dit schema afgeweken (Bijlage 1). Per proefveld zijn de sneden van alle behandelingen gelijktijdig geoogst.

Het proefveld op Aver Heino is tot en met 2001 op dezelfde manier behandeld. Vanaf 2002 is dat proefveld omgeschakeld van gangbaar (inclusief stikstofkunstmest) naar biologisch (alleen organische mest, met in de SKAL-normen toegelaten minerale meststoffen voor fosfaat en eventueel aanvullende bemesting met overige mineralen). Een verschil in N-niveau is aangelegd door het doorzaaien van klaver op de oorspronkelijke N300-objecten. De drogestofopbrengst op het hele proefveld kwam daardoor op een lager niveau. In 2002 bleek de vierde snede zodanig laat te komen, dat er met moeite voor 1 september de tweede gift met organische mest toegediend kon worden (zie bemesting). Daarom is het gebruik op de locatie Aver Heino aangepast aan een regime met maximaal vijf sneden waarvan de eerste en derde snede gemaaid worden, de overige sneden beweid. In 2002 is er op iedere locatie een extra veld aangelegd met een N-overschot van 300 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ zonder P_2O_5 -bemesting en zonder beweiding waardoor een negatief P_2O_5 -overschot ontstond. Dit overschot werd bij aanleg geraamd op minus 100 kg P_2O_5 ha⁻¹ jaar⁻¹.

Ieder beweid object bestaat uit een meetveld en een voorportaal die beide dezelfde behandeling krijgen. Voordat de pinken in het meetveld werden ingeschaard, zijn ze eerst enkele dagen op het voorportaal ingeschaard zodat de samenstelling van mest en urine zich konden aanpassen aan de samenstelling van het gras op het proefveld. Als de productie van een snede op de N300 objecten op het oog veel hoger was dan op de N180, werd voor die snede op de N180 een pink minder ingeschaard zodat de N180 en N300 gelijktijdig kaalgevreten waren en de pinken gelijktijdig uitgeschaard konden worden. Op die manier bleven het aantal beweidingdagen over het hele proefveld gelijk zodat verschillen tussen objecten niet konden ontstaan door een verschillend gebruik.

Op het extra veld heeft alleen N-bemesting met kunstmest plaatsgevonden (door N-binding door klaver op Aver Heino) en is er alleen gemaaid zodat er alleen afvoer en geen aanvoer van fosfaat plaatsvindt (uitmijning). De opbrengst van de sneden zijn op hetzelfde moment bepaald als op de overige objecten. Op dit veld is nagegaan welk effect de uitmijning van P op de verschillende P-pools in de bodem heeft.

Planning van de bemesting

De stikstof- en fosfaatbemesting waren afgestemd op het bereiken van het geplande overschot. De geplande en gerealiseerde bemesting in de eerste vijf jaar is vermeld in Praktijkrapport 48 (van Middelkoop et al., 2004). In de tweede fase, vanaf 2002, is de bemestingsstrategie enigszins aangepast (tabel 2). Alle objecten (behalve het uitmijnobject) kregen vanaf 2002 per locatie een gelijke hoeveelheid organische mest (in de eerste fase kreeg N300 meer organische mest dan N180). Op basis van eerdere analyses en de geschatte afvoer van fosfaat is per locatie zoveel organische mest gegeven, dat op het P00 object de aanvoer van P₂O₅ met dierlijke mest gelijk was aan de afvoer en er geen P₂O₅-kunstmest gegeven hoefde te worden. Op Zegveld bevatte de organische mest echter zo weinig P₂O₅ dat de hoeveelheid mest, die de afvoer kon compenseren, te groot was om correct emissie-arm toe te kunnen dienen in tweemaal. Daarom is op Zegveld op de P00 objecten fosfaatkunstmest (tripelsuperfosfaat) toegediend. Op de Waiboerhoeve bleek het verschil tussen de beide N-trappen in opbrengst zo groot, dat de N300 meer fosfaat nodig had dan de N180 om op de gemiddelde onttrekking uit te komen. Dit is opgelost door aanvulling met fosfaatkunstmest (tripelsuperfosfaat). Op de andere locaties was er gemiddeld een verschil in P₂O₅-onttrekking tussen de twee N trappen maar was het verschil zo klein, dat de extra hoeveelheid die nodig was op N300 niet nauwkeurig van te voren ingeschat kon worden (< 5 kg P₂O₅ ha⁻¹). De kans dat daarvoor overcompensatie plaatsvond was daardoor aanwezig en is er gekozen om dit verschil niet te compenseren.

De organische mest is gegeven voor de maaisneden (1^e en 4^e snede) op alle locaties behalve Aver Heino. Op de biologische locatie Aver Heino is de gift vanaf 2004 in drie delen gedeeld. Voor de 1^e, 2^e en 3^e snede werd organische mest toegediend. Voor de 1^e snede gewone dunne rundermest, voor de 2^e en 3^e snede een fractie die met een hogere N/P verhouding bevat omdat de groei in de 2^e snede erg gering was en het proefveld last kreeg van veronkruiding. Door deze mest te gebruiken kon meer N toegepast worden dan met de gewone drijfmest zonder de P-gift te verhogen.

Van de toegediende dunne rundermest zijn monsters opgestuurd naar het Agrarisch Laboratorium voor Noord Nederland (ALNN, Wergea) voor analyse op Nmin, Norg, P₂O₅ en K₂O. Analysemethoden zijn beschreven in 2.8. Voor de eerste snede zijn voor de aanvullende bemesting met kunstmest de gehalten in de dunne rundermest ingeschat. Wanneer bekend was hoeveel mineralen met dierlijke mest waren toegediend, is dit gecompenseerd in de aanvullende bemesting met kunstmest voor een volgende snede.

De werkzame hoeveelheid stikstof is berekend volgens de methode die in de bemestingsadviesbasis is beschreven: de werkzame minerale N en organische N worden apart berekend en opgeteld. Er is dus geen vaste werkingscoëfficiënt over de totale N toegepast. De objecten kregen indien nodig een aanvullende bemesting met kali, magnesium en natrium op basis van de bodemanalyse en de bemestingsadviesbasis (Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen, 2002).

Tabel 2 Geplande bemesting in 2002 t/m 2004, kunstmest en organische mest, kg ha⁻¹

Object	Aver Heino			Cranendonck			Waiboerhoeve			Zegveld		
	N180	N300	N300-P-100	N180	N300	N300-P-100	N180	N300	N300-P-100	N180	N300	N300-P-100
Kunstmest N totaal	0	0	0	156	276	350	83	237	390	144	269	350
Rdm N Werkzaam	70	70	0	72	72	0	73	73	0	70	70	0
Totaal N werkzaam	70	70	0	228	378	350	156	310	390	214	339	350
Totaal N-Totaal	140	140	0	307	427	350	227	401	390	296	417	350
Object	P00	P20	P40	P00	P20	P40	P00	P20	P40	P00	P20	P40
Kunstmest P ₂ O ₅	0	20	40	0	20	40	0	20	45	12	32	52
Rdm P ₂ O ₅	56	56	56	56	56	56	48	48	48	48	48	48
Totaal P ₂ O ₅	56	76	96	56	81	106	48	63	93	60	80	100
Object	N180	N300	N300-P-100	N180	N300	N300-P-100	N180	N300	N300-P-100	N180	N300	N300-P-100
Kunstmest K ₂ O	0	0	0	90	90	300	0	0	390	70	70	410
Rdm K ₂ O	401	401	0	210	210	0	256	256	0	232	232	0
Totaal K ₂ O	401	401	0	300	300	300	256	256	390	302	302	410

De aanvoer op de proefvelden was gelijk aan de bemesting met kunstmest en dunne rundermest. De afvoer bestond uit het gras van de maaisneden en de vastlegging in vlees door de weidende pinken. Daarvoor zijn de dieren tijdens het seizoen minimaal twee keer gewogen om de groeisnelheid per beweidingdag te schatten. De toename van het lichaamsgewicht van deze dieren is hiermee niet exact bepaald omdat tijdens wegen er geen rekening gehouden kon worden met de pensvulling. Dit geeft echter slechts een kleine fout ($<1 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$).

2.3 Gewaswaarnemingen

De methode van opbrengstbepaling van het gras staat beschreven in Praktijkrapport 48 (van Middelkoop et al., 2004). De methoden voor gewasanalyse zijn beschreven in paragraaf 2.8.

Van zowel de maai- als de weidesneden is de drogestofopbrengst bepaald. Om de drogestofopbrengst per jaar te berekenen zijn de opbrengsten van maai- en weidesneden bij elkaar opgeteld.

Van alle sneden is het N- en P-gehalte van het gras bepaald. Het gewogen gemiddelde N- en P-gehalte van het gras over het hele jaar is berekend door de N- en P-opbrengsten op jaarbasis te delen door de totale drogestofopbrengst.

Door de drogestofopbrengsten te vermenigvuldigen met het N- en $2,291 \times$ P-gehalte te vermenigvuldigen, zijn de N- en P_2O_5 -opbrengsten berekend.

2.4 Bodem

Vanaf de aanleg van het proefveld zijn er ieder najaar van ieder object bodemmonsters gestoken van verschillende lagen. Om nauwkeurig de veldgemiddelde toestand van de percelen te bepalen is elk perceel in 40 even grote rechthoeken verdeeld van circa $3,6 \times 2,5 \text{ m}$. In elke rechthoek is bij de eerste bemonstering aselect een punt geloot. De monsters die op de gelote punten zijn genomen, zijn gemengd. De laag 0-5 cm is verzameld met de gewone grasland boor, vervolgens is met een gutsboor in hetzelfde gat de laag 5-30 cm gestoken. Die is in de lagen 5-10, 10-20 en 20-30 cm verdeeld. De analyses zijn beperkt tot de bovenste 30 cm omdat in deze lagen de grootste veranderingen werden verwacht.

De monsters zijn eerst naar Alterra gecentrifugeerd om bodemvocht te onttrekken (zie paragraaf 0). Daarna zijn een aantal bepalingen voor P uitgevoerd. In de monsters is jaarlijks PAL-getal, Pw-getal, P-totaal, C-org (door Blgg), P-ox, Al-ox en Fe-ox (door Alterra) bepaald.

Naast het bemonsteren van de bodem inclusief de diepere lagen is er gelijktijdig nog een serie bodemmonsters van de laag 0-5 cm genomen, eveneens 40 steken per object. In deze monsters zijn opgestuurd naar Blgg voor bepaling op pH, humus, PAL, K-HCl, MgO, Na_2O , Cu en Co-az.

Analysmethoden zijn beschreven in paragraaf 2.8.

Door de analyses kunnen we een beeld krijgen van de veranderingen in de volgende P pools in de bodem:

- Pw-getal: een deel van het geadsorbeerd P
- PAL-getal: geadsorbeerd P en relatief makkelijk desorbeerbaar gefixeerd P
- oxalaat extraheerbaar P (P_{ox}): geadsorbeerd en gefixeerd P
- fosfaatbezettingsfractie $\text{P}_{\text{ox}}/0,5(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$: (voor de zandgronden is dit de mate van fosfaatverzadiging)
- P-totaal: geadsorbeerd P, gefixeerd P en organisch P

2.5 Fosfaatverliezen door uit- en afspoeling

Meting fosfaatconcentraties in bodemvocht

Op een deel van de objecten zijn driemaal per jaar fosfaat- en stikstofconcentraties gemeten in het bodemvocht in de bovenste 30 cm van de bodem. De bodemoplossing is verkregen door het centrifugeren van bodemmonsters. Deze monsters zijn genomen op 40 aselect gelote plekken. De bemonstering is uitgevoerd aan het einde van de winter (voor de eerste bemesting), enkele weken na de eerste bemesting en in het najaar (zie ook paragraaf 2.4). De metingen vonden plaats bij N180-P00, N180-P20, N300-P40 en N300-P100.

Berekening van fosfaatverliezen door uitspoeling

De jaarlijkse verliezen van fosfaat uit de wortelzone, als gevolg van uitspoeling naar drains, sloten en diepere bodemlagen, zijn bepaald door de gemiddelde jaarlijkse concentraties in de verschillende bodemlagen te vermenigvuldigen met de jaarlijkse waterfluxen uit deze bodemlagen. Omdat de waterfluxen niet direct gemeten kunnen worden, zijn deze fluxen bepaald met het hydrologische model SWAP (van Dam et al., 1997).

Het model SWAP is gebruikt om watergehalten van bodemlagen en hydrologische fluxen in en uit de verschillende bodemlagen te berekenen. SWAP is een fysisch gebaseerd, eendimensionaal model, ontworpen om transportprocessen op veldschaal en gedurende een heel groeiseizoen te simuleren. Het model gebruikt meteorologische gegevens (neerslag, referentie verdamping), gegevens van bodemfysische eigenschappen (waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken), gewaseigenschappen (o.a. worteldiepte en -verdeling) en drainage-eigenschappen (diepte van de ondoorlatende laag, drainafstand etc.) als invoer. Deze gegevens zijn verkregen via metingen op de proefplekken of bestaan uit generieke data, gebaseerd op literatuur en vorige studies op de proefboerderijen. Neerslaggegevens zijn verkregen via dagelijkse metingen op de proefboerderijen. Referentieverdamping voor grasland is berekend volgens Makkink (Makkink, 1957) en gebaseerd op gegevens van het dichtstbijzijnde weerstation, welke op een afstand van tussen de 5 en 50 km van de proefplek verwijderd ligt. Bodemfysische karakteristieken voor Cranendonck, Waiboerhoeve en Zegveld zijn uit de Staringreeks (Wösten et al., 1994) gehaald. De Staringreeks geeft de gemiddelde bodemfysische karakteristieken voor boven- en ondergronden van 18 veel voorkomende Nederlandse bodemtypen. Bodemfysische gegevens voor Aver Heino zijn gebaseerd op metingen aan proefvelden te Aver Heino, gedaan bij eerder onderzoek (Kroes et al., 1996). De worteldiepte voor grasland is vastgezet op een waarde van 30 cm voor alle proefvelden en de wortelverdeling is gecalibreerd op de verandering in de fosfaat status in de bovengrond in de periode 1997-1998. Drainage-eigenschappen zijn gebaseerd op eerdere calibraties (Kroes et al., 1996) van het model op grondwaterstanden en, wanneer beschikbaar, gemeten drainafvoeren (Waiboerhoeve) of gemeten drukhoogten (Aver Heino).

Fosfaatconcentraties in grondwater

Op Zegveld en Aver Heino zijn sinds 2000 incidenteel stikstof- en fosfaatconcentraties in het grondwater gemeten. De metingen vonden plaats op de N180-P0 en N300-P40 percelen. Op deze percelen zijn op twee plekken filterbuizen geplaatst voor het bemonsteren van het grondwater. De frequentie van de bemonstering varieerde sterk: op Aver Heino zijn in 2000 de buizen wekelijks bemonsterd, in 2001 zijn de buizen incidenteel bemonsterd. Op Zegveld startte de bemonstering in najaar 2000 en zijn de buizen incidenteel bemonsterd. De grondwatermonsters zijn geanalyseerd op ortho-P en totaal-P. Analysemethoden zijn beschreven in paragraaf 2.8.

2.6 Statistische analyses

De aangelegde behandelingen op het proefveld waren de N- en P_2O_5 -overschotten. Omdat de effecten van deze overschotten te kunnen kwantificeren, is gebruik gemaakt van de methode Residual Maximum Likelihood (REML) (Genstat 5 Committee, 1993) voor het analyseren van de opbrengsten en gehalten van het gewas. Met behulp van REML wordt er een multivariaat lineair model samengesteld dat zo goed mogelijk past bij de data. Een dergelijk model bestaat uit een random (aselect) en een systematisch deel. In het systematische deel worden factoren opgenomen die van belang (kunnen) zijn voor de te verklaren variabele. Door alleen factoren die een significante ($P < 0,05$) bijdrage leveren op te nemen, ontstaat er een model met factoren die een deel van de variantie verklaren. In het random deel wordt een deel van de niet-verklaarde variantie toegekend aan factoren die deze variantie kunnen veroorzaken maar niet te voorspellen of te beïnvloeden zijn zoals het jaareffect, het locatie effect en effect van een afwijkend veldje (bijv. een altijd slechter producerend veldje). Het resultaat is een model waarin de invloed van de systematische factoren op de gemeten data worden gekwantificeerd met een correctie voor de random factoren.

De introductie van random factoren is een groot verschil van REML met lineaire regressie en variantie analyse met ANOVA. Door rekening te houden met random factoren kan men met REML zuiverder bepalen of veranderingen veroorzaakt worden door behandelingen of (door de tijd) met lineaire regressie. Door bijvoorbeeld na te gaan of een bepaalde bodemparameter op bepaalde objecten altijd meer daalt of in een jaar andere opbrengsten worden gerealiseerd dan verwacht wordt op basis van het effect dat de behandeling vertoont in de hele dataset, worden deze (te) grote verschillen gecorrigeerd. Omdat REML hier rekening mee houdt, komt het voor dat lineaire regressie een significante daling aangeeft en REML dit toewijst aan de random effecten en niet aan de behandeling. Over het algemeen is lineaire regressie te optimistisch met het significant aanmerken van behandelingseffecten.

Als volledig model voor gewaswaarnemingen drogestofopbrengst, N-gehalte en P-gehalte van het gras zijn de volgende hoofdfactoren en alle interacties opgenomen:

- Grondsoort (factor)
- N-overschot (factor)
- P_2O_5 -overschot (factor)
- Proefjaar

Naast grondsoort is ook de interactie grondsoort.locatie opgenomen: als grondsoort.locatie significant is, betekent dit dat de beide locaties op zandgrond significant verschillen. Voor de veen en zeelei zijn locatie en grondsoort verstrengeld.

Proefjaar betekent het aantal jaren dat de behandeling is uitgevoerd (proefjaar 1 is 1997). Dit is om de trend over jaren te kunnen vaststellen.

Het N- en P₂O₅-overschot zijn in de analyse toegepast als ingestelde, discrete niveaus (factoren). In de analyse van de drogestofopbrengst en de N- en P-opbrengst kunnen de gemeten overschotten niet gebruikt worden als verklarende variabele omdat N- en P₂O₅-overschot berekend worden met behulp van onder andere de drogestofopbrengst. Omwille van uniformiteit zijn in de overige analyses de overschotten ook toegepast als factoren. Voordeel is dat de volgorde van modelresultaten uit de modellen niet dwingend is opgelegd en wanneer ze overeenkomen met de hoogte van de P-trappen, dit uit de resultaten naar voren komt. Nadeel is dat er geen rekening wordt gehouden met de verschillen in bemesting en/of overschotten tussen de locaties en de proefjaren.

Voor de gegevens van het REML model voor N en P₂O₅-opbrengst zijn geen nieuwe modellen geanalyseerd maar zijn de uitkomsten van de modellen voor drogestofopbrengst, N-gehalte en P-gehalte gecombineerd.

Voor het model voor het verloop van bodemanalyses is naast de bovenstaande factoren ook bodemlaag meegenomen. Op deze manier zijn de veranderingen van analyses in de bodemlagen simultaan geanalyseerd. In het random deel van het model is de interactie locatie.oogstjaar (beide als factor) meegenomen.

Wanneer de (eind)modellen verschillen aangeven in modeluitkomsten, zijn deze verschillen significant. Dus dalingen van lijnen en/of verschillen tussen objecten in modeluitkomsten betekenen significante verschillen. De REML is alleen uitgevoerd met rechtlijnige verbanden. Op deze relatief korte periode met grote variantie is het (nog) niet zinvol om niet-lineaire verbanden te gebruiken. Die geven namelijk vooral extra informatie als er asymptoten en/of evenwichten bereikt worden. De inschatting op basis van de data is dat deze op dit moment nog niet aan te tonen zijn.

In de REML analyses is het object N300-P-100 niet meegenomen. Dit object bestaat pas sinds 2002 en de behandeling op het object is wezenlijk anders doordat er geen beweiding plaatsvindt. Dat het object dus in de gemeten jaren al of niet significant verschillend is van de overige objecten geeft geen extra informatie en de reeks is nog te kort om er een trend in de tijd op te kunnen vaststellen. Het object is vooral aangelegd om de dynamiek van P₂O₅ in de bodem te ontrafelen.

Voor voederwaarde en mineralensamenstelling van het gras zijn eenvoudige variantie-analyses (met ANOVA) uitgevoerd met de jaren als herhaling. De verschillen zijn te klein om systematische verschillen tussen de behandelingen aan te tonen met variantie-analyse. Daarom is het niet zinvol om een (complexere) analyse met REML uit te voeren.

Om het model Animo te kunnen valideren, zijn er uitkomsten van lineaire regressie nodig. Dit is om de afname van berekend en gemeten te kunnen vergelijken. Om deze reden zijn lineaire regressies van bodemparameters en fosfaatconcentraties in het bodemvocht uitgevoerd.

2.7 Overige waarnemingen

Ieder proefveld had een aantal vaste buizen waar wekelijks de grondwaterstand is gemeten en geregistreerd. De meeste proefvelden waren ook voorzien van een verzamelregenmeter om wekelijks de neerslag vast te leggen. Het KNMI heeft op praktijkcentrum Aver Heino, Cranendonck en Zegveld een meetstation waar we de dagelijkse neerslaggegevens van konden gebruiken.

Het proefveld op Cranendonck is indien nodig berekend en de hoeveelheid berekening is geregistreerd.

2.8 Chemische en fysische analysemethoden

Analyses gewas

Drogestofgehalte van veldgewas: 48 uur drogen bij 70 °C op proefbedrijven.

Analyses gewas bij ALNN

ruwe celstof, ruw as, ruw eiwit, zand, Ntotaal, P, K, Mg, Na, Ca en VC-os-vitro (T&T)

Ruwe Celstof

Een bepaalde hoeveelheid luchtdroog materiaal wordt achtereenvolgens gekookt met verdund zwavelzuur en verdunde natronloog, zonder tussentijds filtreren en uitwassen. Het residu wordt uitgewassen, gedroogd en gegloeid; het gewichtsverlies bij dit gloeien is ruwe celstof.

Vocht

Een hoeveelheid van het te onderzoeken materiaal wordt gedurende een bepaalde tijd verwarmd, waarna het residu wordt gewogen.

As

Een hoeveelheid van het te onderzoeken materiaal wordt eventueel na de vochtbepaling uitgedroogd waarna weer het residu wordt gewogen.

Zand

Indien een zandbepaling wordt gevraagd wordt de asrest behandeld met zoutzuur zodat de mineralen in oplossing gaan. Na filtratie door een asvrij filter wordt de massa van het residu vastgesteld door dit na verassing terug te wegen.

Ruw eiwit

Aan het monster wordt geconcentreerd zwavelzuur toegevoegd om organisch materiaal te destrueren. Om de ontsluiting te versnellen wordt er waterstofperoxide toegevoegd en een katalysator. De destruat worden verdund en gemeten op een Continuous Flow Analyzer.

Totaal stikstof

Aan het monster wordt een zwavelzuur-salicylzuurmengsel toegevoegd om de aanwezige nitraten en nitrieten te reduceren tot ammonium. Na een inwerkperiode van minimaal 1 uur wordt, ook hier om de ontsluiting te versnellen, waterstofperoxide toegevoegd. Vervolgens wordt er een katalysator toegevoegd en gedestruerd. De destruat worden verdund en gemeten op de Continuous Flow Analyzer.

Mineralen

De monsters worden gedestruerd met zwavelzuur. Om de ontsluiting te versnellen wordt waterstofperoxide toegevoegd. De in het destruaat voorkomende mineralen worden vervolgens gemeten met een ICP. Monsters met hoge concentratie (kunstmest, landbouwsout enz.) worden vooraf opgelost in zoutzuur, vervolgens ondergaat een deelmonster hetzelfde traject als de normale monsters. De oplossing wordt gemeten met behulp van de Inductively Coupled Plasma; het monster wordt aangezogen en vervolgens door het plasma geleid. Door de extreme hoge temperatuur van het Plasma (+/- 9000 °C) zullen de atomen aanslaan en later weer naar een stabielere energieniveau terugvallen. Door het terugvallen naar een stabielere energieniveau wordt licht gedetecteerd dit licht is een parameter voor de concentratie van het element.

VC-os

Het verteringsproces van de herkauwer wordt *in vitro* nagebootst door een incubatie met pensvloeistof, gevolgd door een incubatie met een pepsine/zoutzuur oplossing.

Door standaardmonsters met bekende *in vitro* waarden voor verteerbaarheid van de organische stof mee te analyseren, kan een regressielijn berekend worden die het verband aangeeft tussen de *in vitro* en *in vivo* verteerbaarheid. M.b.v. deze regressielijn wordt voor de analysemonsters de *in vivo* verteerbaarheid van de organische stof geschat.

Berekening VEM, DVE en OEB volgens Handleiding Voederwaardeberekening Ruwvoerders (CVB, 2003).

Analyses mest

Van de toegediende dunne rundmest zijn monsters opgestuurd naar het Agrarisch Laboratorium voor Noord Nederland (ALNN, Wergea) voor analyse op Nmin, Norg, P₂O₅ en K₂O.

N Totaal en P totaal

Het monster wordt ontsloten met zwavelzuur in aanwezigheid van een katalysator. De oplossingen worden verdund en gemeten op een Continuous Flow Analyzer.

NH₃-N /NO₃-N

Verdunning van een hoeveelheid drijfmest met leidingwater. Het drijfmestmonster dient men na verdunning te centrifugeren. Daarna bepaling van het ammoniak- en/of nitraatgehalte colorimetrisch met een Continuous Flow Analyser.

K₂O

Het monster wordt ontsloten met zwavelzuur in aanwezigheid van een katalysator. De oplossingen worden verdund en gemeten op een ICP.

Analyses bodem bij Blgg Oosterbeek

PAL-getal

- oplossen in ammoniumlactaat-azijnzuur (pH 3,75) van 1 gewichtsdeel monster en 20 gewichtsdelen extractie-vloeistof
- bepaling van P₂O₅ bij 882 nm na kleuring met ammoniummolybdaat, antimoon en ascorbinezuur via spectrofotometrie

Pw-getal

- oplossen in water van 20 °C van 1 volumedeel grondmonster op 60 volumedelen water
- bepaling van P₂O₅ bij 882 nm na kleuring met ammoniummolybdaat, antimoon en ascorbinezuur via spectrofotometrie

P-totaal

- destructie met Fleischmannzuur
- spectrofotometrische bepaling van P bij 882 nm na kleuring met ammoniummolybdaat, antimoon en ascorbinezuur

C-totaal-elementair

- verbranden in O₂ bij 1150 °C
- meting van ontstane CO₂ in een IR-cel

pHKCl

- elektrometrische bepaling van de pH in een suspensie van 1 gewichtsdeel monster en 5 volumedelen KCl 1M na een contacttijd van 16 uur

Org. stof-gloeiverlies

- een hoeveelheid bij 105 °C gedroogd monster wordt gedurende 3 uur gegloeid bij 550 °C

Org. stof-elementair

- verbranding van een bepaalde hoeveelheid monster in een zuurstofstroom bij 600 °C
- meting van de ontstane CO₂ in een infraroodcel

K/Na-HCl

- oplossen in zoutzuur-oxaalzuur van 1 gewichtsdeel luchtdroge grond en 10 gewichtsdelen extractie-vloeistof
- bepaling van K₂O en Na₂O via VF

Mg-NaCl

- oplossen in natriumchloride 0,5 M van 1 gewichtsdeel grond en 5 gewichtsdelen extractie-vloeistof
- bepaling van MgO via AAS

Cu-HNO₃

- oplossen in salpeterzuur 0,43 M van 1 gewichtsdeel grond en 10 gewichtsdelen extractie-vloeistof
- bepaling van Cu via AAS

Co-HAc

- oplossen in azijnzuur 2,5 % van 1 gewichtsdeel grond en 40 gewichtsdelen extractie-vloeistof
- bepaling van Co via oven-AAS

De detectiegrens van deze analyses is het laagste, volgens voorschrift, gemeten analyt in het analysemonster, waaruit de aanwezigheid van de analyt in het monster met een redelijke en/of vooraf vastgestelde statistische zekerheid kan worden afgeleid. De detectiegrens wordt numeriek gelijk gesteld aan drie keer de

standaardafwijking van de gemeten eenheid van N representatieve blanco monsters ($N \geq 20$). In dit onderzoek is vooral de detectiegrens voor Pw- en PAL-getal van belang. Voor Pw-getal is de detectiegrens $4 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ l}^{-1}$ grond en voor PAL-getal $3 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100 g}^{-1}$ grond.

Bodemmonsters zijn bij het centraal bodemkundig en biologisch lab (CBLB) van de WUR geanalyseerd op oxalaat extraheerbaar Al, Fe en P conform Schwertmann, 1964.

Analyses van bodemvocht en grondwater vonden plaats bij het CBLB. Bodemvocht is bemonsterd door centrifuge van veldvochtige bodemmonsters bij 7500 RPM gedurende 20 minuten. Alle watermonsters werden gefiltreerd over $0,2 \mu\text{m}$ voor analyse. Totaal-P concentraties werden gemeten met ICP. Ortho-P, NH_4 en NO_3 concentraties zijn t/m 2002 gemeten middels FIA en daarna met SFA.

2.9 Modelberekeningen met nutriëntenmodel ANIMO

Naast de bovengenoemde metingen op de graslandpercelen zijn de veranderingen in fosfaattoestand en de uitspoeling van fosfaat gesimuleerd met het nutriëntenemissie model ANIMO (Groenendijk and Kroes, 1997). Het doel van deze berekeningen is het model ANIMO zo goed mogelijk te valideren op deze dataset. Een tweede doel van deze berekeningen is het vergroten van het inzicht in de fosfaatvastlegging in de verschillende organische en anorganische pools in de bodem en de fosfaatuitspoelingsverliezen van de percelen en de daaraan verbonden onzekerheden. Op basis van deze resultaten kunnen aanbevelingen gedaan worden om de te meten (bodemkundige) parameters en/of de meetfrequentie later in dit onderzoek verder te optimaliseren. Tenslotte kan met het gevalideerde model de te verwachten verandering van de fosfaattoestand in de nabije toekomst worden berekend. Vooralsnog zijn deze berekeningen niet uitgevoerd omdat een aantal processen (fixatie en immobilisatie) nog verder gecalibreerd moet worden.

De modellen SWAP en ANIMO zijn al geparameteriseerd en toegepast tijdens de eerste fase van de graslandproef (1997-2001). Een uitgebreide beschrijving van de parameterisatie is gegeven in Middelkoop et al., 2004. In dit hoofdstuk wordt volstaan met een korte samenenvaating van het modelconcept (2.9.1) en een toelichting op de aanpassing van de parameterisatie op basis van de gegevens uit de jaren 2002-2004.

Het model ANIMO

ANIMO is een dynamisch simulatie model dat het gedrag van stikstof en fosfaat in bodem en bodemwater beschrijft. Het model onderscheidt meerdere bodemlagen en rekent met een tijdstap van 1 dag. Watergehalten en hydrologische fluxen worden verkregen met het model SWAP (zie [paragraaf 0]). Het model simuleert het vrijkomen van stikstof en fosfaat uit de aangeboden meststoffen, de opname door de plant, interacties met organisch stof (mineralisatie/immobilisatie) en vastlegging van N en P in de minerale delen (sorptie). In dit rapport volstaan we met een beknopte beschrijving van de belangrijkste processen met betrekking tot de P-cyclus. Een volledige beschrijving van de procesformulering in ANIMO is te vinden in Groenendijk and Kroes, 1997.

Bij de sorptie van fosfaat wordt onderscheid gemaakt tussen een snelle reversibele adsorptiereactie en een langzame vrijwel irreversibele diffusie-precipitatie reactie (fosfaatfixatie). De adsorptie van fosfaat wordt beschreven met de Langmuir vergelijking (Schoumans and Breeuwsma, 1995; Schoumans, 1997):

$$Q = \frac{KcQ_m}{(1 + Kc)} \quad (\text{Vergelijking 1})$$

waarbij Q de hoeveelheid geadsorbeerd P is (mmol kg^{-1}), Q_m de maximale hoeveelheid geadsorbeerd P (mmol kg^{-1}), c de fosfaat concentratie in de bodemoplossing (mg l^{-1}) en K de adsorptie constante bij evenwicht (l mg^{-1}). Het vastleggen van fosfaat door diffusie wordt in het model beschreven met een Freundlich vergelijking, waarbij drie type adsorptiesites worden onderscheiden:

$$S = \sum_{i=1}^n (K_i c^{N_i} - (K_i c^{N_i} - S_{o,i}) e^{-a_i t}) \quad (\text{Vergelijking 2})$$

In deze vergelijking is S de totale hoeveelheid gesorbeerd P (mmol kg^{-1}), K_i is de Freundlich sorptie coëfficiënt voor site i ($(\text{mg l}^{-1})^{1/N_i} \text{mmol kg}^{-1}$), N_i is de Freundlich exponent voor site i (-), a_i is de diffusie snelheidsconstante (d^{-1}) en $S_{o,i}$ is de in initiële hoeveelheid gesorbeerd P voor site i .

De verandering in de bodemvruchtbaarheid op de proefpercelen wordt gevolgd door het meten van het Pw- en PAL getal. Het Pw getal kan met het model berekend worden op basis van de gesimuleerde hoeveelheid geadsorbeerd P (Schoumans, 1997; Schoumans and Groenendijk, 2000).

De immobilisatie en mineralisatie van fosfaat wordt bepaald door het gedrag van organische stof in de bodem. ANIMO simuleert het gedrag van organisch stof met behulp van vier verschillende organische stof fracties (pools): vers organisch materiaal, wortel resten, humus en opgelost organisch materiaal. Aan de bodem toegevoegde dierlijke mest en wortelresten worden langzaam omgezet in humus. Afhankelijk van het P-gehalte, de assimilatie efficiency en de C/P ratio van de humus pool zullen de omzettingsprocessen leiden tot een netto productie of consumptie van mineraal P.

Modelaanpassing t.g.v. droogte in de zomer van 2003

De zomer van 2003 kenmerkte zich door een periode met weinig neerslag en zeer hoge temperaturen. De grasgroei kwam hierdoor in augustus 2003 op de meeste locaties tot stilstand en op Zegveld en de Waiboerhoeve ging het gras zelfs grotendeels dood. De opbrengst van de zomersnedes was hierdoor aanmerkelijk lager dan gewoonlijk en bovendien is er op deze locaties een snede minder geoogst. In de modelsimulaties hadden de extreme weersomstandigheden echter geen invloed op de gewasopbrengst. Om in ANIMO de drogestofproductie voor het jaar 2003 goed te kunnen simuleren zijn daarom enkele aanpassingen gedaan.

In ANIMO wordt de droge stofproductie berekend op basis van straling. Verder vindt een reductie plaats door te vermenigvuldigen met het quotiënt van actuele verdamping/potentiële verdamping. Door in SWAP de LAI (Leaf Area Index) aan te passen, veranderen zowel de actuele transpiratie als de potentiële transpiratie. De LAI aanpassen heeft met name gevolgen voor de verdeling van de potentiële evapotranspiratie over potentiële bodem-verdamping en potentiële transpiratie. Het quotiënt tussen actuele transpiratie en potentiële transpiratie verandert er niet zoveel door.

De keuze voor het concept hangt mede af van de definitie van potentiële verdamping en welke verdampingsformule hiervoor gebruikt wordt. Hiervoor is in ANIMO een keuze ingebouwd waarmee de manier waarop de potentiële verdamping wordt berekend kan worden gekozen. Voor het jaar 2003 is de potentiële verdamping berekend volgens de formule: $factor = (act.transpiratie)/(pot.evapotranspiratie)$, in de andere jaren is gebruikt: $factor = (act.transpiratie)/(pot.transpiratie)$. Het aanpassen van de LAI, in combinatie met de nieuwe benadering voor het bepalen van de potentiële verdamping leidt tot betere simulaties voor een reeks waarin naast gewone jaren ook een droog jaar, zoals 2003, voorkomt.

2.9.1 Model parameterisatie en toepassing

Calibratie en Validatie procedure

In de eerste fase van dit project is het model gecalibreerd op de data van de periode 1997-2001 (Middelkoop et al., 2004). In deze 2e fase van het project is getracht de calibratie tot een minimum te beperken en zijn hoofzakelijk aanpassingen verricht om onvolkomenheden in de eerdere parameterisatie te ondervangen en te anticiperen op kleine veranderingen in procesformulering (met name opname zie ook 2.9.2) tussen ANIMO 3.5 en 3.7. Aanpassingen in de calibratie worden uitgebreid besproken in hoofdstuk 3.

3 Resultaten

3.1 Overschotten en vergelijking verliesnormen met gebruiksnormen

3.1.1 Gerealiseerde bemesting en overschot

De gerealiseerde N- en P₂O₅-bemesting gemiddeld op jaarbasis van 2002 tot en met 2004 staan in tabel 3 en Tabel 4 en per locatie in Bijlage 2. De bemesting van eerdere jaren is opgenomen in Praktijkrapport 48 (van Middelkoop et al., 2004).

Tabel 3 Gemiddelde N- en P₂O₅-bemesting met organische en kunstmest in kg ha⁻¹ jr⁻¹ (2002 t/m 2004) per object op Cranendonck, Waiboerhoeve en Zegveld

Object	Kunstmest		Dunne rundermest			Totaal		P ₂ O ₅
	N	P ₂ O ₅	werkz N	totaal N	P ₂ O ₅	N	werkz N	
N180 P00	126	4	80	165	63	291	206	67
N180 P20	126	24	80	165	63	291	206	87
N180 P40	126	43	80	165	63	291	206	106
N300 P00	254	5	80	165	63	419	334	68
N300 P20	254	24	80	165	63	419	334	87
N300 P40	254	44	80	165	63	419	334	107
N300 P-100	312	0	0	0	0	312	312	0

Tabel 4 Gemiddelde N- en P₂O₅-bemesting met organische en kunstmest in kg ha⁻¹ jr⁻¹ (2002 t/m 2004) per object op Aver Heino, exclusief N-binding door klaver

Object	Kunstmest		Dunne rundermest			Totaal		P ₂ O ₅
	N	P ₂ O ₅	werkz N	totaal N	P ₂ O ₅	N	werkz N	
N180 P00	0	0	94	174	53	174	94	53
N180 P20	0	20	94	174	53	174	94	73
N180 P40	0	40	94	174	53	174	94	93
N300 P00	0	0	94	174	53	174	94	53
N300 P20	0	20	94	174	53	174	94	73
N300 P40	0	40	94	174	53	174	94	93
N300 P-100	0	0	0	0	0	0	0	0

Gemiddeld is er op de gangbare proefvelden (Cranendonck, Waiboerhoeve en Zegveld) op het N180-object 291 kg N ha⁻¹ gegeven en op het N300-P00-20-40 object 419 kg N ha⁻¹ (werkzaam + kunstmest), op Aver Heino is op beide objecten 94 kg N ha⁻¹ werkzaam gegeven. Gemiddeld is op het P00-object op de gangbare proefvelden 67 kg en op Aver Heino 53 kg P₂O₅ ha⁻¹ gegeven. Zoals de bedoeling was is op het P20-object 20 kg en op P40-object 40 kg P₂O₅ ha⁻¹ meer gegeven. Op het N300-P-100 object is geen fosfaat gegeven en alleen kunstmest N op de gangbare locaties. De gemiddelde N- en P₂O₅-aanvoer, -afvoer en overschot per object staan in tabel 5 en Tabel 6. In Bijlage 3 staan aanvoer, afvoer en overschot per locatie.

De afvoer tijdens beweiding door de gewichtstoename van de weidende dieren was op alle objecten vergelijkbaar: gemiddeld 10 kg N en 7 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹. De afvoer met maaien vertoonde grotere verschillen tussen de behandelingen en locaties. Dit komt in hoofdstuk 3.1 aan de orde.

Gemiddeld zijn de behaalde N-overschotten op de proefvelden lager dan de geplande overschotten. De oorzaak daarvan is de overgang van Aver Heino van gangbaar naar biologisch. Als aanvoer wordt de N binding door klaver niet meegeteld waardoor Aver Heino op heel lage N-overschotten uitkomt.

Tabel 5 Aanvoer, afvoer en overschot N (kg ha⁻¹), gemiddeld per object (2002 t/m 2004)

Object	N-aanvoer bemesting	N-afvoer weiden	N-afvoer maaien	N-overschot
N180_P00	262	10	142	110
N180_P20	262	10	145	107
N180_P40	262	10	148	104
N300_P00	358	10	181	167
N300_P20	358	11	180	167
N300_P40	358	10	185	163
N180	262	10	145	107
N300	358	10	182	166
P00	310	10	162	139
P20	310	11	163	137
P40	310	10	167	139
N300_P-100	234	0	278	-44

Tabel 6 Aanvoer, afvoer en overschot P₂O₅ (kg ha⁻¹), gemiddeld per object (2002 tot en met 2004)

Object	P ₂ O ₅ -aanvoer bemesting	P ₂ O ₅ -afvoer weiden	P ₂ O ₅ -afvoer maaien	P ₂ O ₅ -overschot
N180_P00	64	7	45	12
N180_P20	83	7	48	28
N180_P40	102	7	50	45
N300_P00	64	7	52	5
N300_P20	83	7	55	21
N300_P40	103	6	56	41
N180	83	7	48	28
N300	83	7	54	22
P00	64	7	49	9
P20	83	7	52	25
P40	103	7	53	43
N300_P-100	0	0	77	-77

In tegenstelling tot de N-overschotten zijn de P₂O₅ –overschotten hoger dan gepland. Wanneer over de gehele proefperiode gekeken wordt (1997 t/m 2004) zijn de fosfaatoverschotten gemiddeld licht onder de streefwaarde namelijk -2,5 op P00, 17,5 op P20 en 36,8 kg P₂O₅ ha⁻¹ op P40.

3.1.2 Gebruiksnormen

Hoewel de proef is aangelegd met het stelsel van verliesnormen (MINAS) verwerkt in de proefopzet, kan berekend worden welke gebruiksnormen op het proefveld zijn toegepast. In tabel 7 en Tabel 8 zijn de hoeveelheden N en P₂O₅, toegediend met dierlijke mest en de totale werkzame hoeveelheden N en de totale hoeveelheden P₂O₅ weergegeven op de objecten met beweiding. Om te vergelijken met de gebruiksnormen zijn de gebruiksnormen voor N (werkzaam en organisch met derogatie) en P₂O₅ totaal op de betreffende grondsoort voor 2009 eveneens weergegeven.

Tabel 7 Toegediende en uitgescheiden N, N uit kunstmest op 4 locaties (2002 t/m 2004) en wettelijk toegestane N toediening in 2009, kg ha⁻¹

Locatie	Grondsoort	Ntrap	Toegediend				Toegestaan in 2009		
			N totaal toegediend met drm	N uitscheiding in wei	N totaal uit org mest	N uit kunstmest	N wettelijk werkzaam (0.45 * N tot uit org + kunstmest)	N totaal uit org mest	N wettelijk werkzaam uit org mest +kunstmest
Aver Heino*	zand	N180	174	37	211	0	95	170	260
Aver Heino*	zand	N300	174	55	229	0	103	170	260
Cranendonck	zand	N180	131	117	248	169	281	250	260
Cranendonck	zand	N300	131	142	273	291	414	250	260
Waiboerhoeve	klei	N180	209	50	259	78	195	250	310
Waiboerhoeve	klei	N300	209	91	300	217	352	250	310
Zegveld	veen	N180	156	97	253	131	245	250	265
Zegveld	veen	N300	156	115	271	253	375	250	265
Gemiddeld	alle	alle	168	86	256	143	258	230	274

N wettelijk totaal werkzaam = N totaal uit org mest * 0.45 (wettelijke werkingscoëfficiënt) + kunstmest

N uitscheiding in wei = Nopbrengst weidesneden * 0,80 –vastlegging in vlees (=gemiddeld 10 kg N ha⁻¹)

* Aver Heino is een biologisch bedrijf. Daar mag volgens de SKAL-normen ten hoogste 170 kg N ha^{-1F} uit biologische rundmest worden toegediend.

Op de lage N-trap, waar gestreefd is naar een N-overschot van 180 kg ha⁻¹, komt de totale toediening met dierlijke mest (inclusief weidemest) redelijk overeen met de gebruiksnorm van 250 kg N ha⁻¹. Gemiddeld is op Cranendonck, de Waiboerhoeve en Zegveld op de lage N-trap 253 kg N ha⁻¹ terecht gekomen. Op Aver Heino is wel boven de gebruiksnorm voor organische mest volgens SKAL bemest (170 norm, 211 op N-trap laag). Op de hoge N-trappen is op de niet-biologische locaties gemiddeld 31 kg N ha⁻¹ boven de gebruiksnorm voor organische mest toegediend doordat op de hoge N-trappen de N-opbrengst in de weidesneden en daarmee uitscheiding met N door het vee hoger is (zie resultaten).

Tabel 8 Toegediende en uitgescheiden P₂O₅ en wettelijk toegestane P₂O₅-toediening op 4 locaties, kg ha⁻¹ (2002 t/m 2004)

Locatie	Grondsoort	N-trap	P ₂ O ₅ -trap	Toegediend					Toegestaan in 2009 (voorgenomen)	
				P ₂ O ₅ totaal toegediend met drm	P ₂ O ₅ uitscheiding in wei	P ₂ O ₅ – totaal uit org mest	P ₂ O ₅ uit kunstmest	P ₂ O ₅ - totaal uit org mest +kunstmest	P ₂ O ₅ - tot uit org mest +kunstmest	
Aver Heino	zand	N180	P00	53	7	60	0	60	95	
Aver Heino	zand	N300	P00	53	11	64	0	64	95	
Cranendonck	zand	N180	P00	49	30	79	0	79	95	
Cranendonck	zand	N300	P00	49	30	79	0	79	95	
Waiboerhoeve	klei	N180	P00	86	18	104	0	104	95	
Waiboerhoeve	klei	N300	P00	86	25	111	0	111	95	
Zegveld	veen	N180	P00	53	22	75	13	88	95	
Zegveld	veen	N300	P00	53	25	78	13	91	95	
Gemiddeld	alle	alle	P00	60	21	81	3	84	95	

P₂O₅ uitscheiding in wei = P₂O₅-opbrengst weidesneden * 0,80 (schatting beweidingsrendement) – vastlegging in vlees (= gemiddeld 7 kg P₂O₅ ha⁻¹)

Met uitzondering van de Waiboerhoeve is op alle locaties op P00 trappen (overschot 0 kg P₂O₅ ha⁻¹) toegediend onder 95 kg P₂O₅ ha⁻¹, de verwachte gebruiksnorm van 2009. Op de Waiboerhoeve is 9 tot 16 kg P₂O₅ ha⁻¹ meer toegediend. In 2002 tot en met 2004 is op de P00 objecten echter een positief overschot behaald van 21 kg P₂O₅ ha⁻¹. De opbrengst van de maaisneden was lager dan verwacht. De fosfaatbemesting is in de eerste helft van het seizoen toegediend en kon dus niet meer gecorrigeerd worden voor de lage afvoer. Wanneer volgens onttrekking met fosfaat bemest zou zijn, zou dat circa 83 en 90 kg P₂O₅ ha⁻¹ zijn en onder voorgenomen toegestane bemesting in 2009.

3.2 Gewas

3.2.1 Drogestofopbrengst

Het verloop van de totale drogestofopbrengst over de jaren en de uitkomsten van de statistische analyse met het REML -model is per locatie en per object weergegeven in Figuur 1.

Voor de drogestofopbrengst blijkt in het random deel de interactie jaarxlocatie een aanzienlijke invloed te hebben. Er is dus een significant jaar-effect dat verschillend is voor de locaties, de locaties verschillen onderling blijkbaar in reactie op het weer.

De verschillen tussen de objecten binnen locatie en jaar zijn bestudeerd in het systematisch deel van het model. Deze verschillen zijn over het algemeen gering vergeleken met de verschillen tussen jaren en locaties. Er zijn echter wel significante factoren gevonden. De significante hoofdfactoren zijn P-overschot en N-overschot. Daarnaast zijn er ook twee- en drie-weg interacties significant: P-overschot x N-overschot, N-overschot x grondsoort, P-overschot x grondsoort en P-overschot x N-overschot x proefjaar.

De factor locatie is niet significant. Dit betekent dat de reacties van Cranendonck en Aver Heino vergelijkbaar waren. In de figuur is het REML -model dan ook gezamenlijk als "zand" weergegeven.

Op alle drie de grondsoorten is er significant verschil tussen de drogestofopbrengst op de N180 en N300 objecten. Op de N300-objecten is, zoals verwacht, de drogestofopbrengst hoger dan op de N180. Op de zand- en veenlocaties is dit ongeveer een ton, op de kleilocatie ongeveer 2 ton.

Opvallend is dat er op alle objecten er een negatieve trend is over de jaren: met de jaren wordt de opbrengst lager.

Op de zand- en de veenlocaties is over het algemeen de opbrengst op de P40 objecten hoger dan op de overige objecten. Er is enig verloop over de jaren. Het verschil tussen P00 en P40 is gemiddeld over de jaren 1997 tot en met 2004 circa 450 kg ds ha⁻¹ jr⁻¹. Op de klei-locatie (Waiboerhoeve) is de opbrengst op de P40 juist 400 kg ds ha⁻¹ jr⁻¹ lager dan op P00.

Op Aver Heino heeft de omschakeling in 2002 van N-bemesting met kunstmest en organische mest (gangbaar) naar bemesting met alleen drijfmest en binding van N uit de lucht door klaver (biologisch) een negatief effect gehad op de drogestofopbrengst. In het eerste jaar (2002) was er nog nauwelijks klaver te vinden in de doorgezaaide objecten (N300) en kwam er dus alleen N voor het gras uit de toegediende dierlijke mest (94 kg werkzame N per ha). Het niveau van drogestofopbrengst was lager dan in vorige jaren en er was nauwelijks verschil tussen de twee N-objecten in drogestofopbrengst. In 2003 en 2004 nam de klaverbezetting toe op de (voormalig) N300 objecten waardoor er weer verschil tussen N180 en N300 zichtbaar was.

Op Zegveld en de Waiboerhoeve is in 2003 droogteschade opgetreden, in de droge periode in die zomer heeft de groei enige tijd volledig stil gestaan. Op Cranendonck is indien nodig berekend en op Aver Heino is de droogteschade beperkt gebleven waarschijnlijk door lage ligging van het proefperceel en het lage opbrengstniveau. Voor alle locaties was 2004 een gunstig jaar voor de drogestofopbrengst.

Door het verschil in drogestofopbrengst te delen door het verschil in kunstmestgift kan het gemiddelde N-effect van de extra N op N300 ten opzichte van N180 in de jaren 2002 t/m 2004 berekend worden. Alle objecten kregen in die jaren immers per locatie dezelfde hoeveelheid dunne rundermest. Het N-effect, gemiddeld over de jaren op de verschillende locaties, staat in Tabel 9.

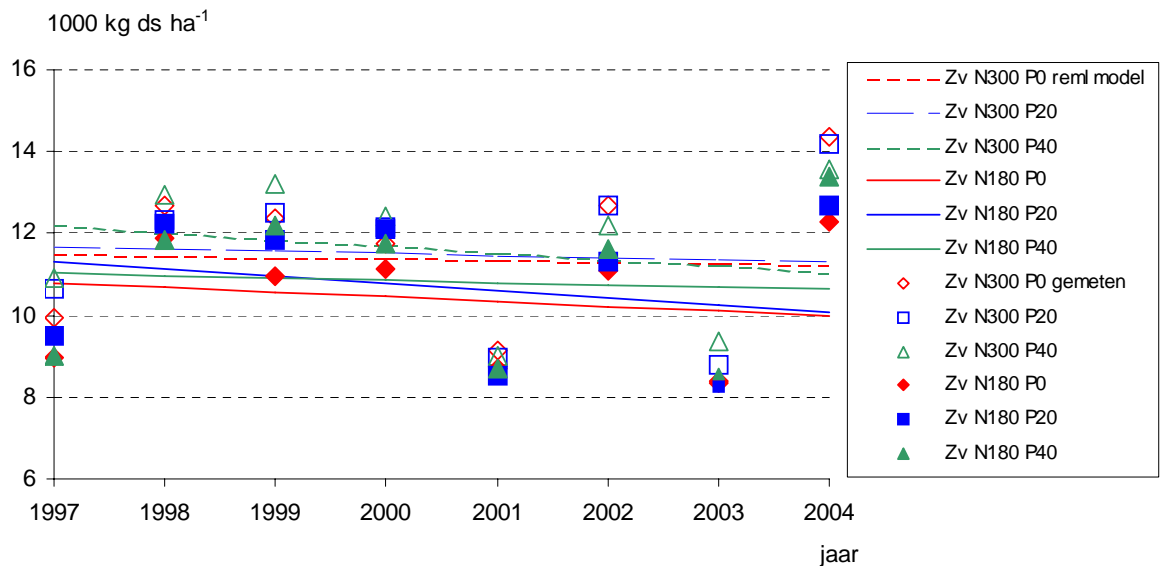
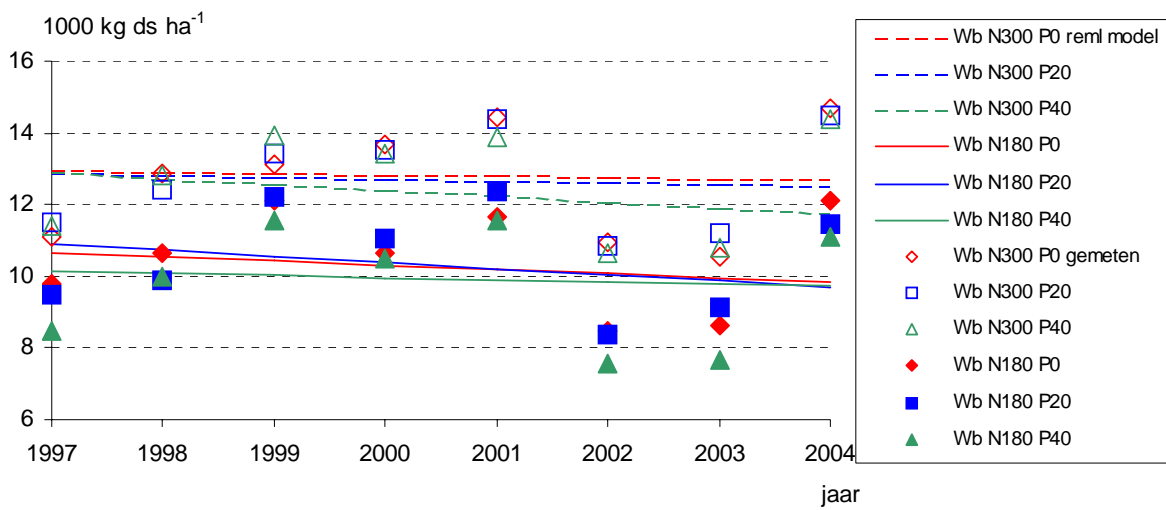
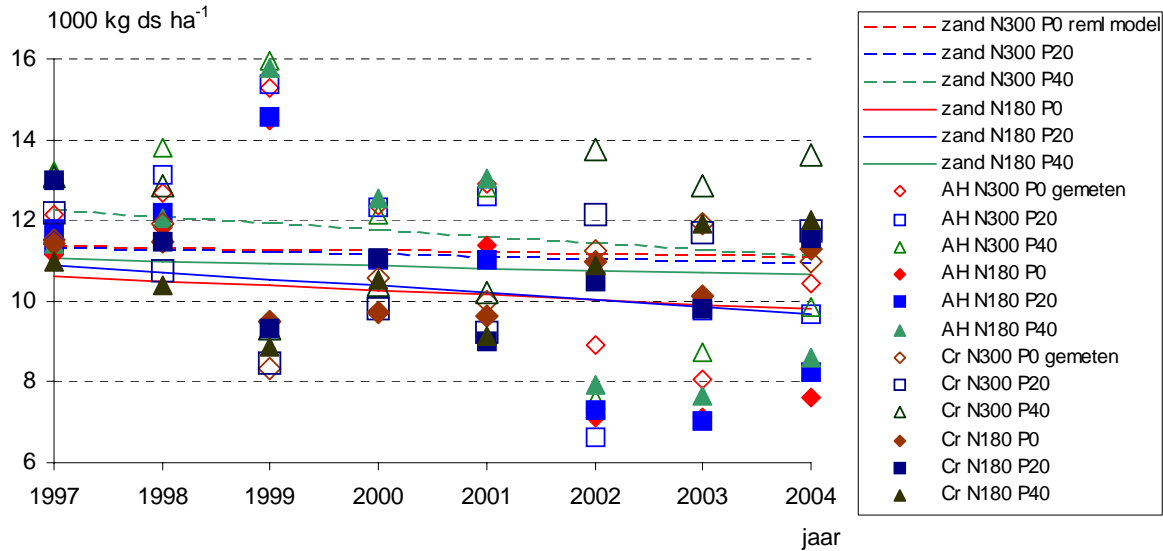
Tabel 9 Gemiddeld N-effect op Cranendonck, Waiboerhoeve en Zegveld (2002 t/m 2004)

Locatie	Verskil in	Verskil in ds	N-effect op ds	Verskil in N-	N-effect op N-
	werkzame N N180 N300 kg N ha ⁻¹	opbrengst N180 N300 kg ds ha ⁻¹	opbrengst traject N180-N300 kg ds (kg wkz N) ⁻¹	opbrengst N180 N300 kg N ha ⁻¹	opbrengst traject N180-N300 kg N (kg wkz N) ⁻¹
Cranendonck	122	1214	10,0	63,7	0,52
Waiboerhoeve	139	2677	19,3	107,9	0,78
Zegveld	122	370	3,0	37,0	0,30
Gemiddeld	128	1420	10,8	69,5	0,53

Het N-effect op de Waiboerhoeve was het hoogst van de drie locaties, 19 kg ds kg⁻¹ N en 0,78 kg N kg⁻¹ N in het traject voor N-overschot 180 tot N-overschot 300. Dit was een traject van 184 tot 322 kg N werkzaam ha⁻¹. Gemiddeld over alle locaties was het N effect 10,8 kg ds kg⁻¹ N en 0,53 kg N kg⁻¹ N bemest.

Bovenstaande berekening is voor Aver Heino niet uitgevoerd omdat er geen verschil in N-bemesting was tussen de twee N-objecten. Verschil tussen de twee objecten is bereikt door klaver door te zaaien in de bestaande zode. Er is geen schatting gemaakt van N-levering door klaver.

Figuur 1 Drogestofopbrengst gemeten en uitkomsten van statistische analyse (REML model) per object en locatie, 1997 tot en met 2004 (AH=Aver Heino, Cr=Cranendonck, Wb= Waiboerhoeve, Zv=Zegveld)



3.2.2 N- en P-gehalten in het gras

Het N- en P-gehalte van het gras, zowel gemeten als de uitkomsten met REML, zijn per locatie en per object weergegeven in Figuur 2 en Figuur 3. Vergelijkbaar met de drogestofopbrengsten is het verloop van het N- en P-gehalte van het gras over de jaren grillig en zijn de verschillen tussen jaren en locaties groter dan tussen de behandelingen.

In het random deel blijkt de interactie jaar x locatie een significante invloed te hebben op het N- en P-gehalte. Met andere woorden: er is een jaar-effect dat per locatie verschilt.

De verschillen in N-gehalte tussen de objecten binnen locatie en jaar zijn bestudeerd in het systematisch deel van het model.

Significante factoren zijn:

N-overschot, jaar en de interacties N-overschot x grondsoort en P-overschot x N-overschot x grondsoort

De reacties van Cranendonck en Aver Heino waren vergelijkbaar, zoals bij de analyse van de drogestofopbrengst. In de figuur zijn ze gezamenlijk als "zand" weergegeven.

Op alle grondsoorten is het N-gehalte significant hoger naarmate het N-overschot hoger is en is er een significant negatieve trend van het N-gehalte over de jaren heen.

Via een drieweg interactie is er invloed van het P-overschot op het N-gehalte maar zoals in de figuur te zien is, is die invloed klein en niet-systematisch: het is niet steeds hetzelfde P-overschot waarbij het hoogste (of laagste) N-gehalte te zien is.

Het N-gehalte van het gras op Aver Heino is na de omschakeling naar biologische bemesting in 2002 omlaag gegaan. Tot en met 2001 bleef het N-gehalte rond de 30 g kg⁻¹ ds, vanaf 2002 lag het rond de 23 g kg⁻¹ ds. In 2004 is het weer wat hoger dan de jaren daarvoor. Op Cranendonck en op de Waiboerhoeve is er vanaf 2001 een duidelijk verschil tussen beide N-objecten, waarbij het N-gehalte van het gras op het N300 object hoger is dan op het N180 object. Op Zegveld is er vooral de eerste jaren veel variatie tussen de jaren maar is vanaf 2002 het N-gehalte van de N300 licht hoger dan op de N180.

De verschillen in P-gehalte tussen de objecten binnen locatie en jaar zijn bestudeerd in het systematisch deel van het model.

Significante factoren zijn: N-overschot, P-overschot, jaar en grondsoort.

Daarnaast de twee-weg interacties: locatie x grondsoort, N-overschot x P-overschot, P-overschot x jaar, N-overschot x grondsoort en P-overschot x grondsoort.

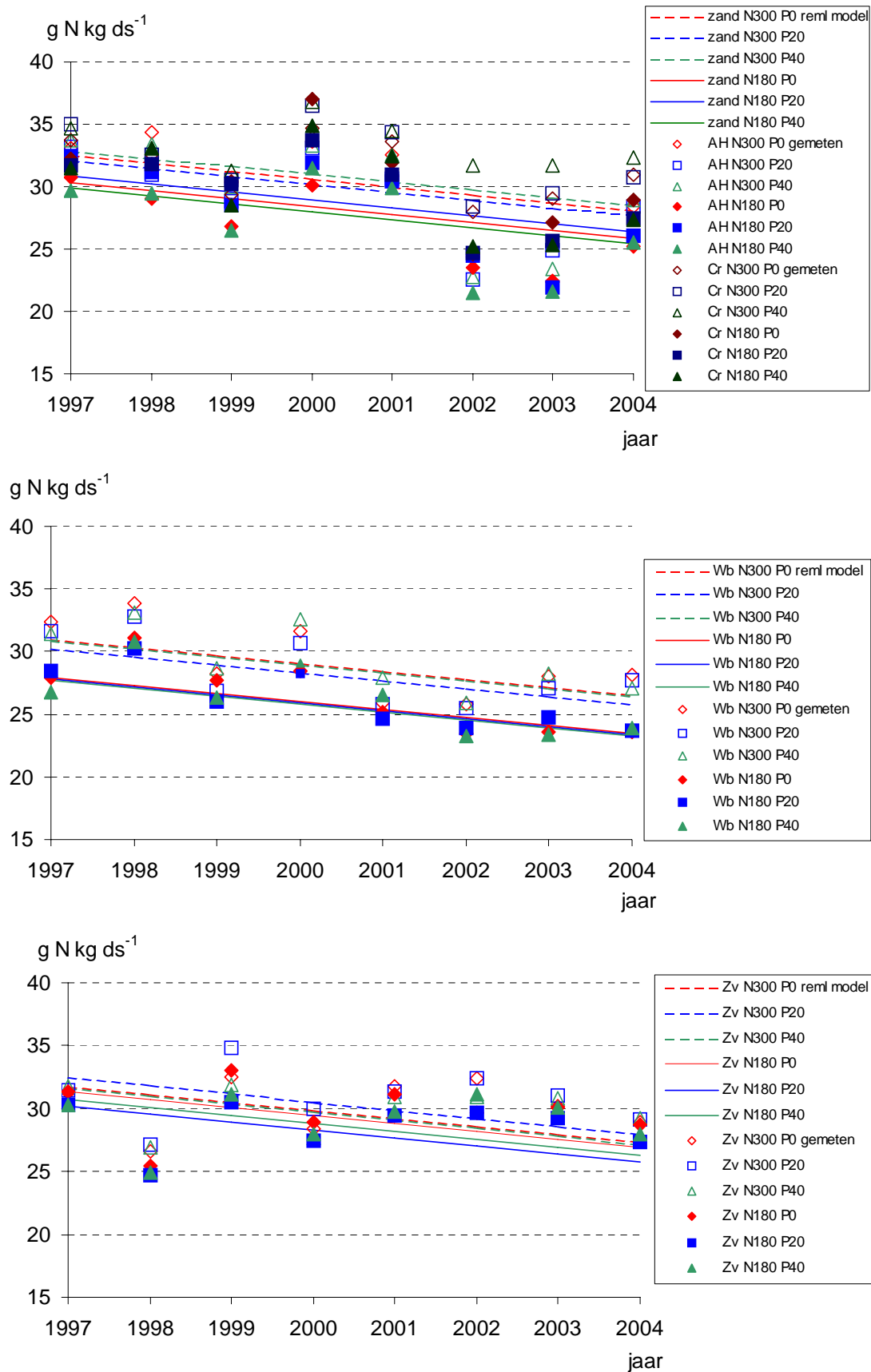
En een aantal drie- en vier-weg interacties met Locatie, Jaar, Poverschot, grondsoort en Noverschot.

Uit het significante grondsoort effect blijkt dat de reacties van Cranendonck en Aver Heino niet vergelijkbaar waren (i.t.t. N-gehalte analyse). In de figuur zijn ze daarom apart weergegeven.

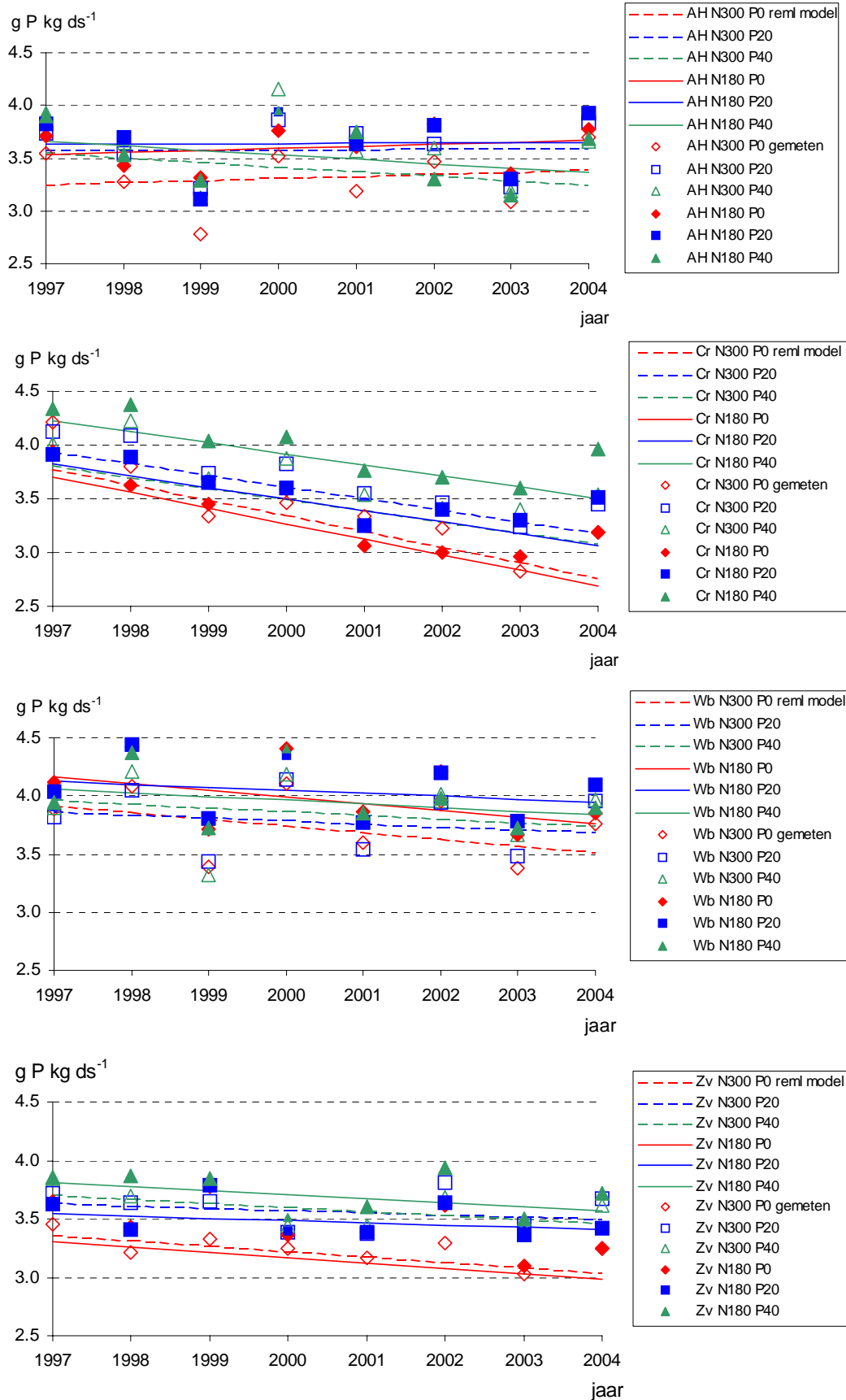
Op de locaties Cranendonck, Waiboerhoeve en Zegveld is er een significant negatieve trend in P-gehalte over de jaren. Op Aver Heino is er een significant negatieve trend over de jaren op de beide P40 objecten, op de overige objecten is de trend over de jaren positief. Het P-gehalte van het gras heeft op Aver Heino niet zichtbaar gereageerd op de omschakeling naar biologische bemesting.

Op Zegveld is er een positieve effect van het P-overschot op het P-gehalte van het gras. Op de overige locaties is het wisselend welk object het hoogste P-gehalte heeft. Uit de analyse blijkt dat er veel factoren en interacties het P-gehalte beïnvloeden. Een positief effect van het P-overschot was verwacht op alle locaties maar is alleen op Zegveld significant.

Figuur 2 N-gehalte van het gras gemeten en uitkomsten van statistische analyse (REML model) per object en locatie, 1997 tot en met 2004 (AH=Aver Heino, Cr=Cranendonck, Wb= Waiboerhoeve, Zv=Zegveld)



Figuur 3 P-gehalte van het gras gemeten en uitkomsten van statistische analyse (REML model) per object en locatie, 1997 tot en met 2004 (AH=Aver Heino, Cr=Cranendonck, Wb= Waiboerhoeve, Zv=Zegveld)



3.2.3 N- en P_2O_5 -opbrengsten

Het verloop over de jaren van N- en P_2O_5 -opbrengst per locatie en object en de uitkomsten van het REML model is weergegeven in Figuur 4 en figuur 5.

N-opbrengst

De reacties van Cranendonck en Aver Heino waren vergelijkbaar, zoals bij de analyse van de drogestofopbrengst. In de figuur zijn ze gezamenlijk als "zand" weergegeven.

De figuur laat zien dat op alle grondsoorten de N-opbrengst hoger is naarmate het N-overschot hoger is en er een significant negatieve trend van de N-opbrengst (vergelijkbaar met N-gehalte) over de jaren heen bestaat.

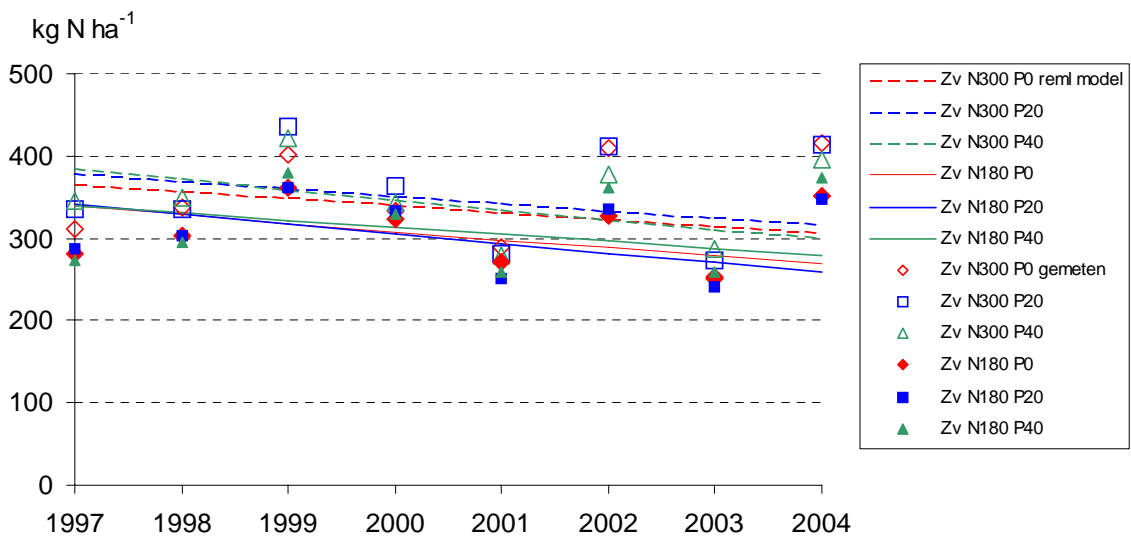
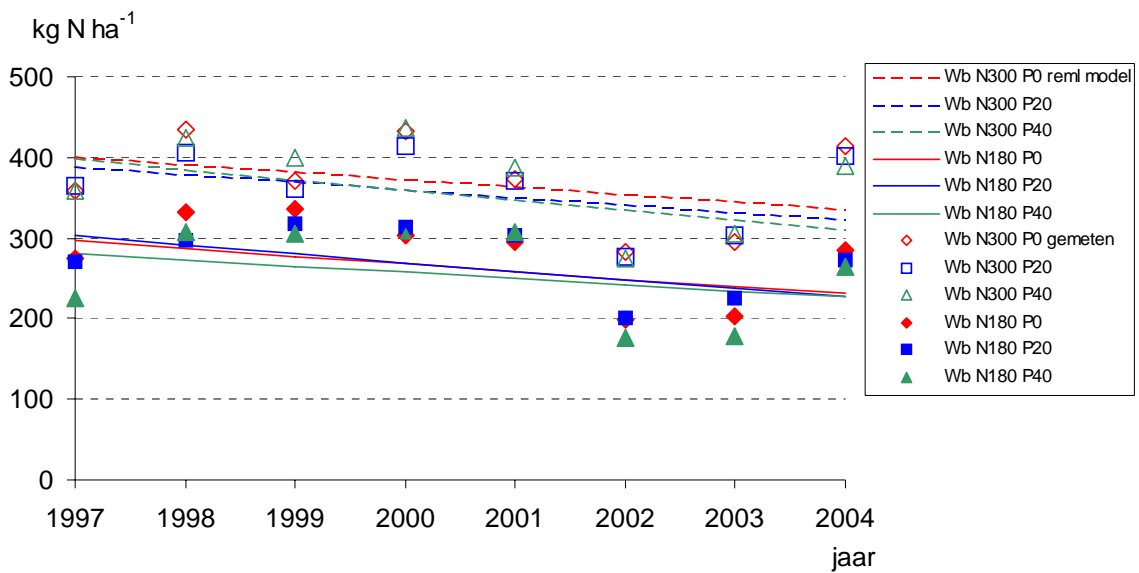
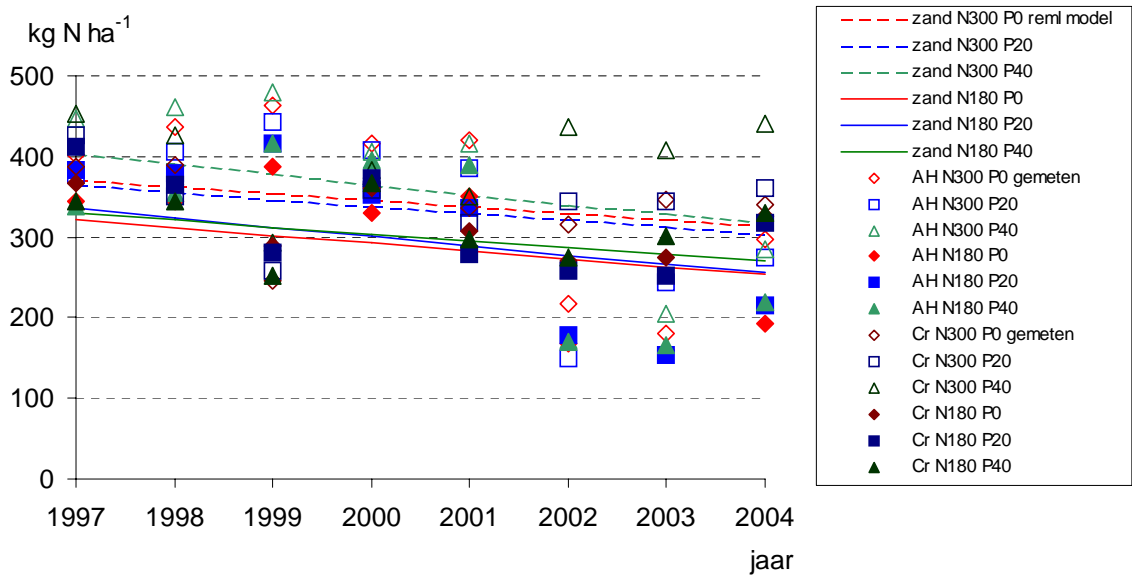
Via een drieweg interactie is er invloed van het P-overschot op de N-opbrengst maar zoals in de figuur te zien is, is die invloed klein en niet-systematisch: het is niet steeds hetzelfde P-overschot waarbij de hoogste (of laagste) N-opbrengst te zien is.

P_2O_5 -opbrengst

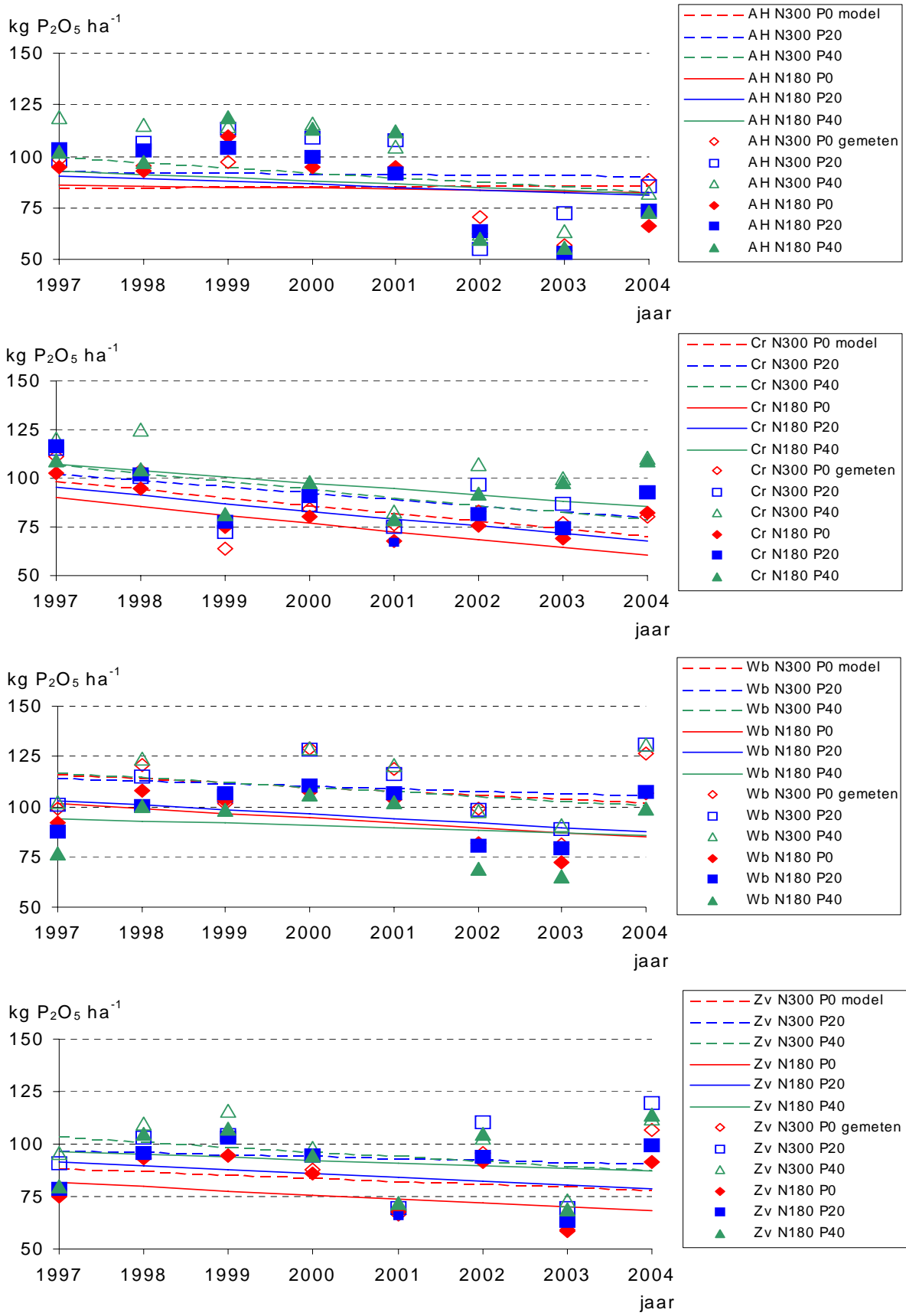
De reacties van Cranendonck en Aver Heino waren niet vergelijkbaar (i.t.t. N-opbrengst analyse). In de figuur zijn ze daarom apart weergegeven.

Op alle locaties Cranendonck, Waiboerhoeve en Zegveld is er een significant negatieve trend in P_2O_5 -opbrengst over de jaren. Op Zegveld en Cranendonck is een significant positieve invloed van het P-overschot op de P_2O_5 -opbrengst van het gras. Op Aver Heino en de Waiboerhoeve is het wisselend welk object de hoogste P_2O_5 -opbrengst heeft. Uit de analyse blijkt dat er veel factoren en interacties de P_2O_5 -opbrengst beïnvloeden. Een positief effect van het P-overschot was verwacht op alle locaties maar is alleen op Cranendonck en Zegveld significant.

Figuur 4 N-opbrengst gemeten en uitkomsten van statistische analyse (REML model) per object en locatie, 1997 tot en met 2004 (AH=Aver Heino, Cr=Cranendonck, Wb= Waiboerhoeve, Zv=Zegveld)



Figuur 5 P₂O₅-opbrengst gemeten en uitkomsten van statistische analyse (REML model) per object en locatie, 1997 tot en met 2004 (AH=Aver Heino, Cr=Cranendonck, Wb= Waiboerhoeve, Zv=Zegveld)



3.2.4 Voederwaarde en minerale samenstelling

De karakteristieken energie-inhoud (VEM), Darm Verteerbaar Eiwit (DVE), Onbestendig Eiwit Balans (OEB) en Ruwe Celstof (RC) in het gras van de objecten met beweiding zijn weergegeven in Tabel 10.

Tabel 10 Energie-inhoud (VEM), Darm Verteerbaar Eiwit (DVE), Onbestendig eiwit balans (OEB), Ruwe celstof (RC) van het gras, gemiddeld op de objecten (2002 t/m 2004)

Locatie	N180			N300			LSD P<0.05 NxP binnen locatie	Gemiddeld
VEM	P00	P20	P40	P0	P20	P40		
Aver Heino	904 ^a	901 ^a	904 ^a	899 ^a	904 ^a	914 ^a	36	904 ^a
Cranendonck	917 ^b	919 ^b	889 ^{ab}	896 ^{ab}	916 ^b	876 ^a	36	902 ^a
Waiboerhoeve	886 ^a	890 ^a	897 ^a	885 ^a	883 ^a	900 ^a	36	890 ^a
Zegveld	893 ^a	901 ^a	894 ^a	902 ^a	906 ^a	907 ^a	36	901 ^a
gemiddeld	900	903	896	895	902	899		
LSD Locatie (P<0,05)								15
DVE								
Aver Heino	79 ^a	79 ^a	77 ^a	81 ^a	81 ^a	82 ^a	6	80 ^a
Cranendonck	84 ^{ab}	84 ^{ab}	80 ^a	86 ^{ab}	89 ^b	85 ^{ab}	6	85 ^{bc}
Waiboerhoeve	79 ^a	80 ^a	80 ^a	84 ^a	83 ^a	85 ^a	6	82 ^{ab}
Zegveld	86 ^a	87 ^a	87 ^a	89 ^a	90 ^a	89 ^a	6	88 ^c
gemiddeld	82	82	81	85	86	85		
LSD Locatie (P<0,05)								3
OEB								
Aver Heino	-13 ^{ab}	-10 ^{ab}	-16 ^a	-4 ^{ab}	-2 ^b	-6 ^{ab}	12	-9 ^a
Cranendonck	0 ^a	-3 ^a	-1 ^a	17 ^b	14 ^b	26 ^b	12	9 ^c
Waiboerhoeve	-7 ^a	-4 ^a	-7 ^a	12 ^b	10 ^b	9 ^b	12	2 ^b
Zegveld	16 ^a	12 ^a	18 ^a	23 ^a	24 ^a	22 ^a	12	19 ^d
gemiddeld	-1	-1	-1	12	11	13	12	
LSD Locatie (P<0,05)								5
RC								
Aver Heino	226 ^{ab}	228 ^{ab}	231 ^b	224 ^{ab}	217 ^a	224 ^{ab}	12	225 ^c
Cranendonck	227 ^a	223 ^a	225 ^a	230 ^a	231 ^a	228 ^a	12	227 ^c
Waiboerhoeve	215 ^a	214 ^a	212 ^a	219 ^a	219 ^a	219 ^a	12	216 ^b
Zegveld	207 ^a	209 ^a	210 ^a	208 ^a	210 ^a	207 ^a	12	209 ^a
gemiddeld	219	219	220	220	219	220		219
LSD Locatie (P<0,05)								5

Voor DVE, OEB en RC is de factor locatie significant. Alleen voor OEB is behandeling binnen locatie significant. Op de locaties Cranendonck en Waiboerhoeve is de OEB op de N180 significant lager dan op N300. Voor de overige bepalingen (VEM, DVE en RC) zijn verschillen binnen de locaties klein, slechts een enkele keer significant en niet systematisch voor de behandelingen.

Tabel 11 Kalium-, magnesium-, natrium- en calciumgehalte van het gras, g kg⁻¹ ds, gemiddeld op de objecten (2002 t/m 2004)

Locatie	N180			N300			LSD P<0.05 NxP binnen locatie	Gemiddeld
	P00	P20	P40	P00	P20	P40		
K								
Aver Heino	27,6 ^a	29,1 ^a	29,3 ^a	30,6 ^a	28,1 ^a	27,8 ^a	3,1	28,7 ^a
Cranendonck	29,4 ^b	27,1 ^{ab}	27,3 ^{ab}	27,8 ^{ab}	26,2 ^a	27,2 ^{ab}	3,1	27,5 ^a
Waiboerhoeve	31,0 ^a	31,5 ^a	30,9 ^a	32,6 ^a	31,9 ^a	32,3 ^a	3,1	31,7 ^b
Zegveld	28,4 ^a	28,4 ^a	29,2 ^a	27,5 ^a	29,1 ^a	28,3 ^a	3,1	28,5 ^a
<i>gemiddeld</i>	29,1	29,0	29,2	29,6	28,9	28,9		29,1
LSD (P<0.05) locatie								1,3
Mg								
Aver Heino	2,7 ^d	2,6 ^c	2,2 ^a	2,7 ^d	2,9 ^e	2,5 ^b	0,1	2,6 ^a
Cranendonck	2,4 ^a	2,6 ^c	2,5 ^b	2,6 ^c	2,7 ^d	2,5 ^b	0,1	2,6 ^a
Waiboerhoeve	1,4 ^b	1,5 ^c	1,3 ^a	1,5 ^c	1,5 ^c	1,4 ^b	0,1	1,4 ^a
Zegveld	2,2 ^b	2,2 ^b	2,1 ^a	2,3 ^b	2,2 ^b	2,3 ^b	0,1	2,2 ^a
<i>gemiddeld</i>	2,2	2,2	2,0	2,3	2,4	2,2		2,2
LSD (P<0.05) locatie								0,3
Na								
Aver Heino	1,6 ^b	1,5 ^{ab}	1,1 ^a	1,5 ^{ab}	1,7 ^b	1,4 ^{ab}	0,4	1,5 ^{ab}
Cranendonck	1,2 ^a	1,6 ^{ab}	1,6 ^{ab}	1,9 ^b	2,0 ^b	1,4 ^a	0,4	1,6 ^{ab}
Waiboerhoeve	0,7 ^{ab}	0,7 ^{ab}	0,6 ^a	1,0 ^a	1,1 ^b	1,1 ^b	0,4	0,9 ^a
Zegveld	2,0 ^a	2,2 ^{abc}	2,1 ^{ab}	2,6 ^c	2,3 ^{abc}	2,5 ^{bc}	0,4	2,3 ^b
<i>gemiddeld</i>	1,4	1,5	1,4	1,7	1,8	1,6		1,6
LSD (P<0.05) locatie								0,9
Ca								
Aver Heino	4,7 ^b	4,3 ^a	4,3 ^a	5,0 ^{cd}	6,1 ^d	4,9 ^{bc}	0,2	4,9 ^b
Cranendonck	4,0 ^a	4,4 ^b	4,1 ^a	4,4 ^b	4,4 ^b	4,1 ^a	0,2	4,2 ^a
Waiboerhoeve	6,8 ^a	6,8 ^a	6,9 ^a	6,8 ^a	6,9 ^a	6,9 ^a	0,2	6,9 ^c
Zegveld	4,9 ^{ab}	4,9 ^{ab}	4,7 ^a	5,0 ^{ab}	4,8 ^{ab}	5,0 ^{ab}	0,2	4,9 ^b
<i>gemiddeld</i>	5,1	5,1	5,0	5,3	5,6	5,2		5,2
LSD (P<0.05) locatie								0,6

De mineralengehalten van het gras zijn getoetst met Anova waarin jaar als herhaling geldt. Voor de getoetste mineralen behalve Mg is de factor locatie significant (P<0,05). Ook de verschillen voor NxP binnen locatie zijn significant (P<0,05). De significante verschillen zijn echter niet systematisch volgens de behandelingen.

3.3 Bodemvruchtbaarheid fosfaat

3.3.1 Gemeten P-voorraad in de bodem

Pw-getal

In Figuur 6 staan de gemeten Pw-getallen voor de vier locaties en de acht proefjaren in de verschillende bodemlagen. Bij de aanvang van de proef waren de Pw-getallen op de zandlocaties (Aver Heino en Cranendonck) in de laag 0-5 cm 39 mg P₂O₅ l⁻¹. Op de kleilocatie (Waiboerhoeve) was dat gemiddeld 51 en op de veenlocatie (Zegveld) gemiddeld 31 mg P₂O₅ l⁻¹. Op de beide zandlocaties waren de Pw-getallen in de lagen onder 5 cm circa 15 mg P₂O₅ l⁻¹ lager. Op de andere twee locaties was dit verschil groter, op veen 22 en op klei 39 mg P₂O₅ l⁻¹. Het verloop van de Pw-getallen over de jaren is grillig, in het bijzonder in de laag 0-5 cm.

PAL-getal

In Figuur 7 staan de gemeten PAL-getallen voor de vier locaties en de acht proefjaren in de verschillende bodemlagen.

De PAL-getallen in de laag 0-5 cm waren bij aanvang van de proef op alle locaties ruim voldoende of hoog. Op beide zandlocaties (Aver Heino en Cranendonck) waren de PAL-getallen in de diepere lagen (10-30 cm) ongeveer 10 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond lager. Op de andere twee locaties was dit verschil groter, op veen 35 en op klei 42 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond.

Het verloop van de PAL-getallen in de verschillende lagen is vergelijkbaar met het verloop van de Pw-getallen.

P-oxalaat

In Figuur 8 staan de gemeten P-oxalaat-gehalten voor de vier locaties en de acht proefjaren in de verschillende bodemlagen. P-oxalaat is op slechts 3 objecten gemeten: N180-P00, N180-P20 en N300-P40.

De hoeveelheid P-oxalaat in de laag 0-5 cm op de beide zandlocaties en op de kleilocatie is ongeveer 20 mmol P kg⁻¹ grond. Op de veenlocatie is de hoeveelheid circa 50 mmol P kg⁻¹ grond. Opvallend is de sterke wisseling in de laatste jaren op deze locatie.

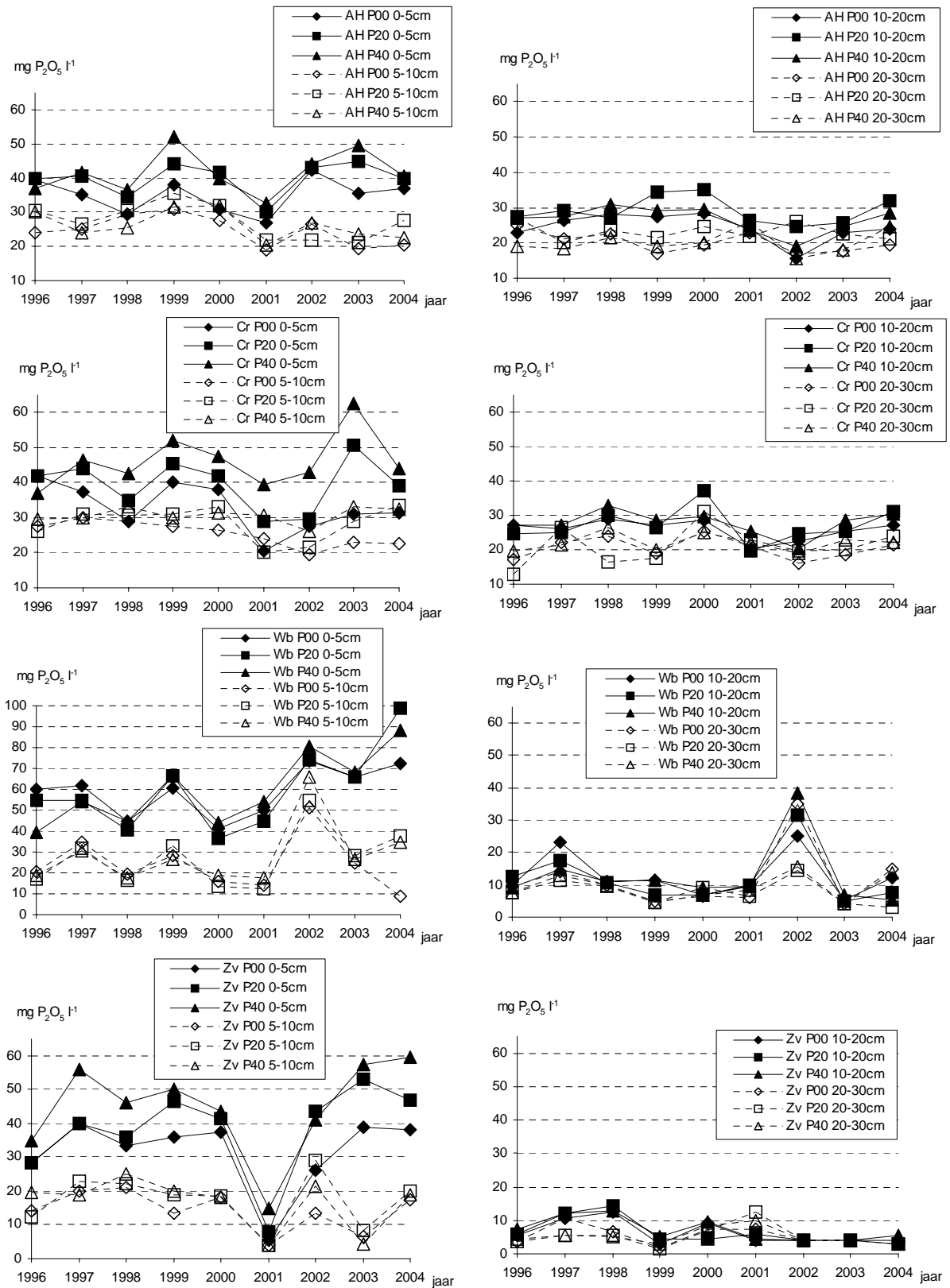
In de diepere lagen is op de zandlocatie de voorraad P-oxalaat vergelijkbaar met de laag 0-5 cm. Op de veen- en klei-locatie is de voorraad P-oxalaat circa 10 mmol P kg⁻¹ grond lager.

P-totaal

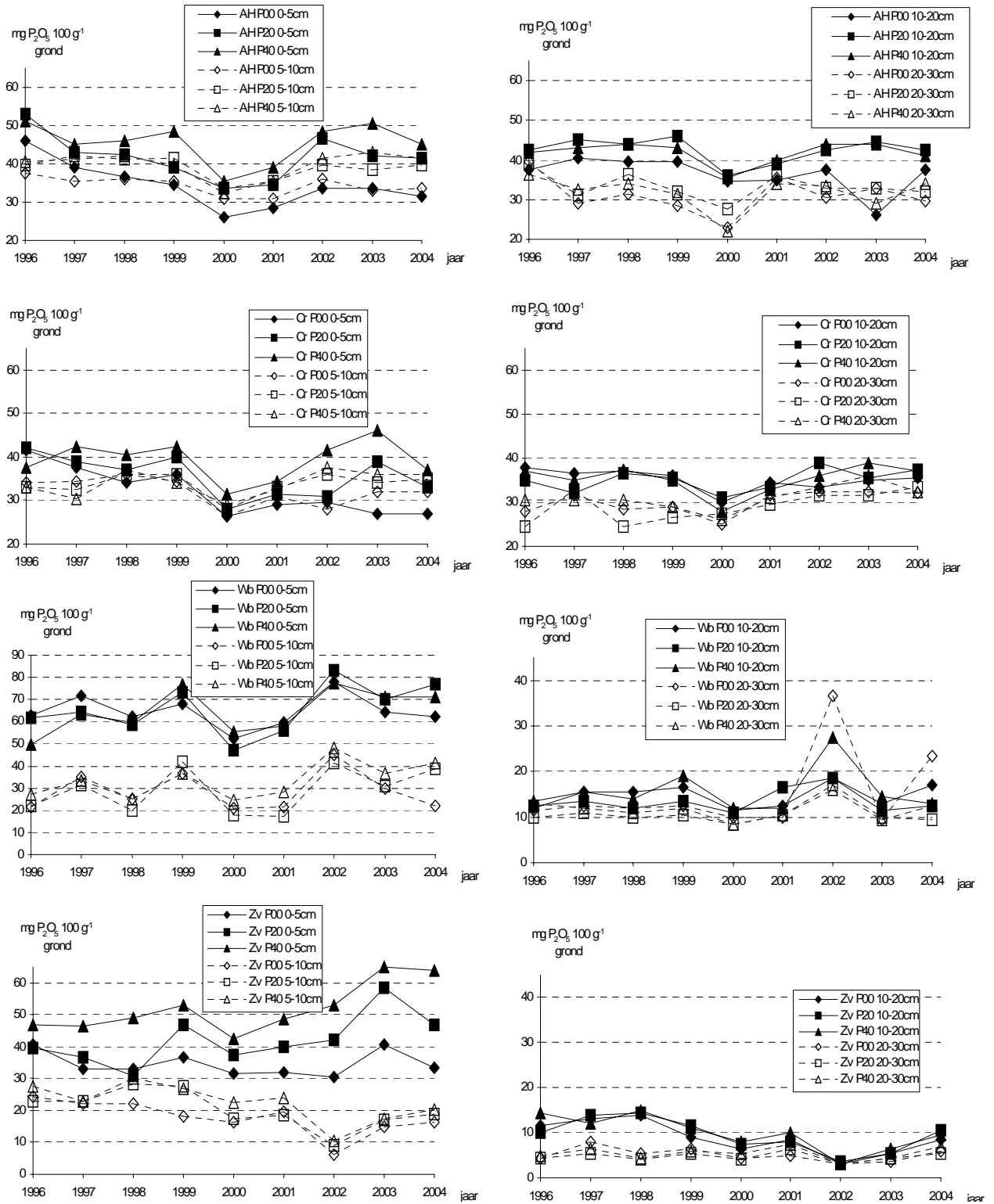
In Figuur 9 staan de gemeten P-totaal-gehalten voor de vier locaties en de acht proefjaren in de verschillende bodemlagen.

Bij aanvang van de proef was de hoeveelheid P-totaal in de laag 0-5 cm op de beide zandlocaties in dezelfde orde van grootte. Op Aver Heino bevatte de grond 177 en op Cranendonck 152 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. Op de Waiboerhoeve was het 224 en op Zegveld 615 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond.

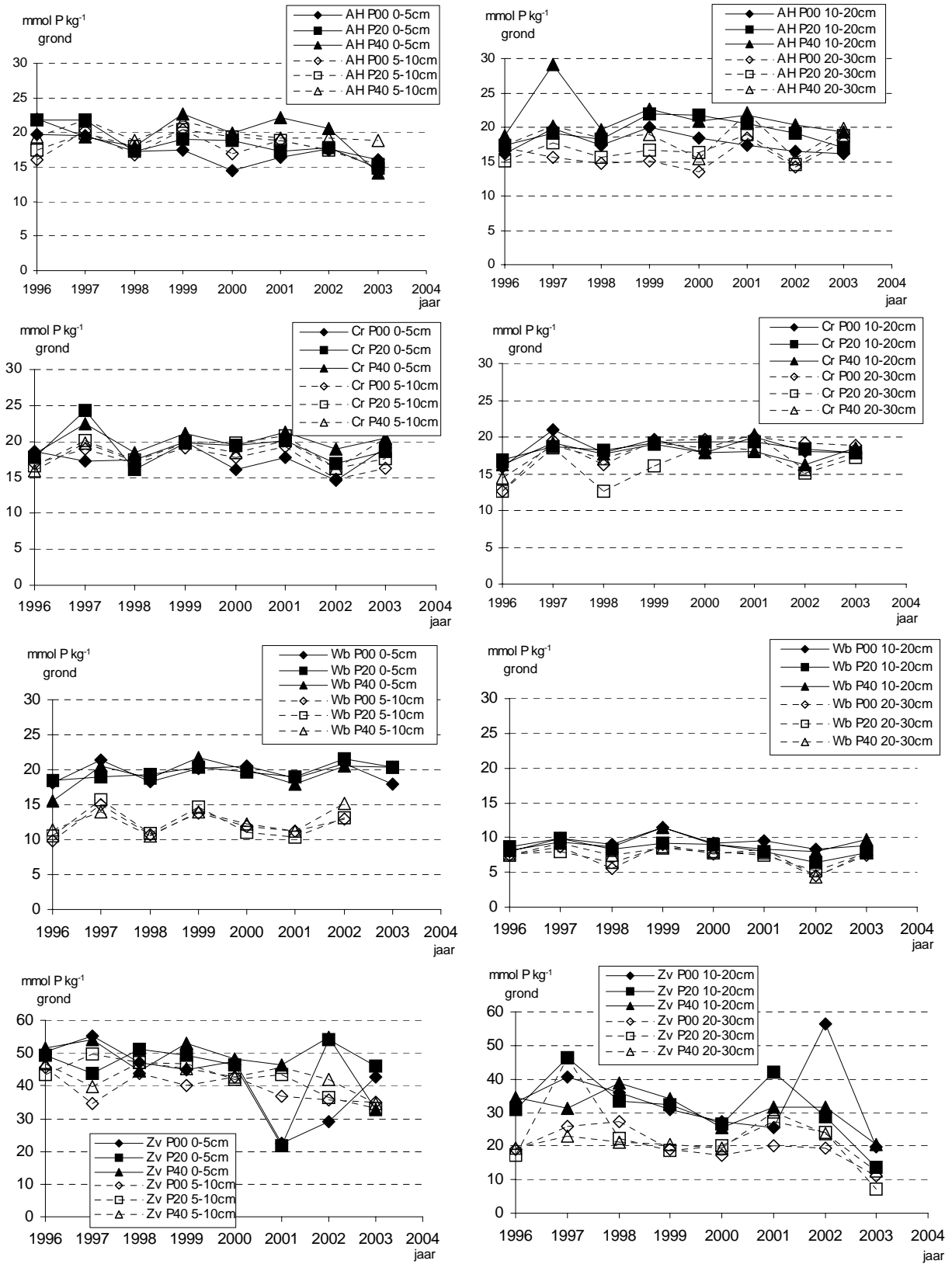
Figuur 6 Pw getal in laag 0-5, 5-10, 10-20 en 20-30 cm op de vier locaties, 1996 tot en met 2004. AH = Aver Heino, Cr = Cranendonck, Wb = Waiboerhoeve, Zv = Zegveld.



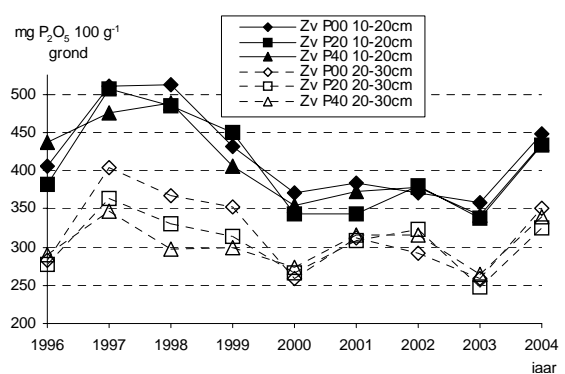
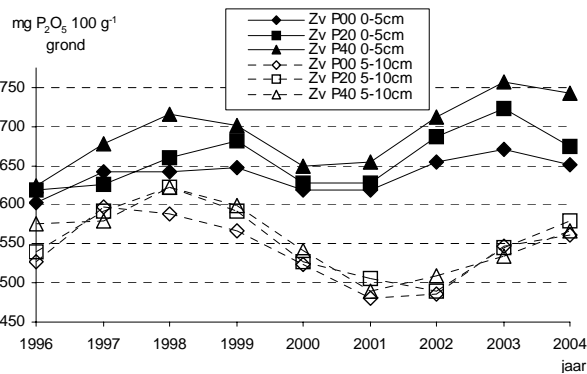
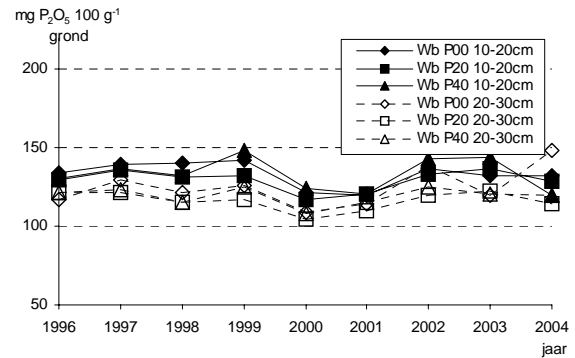
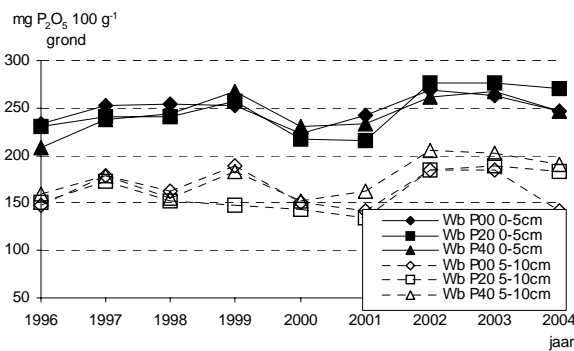
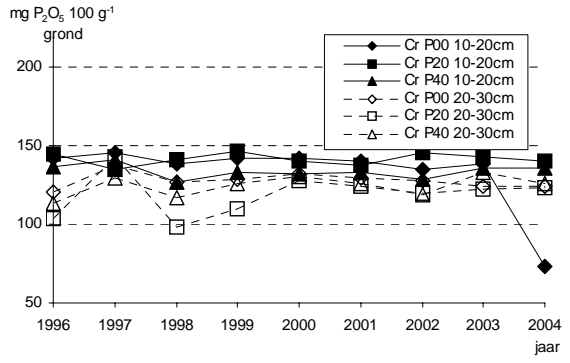
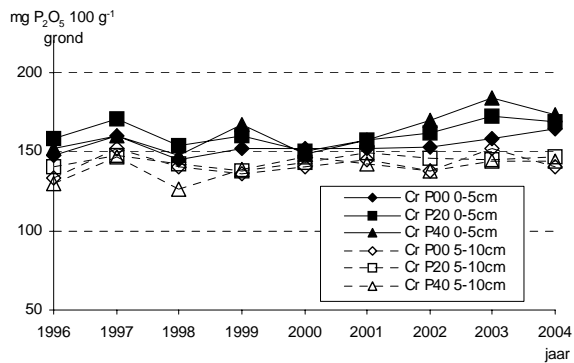
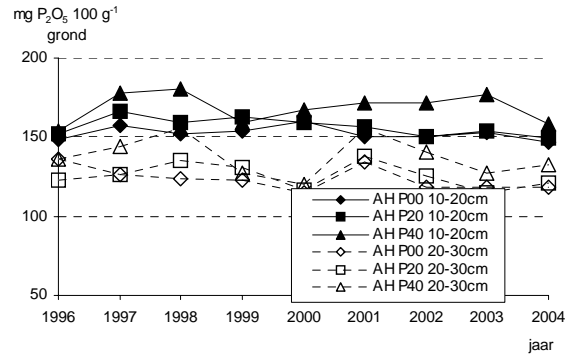
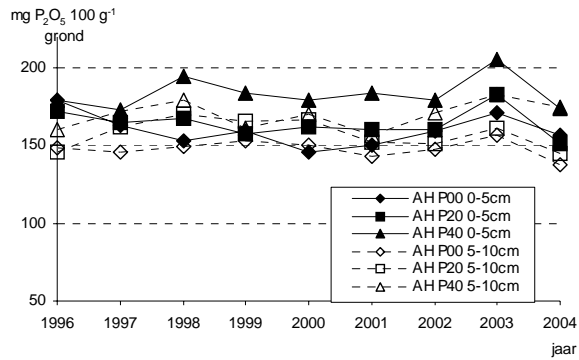
Figuur 7 PAL-getal in laag 0-5, 5-10, 10-20 en 20-30 cm op de vier locaties, 1996 tot en met 2004. AH = Aver Heino, Cr = Cranendonck, Wb = Waiboerhoeve, Zv = Zegveld.



Figuur 8 P-oxalaat in laag 0-5, 5-10, 10-20 en 20-30 cm op de vier locaties, 1996 tot en met 2004. AH = Aver Heino, Cr = Cranendonck, Wb = Waiboerhoeve, Zv = Zegveld.



Figuur 9 P-totaal in laag 0-5, 5-10, 10-20 en 20-30 cm op de vier locaties, 1996 tot en met 2004. AH = Aver Heino, Cr = Cranendonck, Wb = Waiboerhoeve, Zv = Zegveld.



3.3.2 Statistische analyse P-voorraad in de bodem met REML

Pw-getal

De analyse voor de hoogte van het Pw-getal zijn de hoofdeffecten bodemlaag, P-trap, N-trap en grondsoort significant. Verder zijn nog een aantal interacties tussen deze factoren en de factoren jaar en locatie significant. Kennelijk zijn de reacties op de behandelingen niet alle jaren gelijk en is er verschil tussen de grondsoorten maar ook tussen de beide zandgronden in reactie van Pw-getal. De modeluitkomsten van Pw-getal en de waarnemingen zijn weergegeven in Figuur 10.

Voor alle locaties is in de laag 0-5 cm het effect van de P-trappen op de hoogte van de Pw-getallen significant. Aan het eind van de meetperiode wordt de hoogste Pw gevonden op object P40 en de laagste op Ptrap P00. Het Pw-getal van P20 neemt een positie tussen deze beide in.

In de nu volgende alinea's worden de resultaten van de REML analyse weergegeven.

Op de locatie Aver Heino is het Pw-getal bij de aanvang van de proef in 0-5 cm circa 40 mg P₂O₅ l⁻¹. Het Pw-getal in de laag 0-5 cm daalt op P00 N180 10 mg P₂O₅ l⁻¹ en daalt op P00 N300 5 mg P₂O₅ l⁻¹. Het Pw-getal van P20 N180 daalt 8 mg P₂O₅ l⁻¹ en van P20 N300 blijft het Pw-getal gelijk (i.t.t. de verwachting). Het Pw-getal van P40 N180 stijgt 8 mg P₂O₅ l⁻¹ en van P40 N300 stijgt minder, 3 mg P₂O₅ l⁻¹.

In de laag 5-10 cm daalt het Pw-getal van P00 N180 9 mg P₂O₅ l⁻¹. Op de overige objecten in de lagen 5-10 en 10-20 cm daalt het Pw-getal 1 tot 5 mg P₂O₅ l⁻¹ over 8 jaar. De daling is niet systematisch volgens het P-overschot (een hogere P-trap geeft geen kleinere daling). In de laag 20-30 cm is het Pw-getal gemiddeld over de objecten gelijk gebleven, de stijgingen en dalingen zijn gering: de veranderingen van de Pw-getallen variëren tussen 3 mg P₂O₅ l⁻¹ daling en 3 mg P₂O₅ l⁻¹ stijging in een periode van 8 jaar. De stijgingen en dalingen zijn niet systematisch volgens de P-overschotten.

Op de locatie Cranendonck is het Pw getal bij aanvang van de proef in 0-5 cm circa 40 mg P₂O₅ l⁻¹. Het Pw-getal in de laag 0-5 cm op P00 daalt 7 mg P₂O₅ l⁻¹. Het Pw-getal van P20 N180 daalt 7 mg P₂O₅ l⁻¹ en het Pw-getal van P20 N300 blijft gelijk (i.t.t. de verwachting). Het Pw-getal op P40 stijgt 8 mg P₂O₅ l⁻¹.

In de laag 5-10 cm op P40 N180 daalt het Pw-getal 1 mg P₂O₅ l⁻¹ gedurende 8 jaar. Op de overige objecten in de lagen 5-10 en 10-20 cm dalen de Pw-getallen 3 tot 9 mg P₂O₅ l⁻¹ gedurende 8 jaar maar de daling is niet systematisch volgens de P-overschotten. In de laag 20-30 cm is het Pw-getal gemiddeld gelijk gebleven, de stijgingen en dalingen variëren tussen 7 mg P₂O₅ l⁻¹ daling en 1 mg P₂O₅ l⁻¹ stijging in een periode van 8 jaar. De stijgingen en dalingen zijn niet systematisch volgens de P-overschotten.

Op de Waiboerhoeve vertonen de Pw-getallen vanaf het begin van de proef een grote variatie over de jaren die afneemt met de diepte. In de laag 0-5 cm varieert het Pw-getal van 40 tot 60 mg P₂O₅ l⁻¹ en in 20-30 cm van 7 tot 10 mg P₂O₅ l⁻¹. Ondanks deze grote variantie zijn significante dalingen en stijgingen gevonden. In de laag 0-5 cm stijgt het Pw-getal op P00 5 mg P₂O₅ l⁻¹. Het Pw-getal op P20 stijgt 12 mg P₂O₅ l⁻¹ en op P40 22 mg P₂O₅ l⁻¹. In de laag 5-10 stijgt het Pw-getal 5 tot 10 mg P₂O₅ l⁻¹, de stijgingen zijn niet systematisch volgens het P-overschot. In de diepere lagen (10-20 en 20-30) dalen alle Pw-getallen 2 mg P₂O₅ l⁻¹.

Op de locatie Zegveld is het Pw-getal in 0-5 cm bij aanvang 28 tot 35 mg P₂O₅ l⁻¹. In de laag 0-5 cm op object P40 daalt het Pw-getal licht, 2 mg P₂O₅ l⁻¹ over 8 jaar. Het Pw-getal op P20 daalt 10 mg P₂O₅ l⁻¹ en de P00 in deze laag 13 mg P₂O₅ l⁻¹.

Op de locatie Zegveld daalt in de laag 0-5 cm op object P00 het Pw-getal 13 mg P₂O₅ l⁻¹ over 8 jaar. Het Pw-getal op P20 daalt 10 en de P40 daalt licht 2 mg P₂O₅ l⁻¹.

In de laag 5-10 cm dalen het Pw-getal van alle objecten even sterk 12 mg P₂O₅ l⁻¹. In de lagen 10-20 en 20-30 daalt of stijgt het Pw-getal niet. De Pw-getallen in deze lagen zijn zo laag dat ze vaak onder de detectie grens van 4 mg P₂O₅ l⁻¹ vallen. Er is dus een ondergrens.

Algemeen Pw-getal

Op alle locaties zijn significante veranderingen van het Pw-getal in de laag 0-5 cm systematisch volgens het P-overschot.

Op de beide zandlocaties, in de laag 0-5 cm daalt het Pw-getal op P00 5-10 mg P₂O₅ l⁻¹, op P20 daalt het Pw-getal 0 tot 8 mg P₂O₅ l⁻¹. Op P40 stijgt het Pw-getal 3-8 mg P₂O₅ l⁻¹. In de laag 5-10 cm en 10-20 cm dalen de Pw-getallen 1 tot 9 mg P₂O₅ l⁻¹ maar de dalingen zijn niet systematisch volgens de P-overschotten. In de laag 20-30 cm veranderen de Pw-getallen van 7 mg P₂O₅ l⁻¹ daling naar 3 mg P₂O₅ l⁻¹ stijging maar de veranderingen zijn niet systematisch volgens de P-overschotten.

**Op de kleigrond stijgen in 0-5 cm alle Pw-getallen: de P00 5, de P20 12 en de P40 22 mg P₂O₅ l⁻¹. In de laag 5-10 cm stijgen de Pw-getallen 5-10 mg P₂O₅ l⁻¹, niet systematisch volgens de P-overschotten. In de lagen 10-20 en 20-30 dalen alle Pw-getallen 2 mg P₂O₅ l⁻¹.
Op de veengrond daalt in 0-5 cm het Pw-getal op P00 13, op P20 10 en op P40 2 mg P₂O₅ l⁻¹. In de laag 5-10 cm daalt het Pw-getal van alle objecten even sterk met 12 mg P₂O₅ l⁻¹. In de lagen 10-20 en 20-30 daalt of stijgt het Pw-getal niet.**

PAL-getal

Voor de hoogte van het PAL-getal zijn de hoofdeffecten bodemlaag, P-trap, en grondsoort significant. Verder zijn nog een aantal interacties tussen deze factoren en de factoren jaar en locatie significant. Er is dus verschil in reactie tussen de grondsoorten maar ook tussen de beide zandgronden.

De modeluitkomsten en de waarnemingen van het PAL-getal zijn weergegeven in Figuur 11.

Voor alle locaties zijn in de laag 0-5 cm de P-trappen terug te vinden in de hoogte van de PAL-getallen. Aan het eind van de meetperiode wordt de hoogste PAL-getal gevonden op object P40 en de laagste op Ptrap P00. P20 neemt een positie tussen deze beide in.

In de nu volgende alinea's worden de resultaten van de REML analyse weergegeven.

Op de locatie Aver Heino, in de laag 0-5 cm, daalt het PAL-getal op P00 12 en op P20 7 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. Op P40 zijn de PAL-getallen gelijk gebleven. Het PAL-getal in de laag 0-5 cm viel bij de aanvang van de proef in de klasse ruim voldoende, gemiddeld 50 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond, voor het hele proefveld. Hoewel op P00 het PAL-getal dus fors is gedaald, vooral in de eerste jaren van de proef, valt het PAL-getal in 0-5 cm nog steeds in de klasse voldoende. In deze klasse mag slechts een klein effect van PAL-getal en/of P-bemesting op de drogestofopbrengst verwacht worden.

In de laag 5-10 en 10-20 cm is de P00 heel licht gedaald, 3 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond in de meetperiode van 8 jaar. Beide andere objecten, P20 en P40, zijn gelijk gebleven in deze lagen. In de laag 20-30 cm zijn alle PAL-getallen gelijk gebleven.

Op de locatie Cranendonck is de verandering van het PAL-getal vergelijkbaar als op Aver Heino: in de laag 0-5 cm daalt het PAL-getal mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond op P00 14. Het PAL-getal was bij de aanvang van de proef 40 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond (ruim voldoende) en zit na 8 jaar in de klasse voldoende. Op P20 daalt het PAL-getal 6 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. Het PAL-getal op P40 daalt of stijgt niet.

In de laag 5-10 cm daalt de P00 4, de P20 2 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond en de P40 stijgt 2 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. In de diepere lagen dalen alle PAL-getallen licht gemiddeld met 0,5 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond.

Op de locatie Waiboerhoeve is ook de variatie in PAL-getal groot, ook bij de aanvang van de proef (39 – 63 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond). Desondanks duiden de modelresultaten wel op significante veranderingen. In de laag 0-5 cm is het PAL-getal op P00 gelijk gebleven over de meetperiode en dus in de klasse ruim voldoende gebleven. De P20 stijgt 11 en de P40 stijgt 17 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. In de laag 5-10 cm stijgt het PAL-getal op P00 4, op P20 8 en op P40 10 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. In de lagen 10-30 cm stijgt het PAL getal licht met circa 2 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond, maar niet systematisch volgens het P-overschot.

Op de locatie Zegveld is het PAL-getal in de laag 0-5 cm op het object P00 gelijk gebleven en is dus in de klasse ruim voldoende gebleven. Het PAL-getal op P20 stijgt 10 en op P40 17 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. In de laag 5-10 cm daalt het PAL-getal op P00 14 en op P20 en P40 dalen de PAL-getallen 11 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. In de laag 10-20 cm daalt het PAL-getal 6-7 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond, niet systematisch volgens het P-overschot. Aan het eind van de meetperiode zit het PAL-getal rond de detectie grens (2 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond). In de laag 20-30 cm is het PAL-getal heel licht gedaald. Dit is het gevolg van het feit dat bij de start van de proef het PAL-getal al zeer laag was en vrijwel niet meer kon dalen.

Algemeen PAL-getal

Op alle locaties zijn significante veranderingen van het PAL-getal in de laag 0-5 cm systematisch volgens het P-overschot.

Op de beide zandlocaties, in de laag 0-5 cm, daalt het PAL-getal op P00 12 tot 14 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond, op P20 6 tot 7 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond en blijft het PAL-getal op P40 gelijk. In de laag 5-10 cm daalt het PAL-getal P00 licht, blijft gelijk of daalt licht op P20 en blijft gelijk of stijgt licht op P40. In de lagen 10-30 cm is er vrijwel geen verandering in de PAL-getallen.

Op de klei- en veengrond in 0-5 cm blijft het PAL-getal op P00 gelijk, stijgt het PAL-getal op P20 met 10 tot 11 en op P40 met 17 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond.

Op kleigrond stijgt het PAL-getal in 5-10 cm: op P00 met 4, op P20 met 8 en op P40 met 10 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. In 10-30 cm stijgen de PAL-getallen op alle P-overschotten met 2 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond.

Op veengrond dalen de PAL-getallen in 5-10 cm, op P00 met 14, op P20 en P40 met 11 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. In 10-20 cm dalen de PAL-getallen op alle objecten van 6 tot 7 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. In 20-30 cm veranderen de PAL-getallen niet.

P-oxalaat

De waarden van P-oxalaat zijn qua trend minder nauwkeurig statistisch te analyseren omdat niet op alle objecten ieder jaar oxalaat bepalingen zijn uitgevoerd. Op het N180 object zijn de P20 en P00 gemeten en op het N300 object de P40. Met REML is op de objecten waar P-oxalaat niet gemeten is, op basis van de gemeten objecten, een verloop van het P-oxalaat ingeschat. Voor de factoren bodemlaag, P-trap, N-trap, jaar en grondsoort zijn de hoofdeffecten significant. Verder zijn alle 2-weg interacties van de hoofdeffecten met grondsoort significant. Kennelijk verschillen de grondsoorten onderling in reactie van P-oxalaat maar reageren de beide zandgronden vergelijkbaar. De modeluitkomsten en de waarnemingen van P-oxalaat zijn weergegeven in Figuur 8.

In de nu volgende alinea's worden de resultaten van de REML analyse weergegeven.

Op de locatie Aver Heino daalt de P-oxalaat in de laag 0-5 cm op P00 en P20 met 4 mmol P kg⁻¹ grond. Het aanvangsniveau is circa 20 mmol P kg⁻¹ grond. In de laag 5-10 cm daalt de P-oxalaat op deze objecten 2 en in 10-20 cm nog maar 1 mmol P kg⁻¹ grond. In de laag 20-30 cm stijgt de P-oxalaat 1 mmol P kg⁻¹ grond. De P-oxalaat op P40 verandert in geen enkele laag.

Op de locatie Cranendonck daalt de P-oxalaat in de laag 0-5 cm op P00 en P20 4 mmol P kg⁻¹ grond. Het aanvangsniveau is circa 18 mmol P kg⁻¹ grond. In de laag 5-10 cm en 10-20 cm daalt de P-oxalaat op deze objecten 1 mmol P kg⁻¹ grond en stijgt in de laag 20-30 1 mmol P kg⁻¹ grond. De P-oxalaat op P40 daalt in de bovenste laag (0-5 cm) minder (2 mmol P kg⁻¹ grond) maar in de overige lagen is er (vrijwel) geen verschil met de overige objecten.

Op de Waiboerhoeve blijft de P-oxalaat zo goed als gelijk gedurende de meetperiode, in alle lagen en op alle objecten.

Op de locatie Zegveld is volgens de analyse de daling van P-oxalaat vrij groot. De P-oxalaat op P00 en P20 daalt in de laag 0-5 cm 17 mmol P kg⁻¹ grond, op P40 7 mmol P kg⁻¹ grond. Het aanvangsniveau in de laag 0-5 cm is wel hoger dan op de andere locaties, circa 50 mmol P kg⁻¹ grond.

In de diepere lagen treedt er ook een daling op maar die is niet systematisch volgens de P-trappen. De P-oxalaat op P00 daalt minder (4-6 mmol P kg⁻¹ grond) dan op P20 (8-20 mmol P kg⁻¹ grond) en afhankelijk van de laag evenveel of harder dan op P40 (9-10 mmol P kg⁻¹ grond).

Algemeen P-oxalaat:

Op Aver Heino daalt P-oxalaat significant in 0-5 en 5-10 cm op P00 en P20 licht (3 mmol P kg⁻¹ grond), in de overige lagen en op P40 is er geen verandering.

Cranendonck daalt de P-oxalaat in de laag 0-5 en 5-10 cm licht op alle objecten, circa 2 mmol P kg⁻¹ grond. In de overige lagen is er geen verandering.

Op de Waiboerhoeve is er vrijwel geen significante verandering in de objecten en lagen in P-oxalaat. Zegveld daalt de P-oxalaat in alle lagen en op alle objecten maar de dalingen zijn niet systematisch volgens en met kleine verschillen tussen P-overschotten. De dalingen zijn circa 10 mmol P kg⁻¹ grond in 0-5 cm, circa 6 mmol P kg⁻¹ grond in 5-10 cm en circa 10 mmol P kg⁻¹ grond in 10-20 cm en 20-30 cm. Relatief zijn dit grote veranderingen. In de lagen 0-5 en 5-10 komt op zand- en kleigrond 1 eenheid overeen met 40-50 kg P₂O₅ per ha en in lagen 10-20 en 20-30 cm met 80-100 kg P₂O₅ per ha.

P-totaal

De hoofdeffecten bodemlaag, P-overschot, N-overschot en grondsoort zijn significant. Daarnaast zijn een groot aantal interacties tussen deze en de factor jaar en locatie eveneens significant. Ook hier verschillen de grondsoorten maar ook de beide zandgronden onderling. De modeluitkomsten en de waarnemingen van P-totaal zijn weergegeven in Figuur 13.

Op de locaties Aver Heino en Cranendonck zijn de P-totaal gehalten van de bodem vrijwel niet veranderd in de meetperiode. Incidenteel daalt of stijgt in een enkele bodemlaag het P-totaal gehalte met circa 10 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond.

In de nu volgende alinea's worden de resultaten van de REML analyse weergegeven.

Op de locatie Waiboerhoeve, in de laag 0-5 cm, stijgt P-totaal op P00 20 tot 30 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. Op P20 N180 en P40 N180 stijgt P-totaal met 40 en op P20 N300 en P40 N300 met 70 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond.

In de lagen 5-10 cm stijgt P-totaal op de N180 op alle P-overschotten 20 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. Op de N300 stijgt P-totaal op P00 10, op P20 20 en op P40 50 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. De volgorde van de stijging is dus systematisch volgens het P-overschot. In de diepere lagen (10-20 en 20-30 cm) is er geen significante stijging of daling.

Op de locatie Zegveld in de laag 0-5 cm stijgt P-totaal op alle objecten. Op P00 N180 en P20 N180 stijgt P-totaal 80 en op P40 N180 40 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. Op de N300 is het beeld net anders: P-totaal op P00 N300 en P20 N300 stijgen ongeveer even sterk met 60 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. P-totaal op P40 N300 stijgt sterker met 100 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond.

In de diepere lagen daalt P-totaal op alle objecten. In de laag 5-10 cm daalt P-totaal op P00 70, op P20 50 en op P40 90 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond, dus niet systematisch volgens de P-overschotten. Op de N300 daalt P-totaal wel systematisch volgens het P-overschot: P-totaal op P00 daalt 90, op P20 60 en op P40 30 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond.

Op de N180 daalt P-totaal in de diepere lagen niet systematisch volgens de P-overschotten: in 10-20 cm daalt P-totaal met circa 100 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond, in 20-30 cm met circa 40 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond.

Op de N300 daalt P-totaal in de diepere lagen wel afhankelijk van de P-overschotten. In de laag 10-20 cm daalt P-totaal op P00 120, op P20 90 en op P40 70 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. In de laag 20-30 daalt de P-totaal op P00 50 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond en P20 en P40 20 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond.

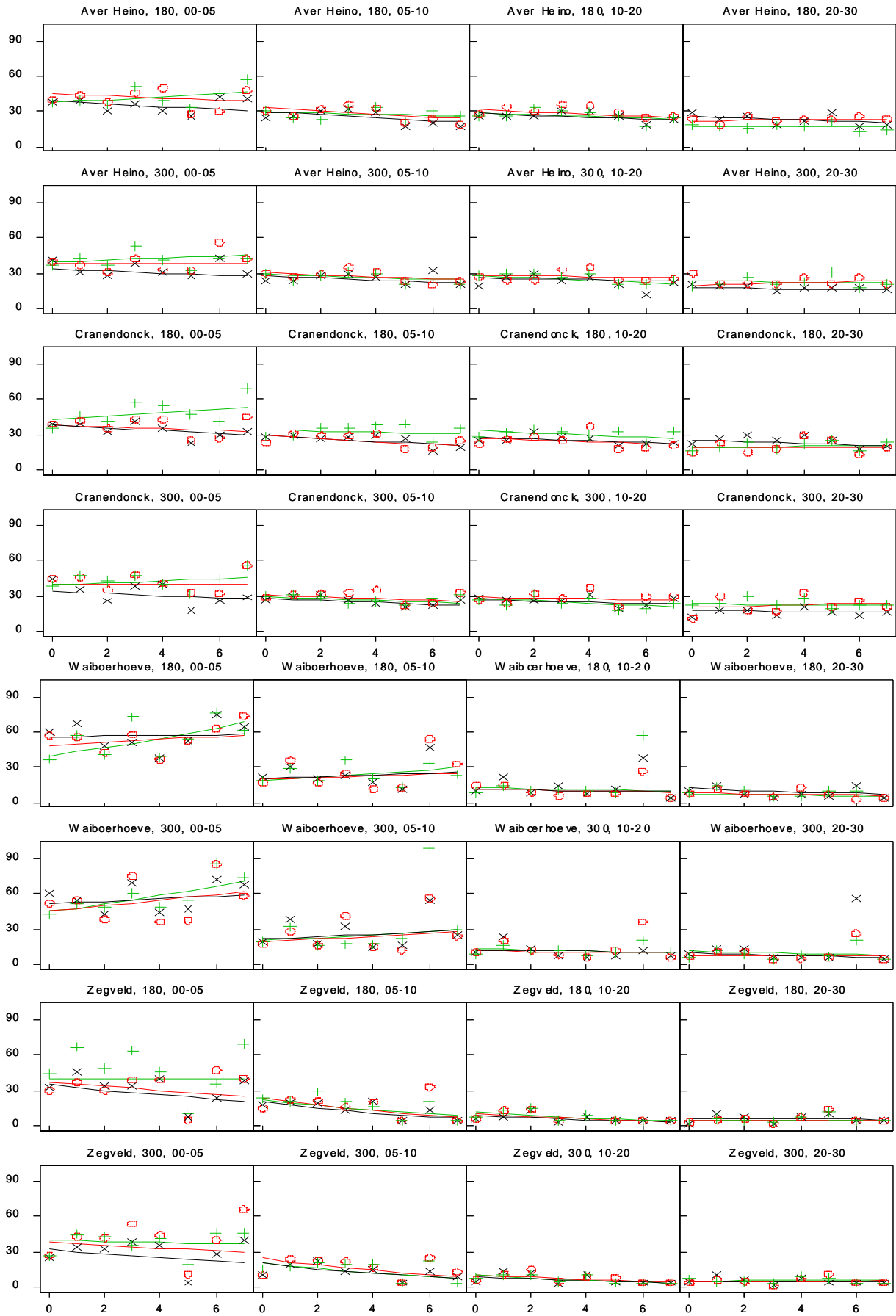
Algemeen P-totaal:

Op Cranendonck en Aver Heino verandert P-totaal vrijwel niet.

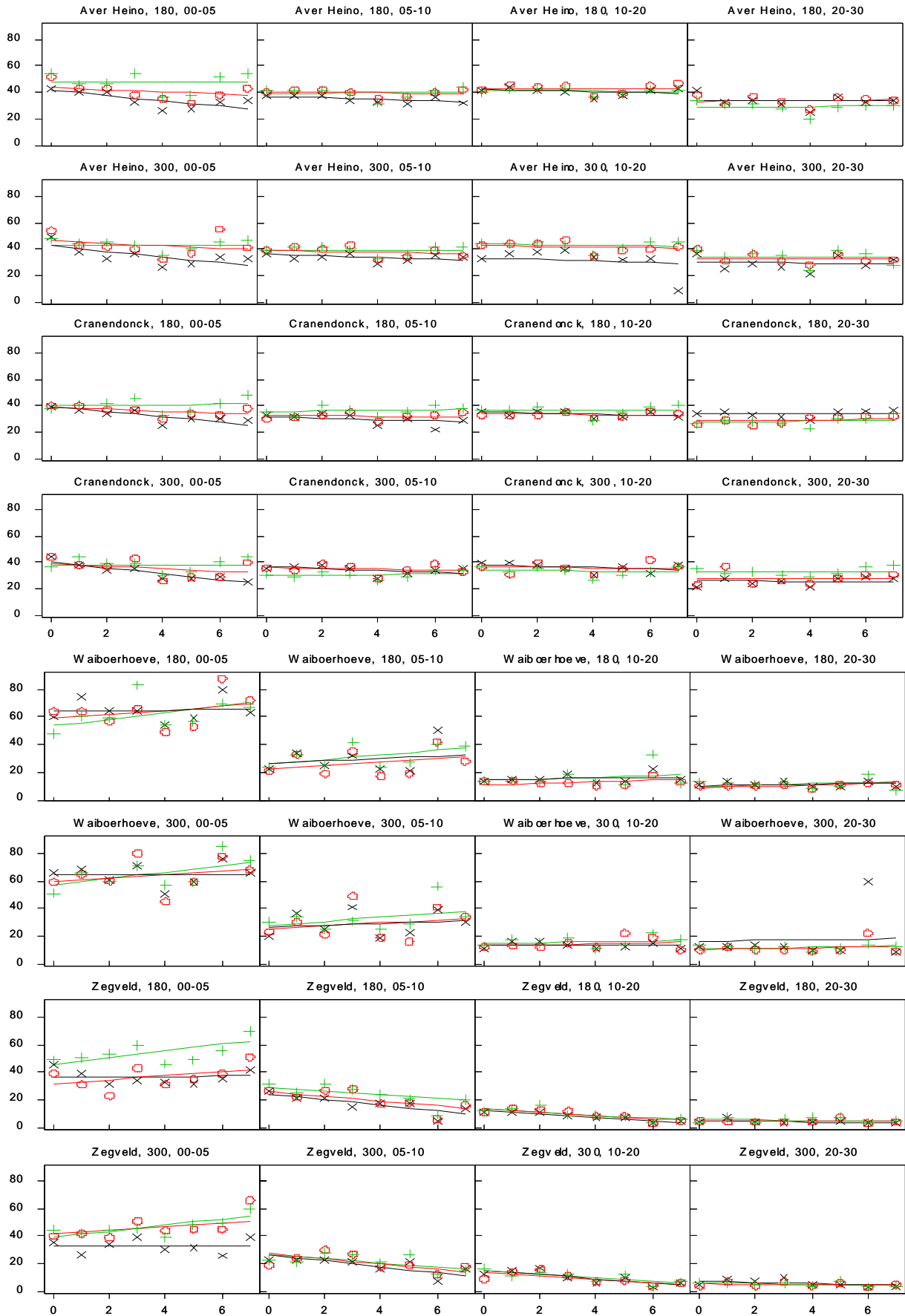
Op Waiboerhoeve stijgt P-totaal in 0-5 cm 50 en in 5-10 cm 30 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. Er is een lichte invloed van het P-overschot. Een eenheid in de laag 0-5 en 5-10 komt op klei en zand ongeveer overeen met 6 kg P₂O₅ per ha. De verandering op de Waiboerhoeve vertegenwoordigt daarmee ongeveer 500 kg P₂O₅ per ha. In de laag 10-20 en 20-30 cm verandert P-totaal niet.

Op Zegveld stijgt in de laag 0-5 cm P-totaal ongeveer 70 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond waarbij de stijging niet systematisch volgens het P-overschot is. In de diepere lagen daalt P-totaal, eveneens niet systematisch volgens P-overschot. In 5-10 cm daalt P-totaal 60, in 10-20 cm 100 en in 20-30 cm 40 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. Een eenheid in de laag 0-5 en 5-10 komt op klei en zand ongeveer overeen met 2 kg P₂O₅ per ha. De verandering in 0-10 cm vertegenwoordigt dus ongeveer 260 kg P₂O₅ per ha.

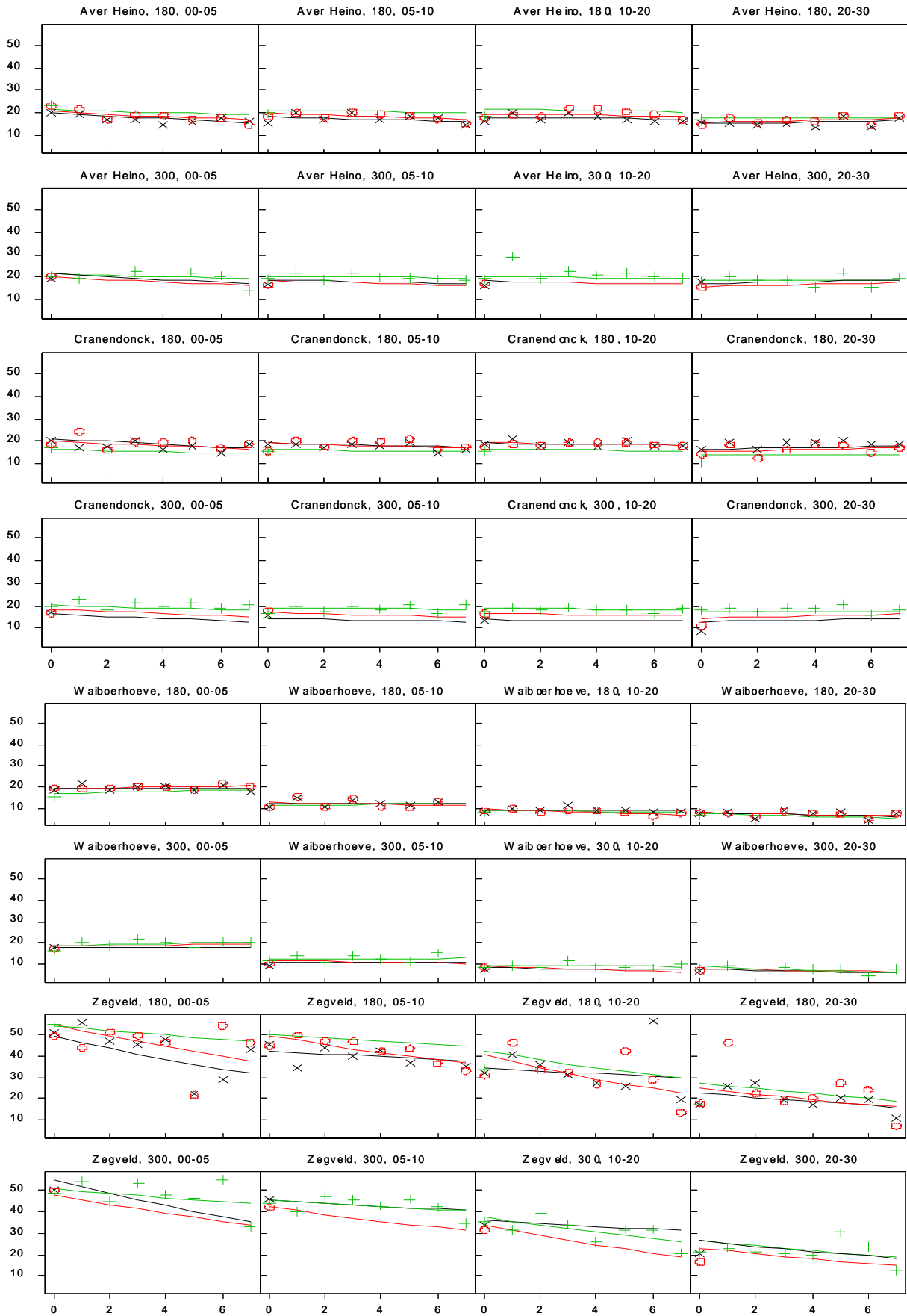
Figuur 10 Modeluitkomsten REML analyse van Pw-getal per object en locatie van jaar 0: 1996 tot en met jaar 8: 2004 (+ P40, □ P20, x P00), mg P₂O₅ l⁻¹.



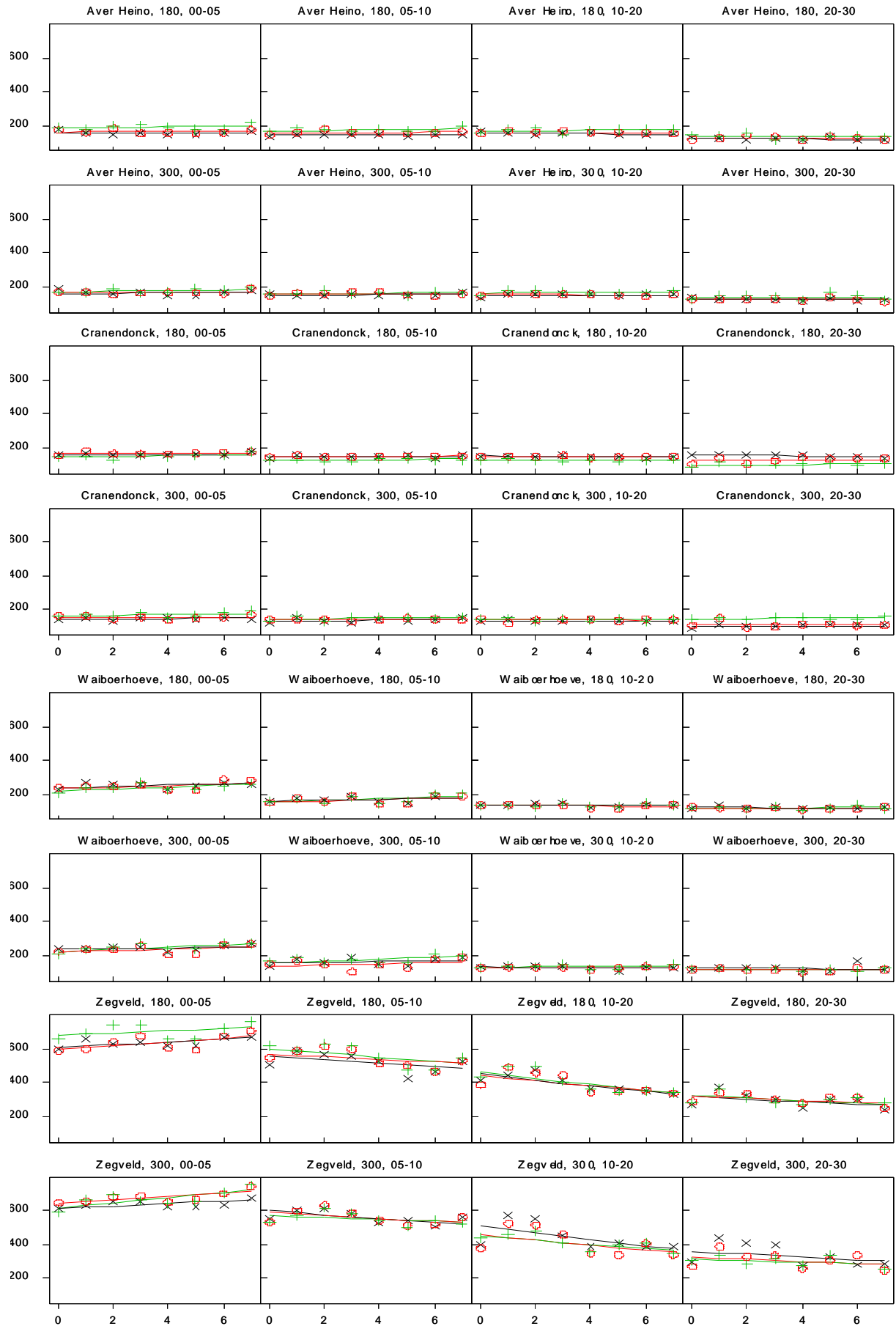
Figuur 11 Modeluitkomsten REML analyse van PAL-getal per object en locatie van jaar 0: 1996 tot en met jaar 8: 2004 (+ P40, □ P20, x P00), mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond



Figuur 12 Modeluitkomsten REML analyse van P-oxalaat per object en locatie van jaar 0: 1996 tot en met jaar 8: 2004 (+ P40, □ P20, x P00), mmol P kg⁻¹ grond



Figuur 13 Modeluitkomsten REML analyse van P-totaal per object en locatie van jaar 0: 1996 tot en met jaar 8: 2004 (+ P40, □ P20, x P00), mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond



3.4 P-voorraad in de bodem op object N300-P-100

De gemeten P-voorraden in de bodem op object N300-P-100 zijn weergegeven in Tabel 12, Tabel 13 en Tabel 14. Net als op de andere objecten is de variatie groot. Een statistische analyse van de P-voorraden in de bodem is (nog) niet zinvol.

Tabel 12 Pw-getal (mg P₂O₅ l⁻¹) op het object met N-bemesting zonder P-bemesting (N300-P-100)

Locatie	Jaar	Bodemlaag			
		0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Aver Heino	2002	38	21	18	14
	2003	31	18	18	11
	2004	30	23	18	15
Cranendonck	2002	18	19	14	11
	2003	26	26	27	22
	2004	18	26	26	14
Waiboerhoeve	2002	43	25	8	15
	2003	19	8	4	4
	2004	24	11	12	7
Zegveld	2002	41	21	4	4
	2003	22	4	4	4
	2004	37	9	4	4

Tabel 13 PAL-getal (mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond) op het object met N-bemesting zonder P-bemesting (N300-P-100)

Locatie	Jaar	Bodemlaag			
		0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Aver Heino	2002	34	35	34	29
	2003	30	35	35	3
	2004	29	30	33	28
Cranendonck	2002	32	37	40	22
	2003	33	33	42	32
	2004	26	36	37	28
Waiboerhoeve	2002	40	23	19	17
	2003	28	9	13	12
	2004	27	19	15	12
Zegveld	2002	26	4	3	3
	2003	31	11	4	3
	2004	40	9	5	4

Tabel 14 P-totaal (mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond) op het object met N-bemesting zonder P-bemesting (N300-P-100)

Locatie	Jaar	Bodemlaag			
		0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Aver Heino	2002	177	146	130	119
	2003	164	147	145	120
	2004	149	123	143	122
Cranendonck	2002	147	151	148	92
	2003	161	159	159	140
	2004	129	156	154	106
Waiboerhoeve	2002	196	145	140	124
	2003	185	143	138	130
	2004	170	149	132	122
Zegveld	2002	653	462	351	198
	2003	615	506	329	232
	2004	634	498	386	280

3.5 Fosfaatconcentraties en uitspoelingsverliezen van fosfaat

3.5.1 Fosfaatconcentraties in het bodemvocht

De gemiddelde totaal-P concentraties in het bodemvocht op de verschillende locaties liggen tussen de 0,19 en 2,09 mg l⁻¹ (Tabel 15). De hoogste concentraties zijn aangetroffen op de bedrijven in Heino en Cranendonck, de laagste concentraties in Zegveld. Over het algemeen nemen de concentraties vanaf de bovengrond naar de ondergrond af. Op de zandlocaties is deze afname vrij gering. Op Aver Heino zijn de gemiddelde concentraties in de laag 10 – 20 cm –mv. soms zelfs hoger dan in de laag van 0-5 cm. Op de Waiboerhoeve neemt de concentratie fosfaat sterk af in de diepte; in de laag 20 – 30 cm is de concentratie 30 – 85% lager dan in de bovenste 5 cm van het profiel. Ook op Zegveld neemt de concentratie fosfaat sterk af in de diepte; in de laag 20 – 30 cm –mv. is de concentratie fosfaat 75% lager dan in de laag 0 – 5 cm. Voor beide locaties neemt de fosfaat concentratie het sterkst af in de laag 5 - 10 cm –mv. De verschillen in totaal-P concentraties tussen de meetdiepten zijn significant met uitzondering van Aver Heino.

De gemiddelde totaal-P concentraties in de bovenste bodemlaag (0-5 cm) nemen op alle locaties toe met het bemestingsniveau (Tabel 15). De verschillen zijn over het algemeen echter niet significant ($\alpha < 0,05$). Een uitzondering vormt Aver Heino, waar de concentraties in de laag van 0-5 cm significant toenemen met de fosfaatbemesting. In de diepere bodemlagen is geen relatie tussen het bemestingsniveau en de gevonden concentraties. Ook aan het einde van de meetperiode (2002-2004) waren bij de diverse bemestingsniveaus de verschillen in concentraties meestal nog niet significant. Een uitzondering vormt de concentratie in de laag van 0-5 cm die bij Cranendonck en Aver Heino bij een nuloverschot significant lager was dan bij een overschot van 40 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹. De verschillen in concentratie tussen P0 en P20 en tussen P20 en P40 waren niet significant.

Tabel 15 Gemiddelde totaal-P concentratie (mg l⁻¹) en de standaardafwijking tussen () in de wortelzone in 1997-2004 per bodemlaag

Locatie	Overschot	Diepte (cm)			
		0-5	5-10	10-20	20-30
Aver Heino	N180-P0	1,57 (0,75)	1,94 (1,11)	2,09 (1,21)	1,83 (1,16)
	N180-P20	1,73 (0,51)	1,70 (1,01)	1,93 (1,06)	1,77 (1,03)
	N300-P40	1,92 (2,35)	1,51 (0,95)	1,61 (1,08)	1,93 (1,49)
Cranendonck	N180-P0	1,38 (0,84)	1,17 (0,88)	1,02 (0,79)	1,03 (0,78)
	N180-P20	1,43 (0,96)	1,04 (0,81)	0,83 (0,59)	0,84 (0,60)
	N300-P40	1,72 (0,85)	1,10 (0,72)	0,97 (0,68)	0,90 (0,68)
Waiboerhoeve	N180-P0	1,33 (0,77)	0,45 (0,36)	0,23 (0,21)	0,19 (0,20)
	N180-P20	1,47 (0,97)	0,45 (0,35)	0,26 (0,32)	0,26 (0,33)
	N300-P40	1,65 (1,35)	0,49 (0,39)	0,29 (0,32)	0,21 (0,27)
Zegveld	N180-P0	0,84 (0,56)	0,49 (0,32)	0,28 (0,13)	0,22 (0,15)
	N180-P20	0,97 (0,54)	0,46 (0,32)	0,29 (0,12)	0,30 (0,30)
	N300-P40	1,19 (0,86)	0,52 (0,36)	0,31 (0,18)	0,31 (0,25)

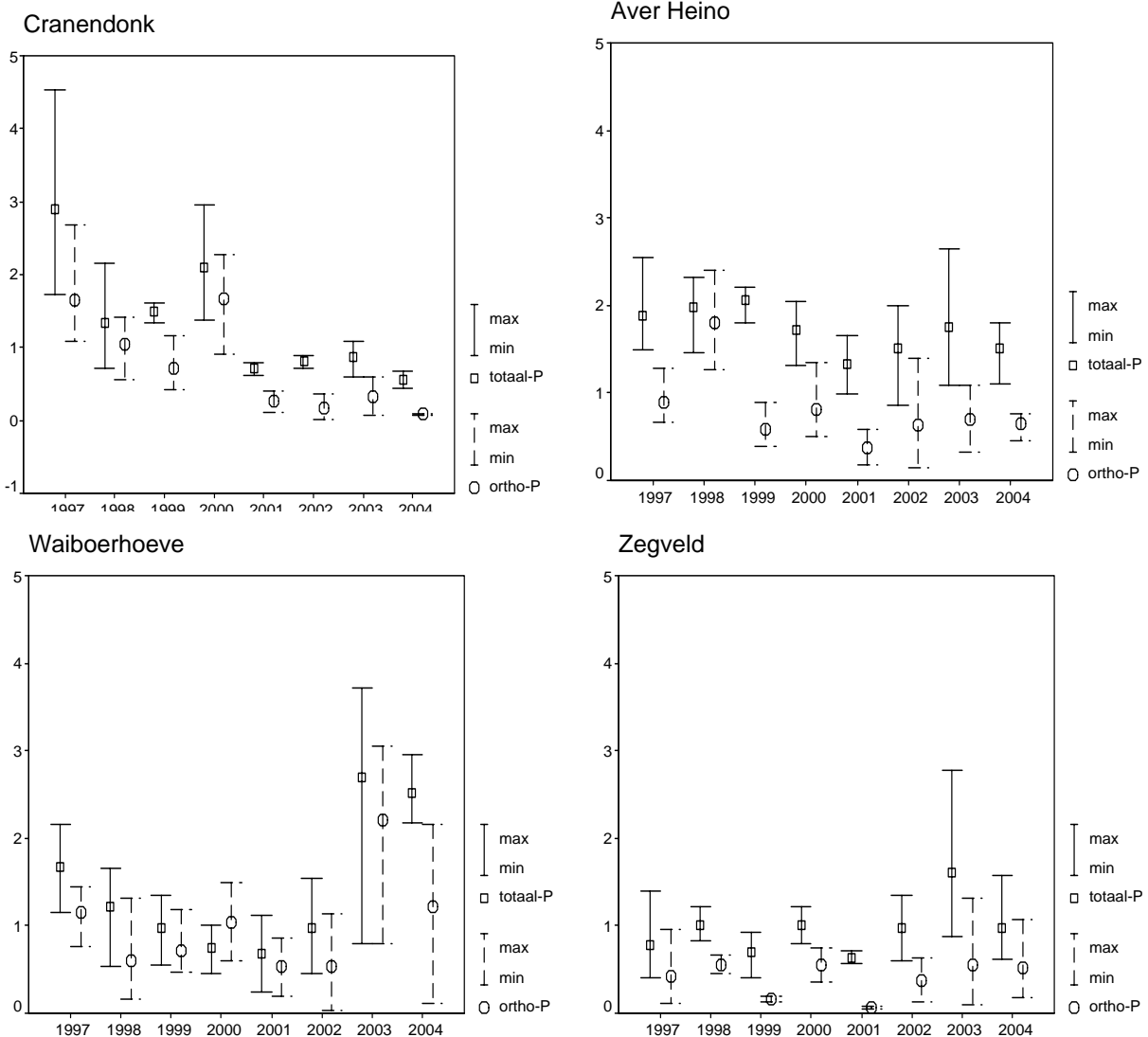
Het verloop van de ortho-P concentraties is vergelijkbaar met het verloop in totaal-P concentraties (Tabel 16). Net als bij totaal-P nemen de ortho-P concentratie af met de diepte (Tabel 16). De verschillen in gevonden ortho-P concentraties tussen meetdiepten zijn significant. Opvallend zijn de relatieve hoge ortho-P concentraties in de laag van 0-5 cm op de Waiboerhoeve; deze zijn vergelijkbaar (of zelfs hoger) met die van de op zandgronden gelegen locaties Cranendonck en Aver Heino. Net als bij totaal-P nemen bij ortho-P de concentraties in de bovenste bodemlaag toe met het bemestingsniveau. De verschillen zijn echter niet significant. In de daaronder liggende lagen worden geen effecten van het bemestingsniveau gevonden. In de laatste jaren van de proef (2002-2004) begint er zich een duidelijker effect te manifesteren in de bovenste bodemlaag van Zegveld en Cranendonck ($\alpha = 0,10$).

Tabel 16 Gemiddelde ortho-P concentratie (mg l⁻¹) en de standaardafwijking tussen () in de wortelzone in 1997-2004 per bodemlaag

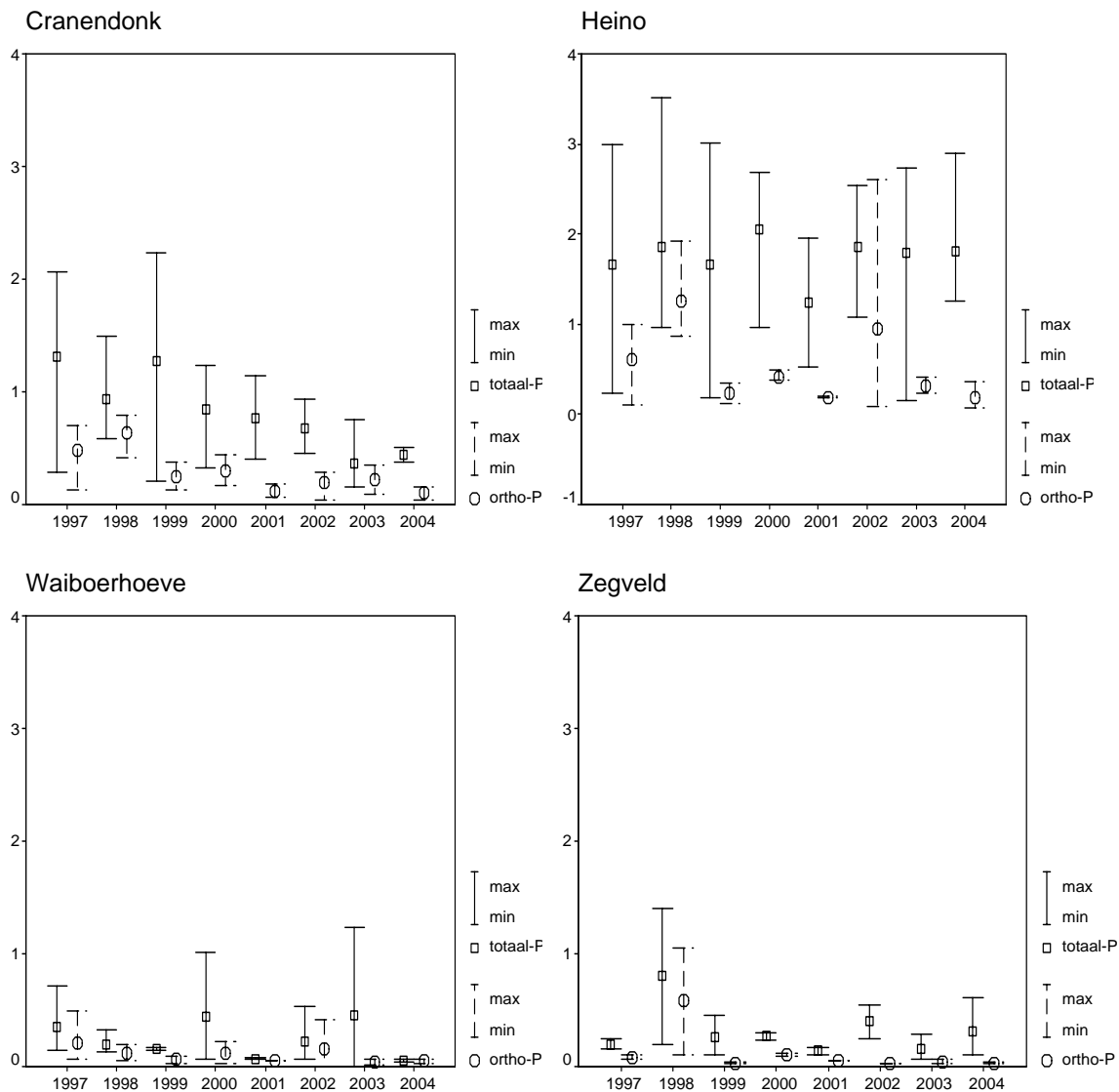
Locatie	Overschot	Diepte (cm)			
		0-5	5-10	10-20	20-30
Aver Heino	N180-P0	0,69 (0,56)	0,55 (0,60)	0,59 (0,64)	0,54 (0,76)
	N180-P20	0,81 (0,52)	0,65 (0,72)	0,64 (0,63)	0,51 (0,59)
	N300-P40	1,06 (2,16)	0,50 (0,65)	0,49 (0,64)	0,54 (0,88)
Cranendonck	N180-P0	0,56 (0,54)	0,47 (0,46)	0,36 (0,38)	0,43 (0,59)
	N180-P20	0,81 (0,75)	0,42 (0,41)	0,33 (0,28)	0,31 (0,23)
	N300-P40	0,80 (0,54)	0,35 (0,30)	0,36 (0,29)	0,40 (0,37)
Waiboerhoeve	N180-P0	0,85 (0,69)	0,21 (0,20)	0,17 (0,10)	0,08 (0,06)
	N180-P20	1,02 (0,80)	0,33 (0,20)	0,13 (0,15)	0,10 (0,12)
	N300-P40	1,14 (1,13)	0,25 (0,33)	0,10 (0,09)	0,07 (0,06)
Zegveld	N180-P0	0,32 (0,27)	0,14 (0,20)	0,09 (0,10)	0,07 (0,07)
	N180-P20	0,40 (0,37)	0,11 (0,07)	0,09 (0,13)	0,10 (0,22)
	N300-P40	0,54 (0,54)	0,12 (0,08)	0,07 (0,05)	0,08 (0,09)

Op Cranendonck lijken de fosfaatconcentraties in de tijd af te nemen. De afname is het grootst tussen 1997 en 2001, daarna blijven de concentraties vrij constant (Figuur 14 en Figuur 15). Deze daling doet zich voor bij alle bemestingsniveaus. Bij de overige locaties is geen duidelijke trend te ontdekken. Opvallend zijn de hogere concentraties in het begin jaar (1997) en in de laatste jaren (2003 en 2004) in het bijzonder op de Waiboerhoeve.

Figuur 14 Gemiddelde en standaardafwijking van de totaal-P en ortho-P concentraties (mg l⁻¹) in de bodemlaag van 0-5 cm voor vier locaties bij een N-overschot van 180 kg N ha⁻¹ en een P overschot van 20 kg P₂O₅ ha⁻¹ voor verschillende jaren



Figuur 15 Spreiding in totaal-P en ortho-P concentraties (mg l^{-1}) in de bodemlaag 20-30 cm voor vier locaties bij een N-overschot van 180 kg N ha^{-1} en een P_2O_5 overschot van $20 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ voor verschillende dieptes



Op de objecten N300-P-100 (geen P bemesting en geen beweiding) wijken de P-concentraties duidelijk af van de andere objecten (tabel 17). Op alle locaties is de fosfaatconcentratie op deze objecten in de bovengrond (0-5 cm) duidelijk lager dan bij een bemestingsniveau van N180-P20. In de diepere lagen zijn de verschillen gering. De verschillen tussen de gemeten ortho-P en totaal-P concentraties op de verschillende objecten (N300-P-100 en N180-P20) zijn significant voor Waiboerhoeve, Zegveld en Aver Heino (alleen totaal-P). Voor Cranendonck zijn de verschillen t.o.v. het N180-P20 object niet significant. De concentraties zijn echter wel significant lager dan op het N300-P40 object (zie ook van der Salm et al., 2007).

Door uitmijnen neemt op de zandlocaties de fosfaatconcentraties op de N300-P-100 toe met de diepte. De concentraties onderin de wortelzone zijn nu 2,5 tot 3 maal zo groot als aan het maaiveld. Op de andere locaties zijn de fosfaatconcentraties in de laag van 0-5 cm nog steeds groter of gelijk aan die in de ondergrond.

Tabel 17 Gemiddelde fosfaatconcentratie in de wortelzone in 2002-2004 voor de objecten zonder fosfaat (N300-P-100) en het referentieveld N180-P20

Locatie	Overschot	Diepte (cm)							
		0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	10-20	20-30
Aver Heino	N300-P-100	1,00	1,41	1,80	2,80	0,35	0,48	0,43	0,48
	N180-P20	1,63	1,64	1,79	1,81	0,67	0,46	0,48	0,44
Cranendonck	N300-P-100	0,47	0,59	0,75	1,01	0,10	0,16	0,12	0,22
	N180-P20	0,77	0,63	0,58	0,50	0,19	0,21	0,15	0,18
Waiboerhoeve	N300-P-100	0,30	0,32	0,25	0,15	0,35	0,48	0,43	0,48
	N180-P20	2,06	0,60	0,29	0,27	1,32	0,17	0,06	0,08
Zegveld	N300-P-100	0,55	0,31	0,21	0,18	0,22	0,06	0,04	0,03
	N180-P20	0,91	0,47	0,22	0,26	0,31	0,08	0,06	0,04

3.5.2 Hydrologische fluxen

3.5.2.1 Parameterisatie en calibratie van het hydrologisch model

De grondwaterstanden en hydrologische fluxen (evapotranspiratie en afvoer fluxen) zijn berekend met het model SWAP (van Dam et al., 1997). Op de proefvelden zijn grondwaterstandbuizen (peilbuizen) geplaatst, waarin gedurende de periode 1997 – 2004 iedere 14 dagen de grondwaterstand is opgenomen. De modelberekeningen zijn gevalideerd op de gemeten grondwaterstanden. In het rekenprogramma DINOxG (de Groot et al., 1998) zijn van de metingen de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) geschat. De uitkomsten zijn vergeleken met de gesimuleerde GHG en GLG over dezelfde periode. In Heino zijn in 2000 ook vochtgehalten van de bovengrond gemeten. Deze zijn gebruikt om de gesimuleerde vochtgehalten te kalibreren.

In de validatie voor de periode 1997 - 2001 kwamen de gesimuleerde grondwaterstanden en de gemeten grondwaterstanden voldoende overéén (Middelkoop et al., 2004). In de daarop volgende jaren blijkt dat vooral in het extreem droge jaar 2003 er duidelijke verschillen tussen de gesimuleerde grondwaterstanden en de gemeten grondwaterstanden zijn. Dit is een reden om per locatie de invoerparameters van het hydrologische model nog eens onder de loep te nemen. Hierbij is voor het proefveld van Cranendonck en Aver Heino gebruik gemaakt van aanvullende bodemkundige (detail)informatie. Deze informatie heeft aanleiding gegeven om de profielopbouw op Cranendonck enigszins aan te passen. Verder heeft het hydrologisch model moeite om de beperkingen in de gewasgroei tijdens de droogte in de zomer van 2003 goed te simuleren. Besloten is om in deze periode per locatie de *soil cover fraction* (SCF) aan te passen. Door deze aanpassing wordt expliciet meegenomen dat het gras na de snede aan het begin van de zomer niet meer groeit.

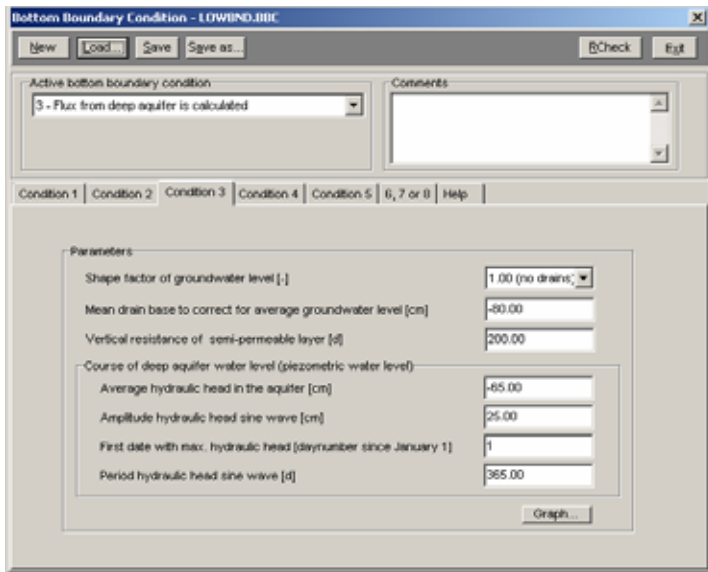
Aver Heino

Van het proefbedrijf Aver Heino is aanvullende bodemkundige informatie beschikbaar. Deze informatie is afkomstig van *de Gedetailleerde bodemkaart proefboerderij Overijssel te Heino* (1953). Van deze kaart zijn geen boorpunten beschikbaar, maar kan uit de vlakinformatie de bodemopbouw van de proefvelden worden afgeleid. Het blijkt dat de objecten op de overgang liggen van hoge esgronden naar lage beekdalgronden. De dikke humushoudende bovengrond is meestal sterk lemig, terwijl de ondergrond zwak lemig of leemarm is. De gebruikte bodem-invoerparameters staan in Tabel 18 weergegeven. Dit zijn geen bouwstenen uit de *Staring Reeks*, maar deze gegevens zijn afkomstig van metingen op de proefboerderij zelf (Groot en Hack-ten Broecke, 1999).

Tabel 18 Bouwstenen voor de proefpercelen op de proefboerderij Aver Heino

Horizont diepte	Bouwsteen	Omschrijving
0-30	Heino B2	Zwak lemig matig fijn, humushoudend zand
30-60	Heino B1	Leemarm matig fijn, humushoudend zand
60-500	Heino_so	Leemarm matig fijn zand

Figuur 16 Onderrandvoorwaarden zoals die in het hydrologisch model SWAP zijn gebruik voor Aver Heino



In Tabel 19 zijn de gemeten en gesimuleerde GHG en de GLG van de locaties (grondwaterstandbuizen) weergegeven. Locatie 1, tussen proefveld 1 (N300-P20) en 2 (N180-P0), is iets natter dan de andere locaties. De gemeten fluctuatie in de grondwaterstand (verschil tussen GHG en GLG) is ca. 60 cm, maar de gesimuleerde fluctuatie is veel groter (94 cm). Deze afwijking treedt in alle jaren op, waarbij vooral de gesimuleerde grondwaterstanden in november en december veel sneller stijgen dan de gemeten grondwaterstanden. In de zomer van 2003 is de gesimuleerde grondwaterstand veel lager dan de metingen. Gezien de bovengenoemde afwijkingen is besloten de onderrandvoorwaarden van het SWAP model aan te passen (figuur 16). De aanpassing behelste het invoeren van een flux vanuit een onderliggende aquifer. Volgens het model blijft in de zomer van 2003 de actuele transpiratie de potentiële transpiratie volgen. Dit impliceert dat het gewas voldoende vocht heeft en er geen groeibeperkingen optreden als gevolg van vocht tekort. Uit veldwaarnemingen is echter gebleken dat het gewas tijdens de droogte in de zomer van 2003 niet is doorgegroeid en gedeeltelijk is afgestorven. Omdat door groeistoornissen de snede van juli 2003 is gemist, is de soil cover in de periode van 27 juni – 27 juli aangepast en gezet op 10%.

Tabel 19 Geschatte grondwatertrappen voor de gesimuleerde en gemeten grondwaterstanden op proefboerderij Aver Heino

Simulatie Swap	Grondwaterstandbuisnummer (object)			
	1 (N300-P20)	2 (N180-P0)	3 (N180-P40)	4 (N300-P0)
GHG	21	26	41	50
GLG	115	89	99	109
FLUC	94	63	58	59
GT	3a	3b	4u	4u

Cranendonck

Omdat de simulaties van het grondwaterverloop in 2003 geen bevredigende resultaten gaf zijn de invoerparameters van het hydrologisch model op een aantal punten gewijzigd. In het kader van het project *Toetsing van de beregeningsplanner met het hydrologisch model SWAP 2.0* (de Groot en Hack ten Broecke, 1999) zijn een groot aantal profielen op de proefboerderij van Cranendonck beschreven. Deze profielen zijn geschematiseerd en vervolgens zijn aan iedere horizont bouwstenen uit de *Staring Reeks* toegekend. Op het perceel dat in dit project wordt gebruikt zijn drie profielen beschreven. Voor een betere simulatie van de grondwaterstanden is gebruikgemaakt van deze informatie. De gebruikte bouwstenen uit de *Staring Reeks* staan in tabel 20 weergegeven. In Cranendonck wordt op de percelen als het nodig is beregend (Tabel 21). Deze gegevens zijn bij de huidige run als aparte invoerparameter gebruikt. De onderrandvoorwaarden van het hydrologisch model staan in figuur 17 weergegeven.

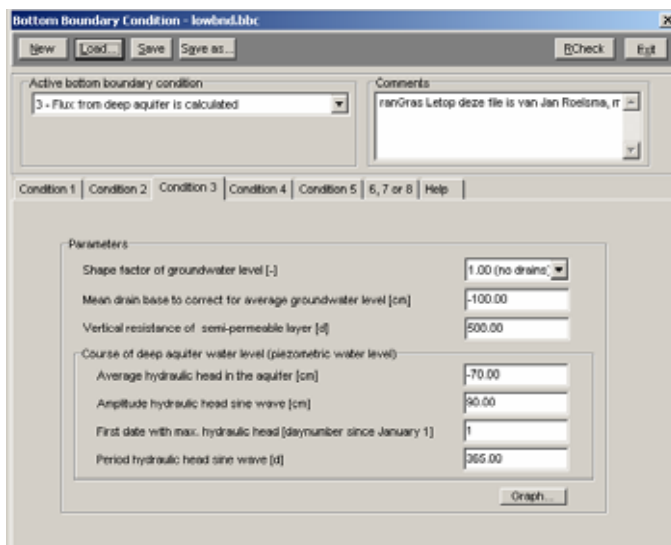
Tabel 20 Bouwstenen uit de Staring Reeks voor de proefpercelen op de proefboerderij Cranendonck

Horizont. diepte	Bouwsteen Staring Reeks	Omschrijving
0-80	B2	Zwak lemig matig fijn, humushoudend zand
80-100	O2	Zwak lemig matig fijn zand
100-210	O9	Matig lichte zavel
210-290	O3	Sterk lemig matig fijn zand

Tabel 21 Data en hoeveelheden van beregening op Cranendonck

Datum	Beregening (mm)	Datum	Beregening (mm)
14-08-1997	17	22-06-2001	24
20-05-1998	25	06-07-2001	29
13-08-1998	22	15-07-2003	28
27-07-1999	37	02-08-2003	24
05-08-1999	31	19-08-2003	24

Figuur 17 Onderrandvoorwaarden zoals die in het hydrologisch model zijn gebruik voor Cranendonck



Op de proefvelden is op 8 locaties de grondwaterstand in peilbuizen gemeten, deze worden weergegeven in Tabel 22. Er is weinig ruimtelijke variatie in het grondwaterstandverloop, de verschillen tussen de objecten zijn niet significant. De GHG ligt omstreeks 68 cm –mv, de GLG omstreeks 135 cm –mv. In de simulatie zakt de grondwaterstand sneller dan uit de metingen blijkt. Verder worden door het model pieken in de grondwaterstanden in 1999 en 2001 gemist, hier kan echter ook sprake zijn van een meetfout (vollopen van de grondwaterstandbuizen van boven af). Met het aangepaste bodemprofiel is het gemiddelde verschil tussen de gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden kleiner geworden, zodat gesteld kan worden dat in het algemeen de grondwaterstand in Cranendonck beter wordt beschreven dan met het oude profiel.

Tabel 22 Geschatte grondwatertrappen voor de gesimuleerde en gemeten grondwaterstanden

Simulatie	Swap	Grondwaterstandbuisnummer (Object)							
		1 (N180-P20)	2 (N180-P20)	3 (N180-P0)	4 (N180-P0)	5 (N300-P40)	6 (N300-P40)	7 (N300-P40)	8 (N300-P40)
GHG	52	68	70	68	67	67	68	70	70
GLG	158	134	134	135	133	134	135	141	139
FLUC	106	66	64	67	66	67	67	71	69
GT	60	60	60	60	60	60	60	60	60

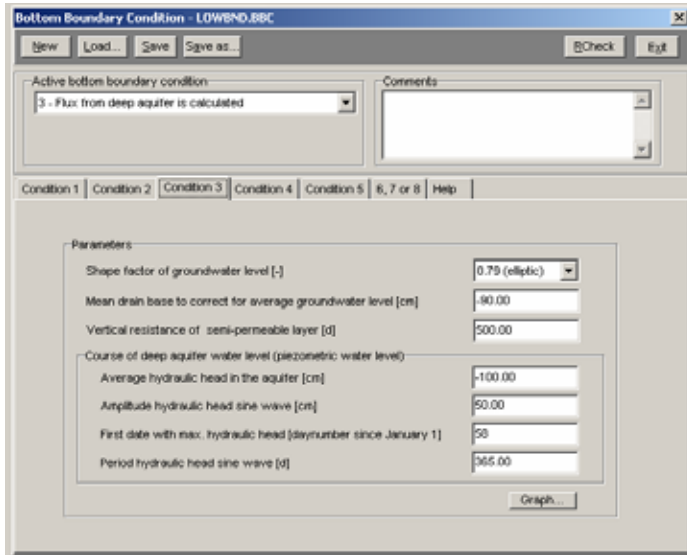
Waiboerhoeve

Van de percelen is geen gedetailleerde bodeminformatie aanwezig, wel een globale profielschets. In Tabel 23 staan de bouwstenen uit de *Staring Reeks* weergegeven die gebruikt zijn als invoer parameters in SWAP. Als onderrandvoorwaarde in het model is een flux uit een onderliggende aquifer gebruikt (Figuur 18).

Tabel 23 Bouwstenen uit de Staring Reeks voor de proefpercelen op de Waiboerhoeve, Lelystad

Horizontale diepte	Bouwsteen Staring Reeks	Omschrijving
0-30	B10	Lichte klei
30-110	O10	Zware zavel
110-180	O11	Lichte klei
180-310	O17	Mesotroof en eutroof veen

Figuur 18 Onderrandvoorwaarden zoals die in het hydrologisch model zijn gebruikt voor Waiboerhoeve



Het hydrologisch model geeft de variatie in het grondwaterstandverloop gemiddeld goed weer (Tabel 24). Uit de tabel blijkt overigens dat de fluctuatie per locatie belangrijk kan verschillen. Mogelijk heeft dit te maken met structuurverschillen in de grond, waardoor de doorlatendheid van plaats tot plaats varieert. In Figuur 20 is te zien dat de grondwaterstanden volgens het hydrologisch model iets minder snel op neerslag reageren dan uit de metingen blijkt. Het hydrologisch model simuleert telkens dat na neerslag de grondwaterstanden tijdelijk aan het maaiveld komen; omdat de metingen niet continu gedaan worden kan niet gecontroleerd worden of dat ook werkelijk gebeurt.

Tabel 24 Geschatte grondwatertrappen voor de gesimuleerde en gemeten grondwaterstanden voor Waiboerhoeve, Lelystad

	Simulatie Swap	Grondwaterstandbuisnummer (Object)			
		1 (N300-P40)	2 (N180-P20)	3 (N180-P0)	4 (N180-P40)
GHG	38	47	27	33	59
GLG	149	150	147	143	149
FLUC	111	103	120	110	90
GT	5bo	60	5bo	5bo	60

In de zomer van 2003 worden op de proefpercelen van de Waiboerhoeve twee sneden gras minder geoogst. Na de laatste snede op 15 juni komt de groei van het gras niet meer op gang. De actuele transpiratie werd hierdoor met SWAP overschat. In het model is hiermee rekening gehouden door de bedekkingsgraad van het gewas (soil cover fraction, SCF) tussen 15 juni en 1 september terug te brengen van 100% (volledige bedekking) tot 10% (weinig bedekking). De aanpassingen van de SCF hebben duidelijk invloed op de gesimuleerde transpiratie; deze gaat terug naar nul. De consequentie is echter ook dat de gesimuleerde grondwaterstand veel minder zakt dan de gemeten grondwaterstand. Het is binnen dit project (nog) niet gelukt dit euvel te verhelpen.

Zegveld

Er is geen gedetailleerde bodeminformatie van deze locatie beschikbaar, wel is er een bodemschets. De proefboerderij ligt in zijn geheel op veengrond. De bodemopbouw staat in Tabel 25 weergegeven. In tabel 26 zijn de geschatte GHG en GLG voor de simulatie en de gemeten grondwaterstandbuizen weergegeven.

Tabel 25 Bouwstenen uit de Staring Reeks voor de proefpercelen op de proefboerderij ROC Zegveld

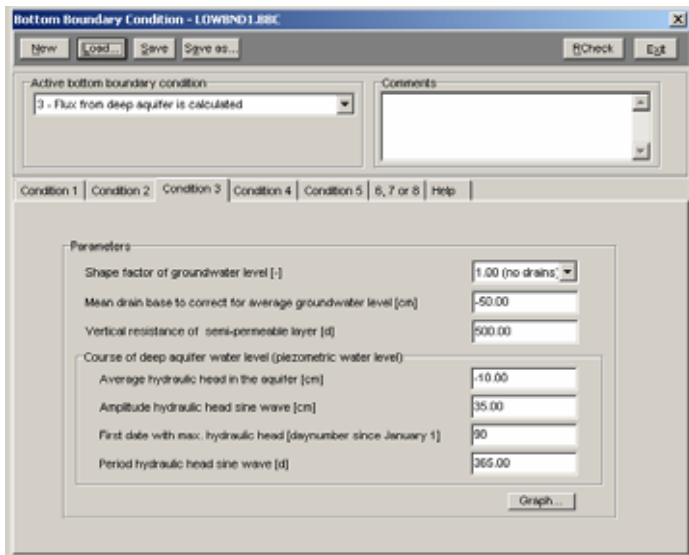
Horizontale diepte	Bouwsteen Staring Reeks	Omschrijving
0-30	B18	Kleilig veen
30-150	O17	Mesotroof en eutroof veen

Tabel 26 Geschatte grondwatertrappen voor de gesimuleerde en gemeten grondwaterstanden ROC Zegveld

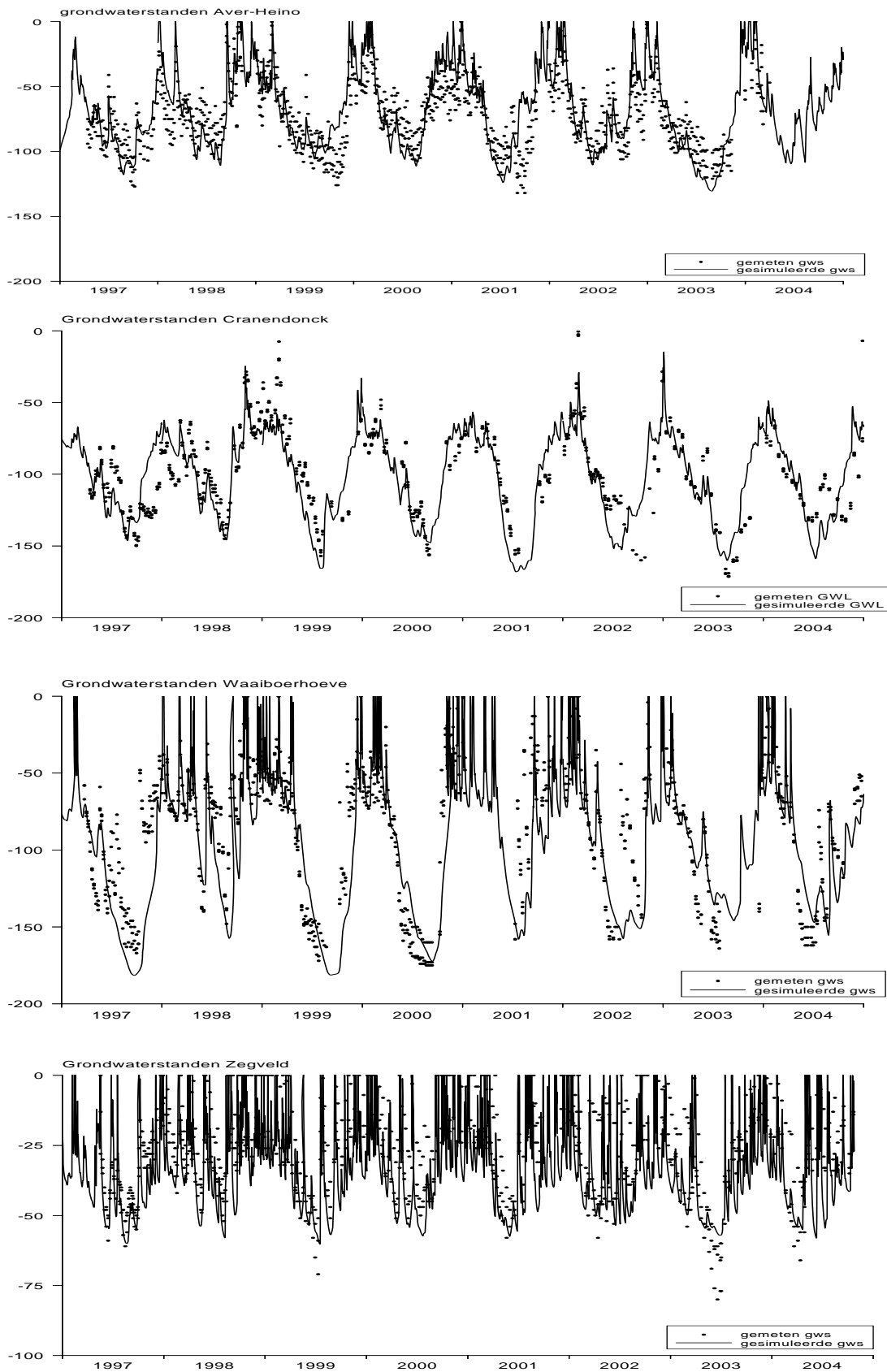
	Simulatie Swap	Grondwaterstandbuisnummer (Object)					
		1 (N300-P40)	2 (N180-P20)	3 (N180-P0)	4 (N300-P0)	5 (N180-P40)	6 (N300-P20)
GHG	6	2	22	16	9	9	26
GLG	59	37	45	51	44	42	36
FLUC	53	35	23	35	35	33	10
GT	2a	1a	1a	2a	1a	1a	1b

Opvallend is dat de buizen nummers 2, 3 en 6 significant droger zijn dan de overige buizen en ook droger dan de simulaties. Geografisch liggen deze grondwaterstandbuizen niet direct naast elkaar, zodat de verschillen waarschijnlijk veroorzaakt worden door lokale omstandigheden. Voor alle schattingen geldt dat het een natte grond betreft, de fluctuatie is meestal gering, 30 – 35 cm (tabel 26). In 2003 zakten de gesimuleerde grondwaterstanden veel verder weg dan de gemeten grondwaterstanden. Door de onderrandvoorwaarden aan te passen kon ook voor 2003 een bevredigende simulatie worden uitgevoerd. Hierbij is een flux uit een onderliggende aquifer geïntroduceerd (Figuur 19). Voor de jaren 1997, 2000, 2001, 2003 en 2004 geeft dit bevredigende resultaten. In 1998 en 1999 is de gesimuleerde grondwaterstand aan de natte kant, terwijl in 2002 de waterstanden te laag worden gesimuleerd. In 2002 is bovendien de gesimuleerde fluctuatie veel groter dan op grond van de gemeten grondwaterstanden zou worden verwacht. De resultaten zijn echter gemiddeld genomen beter dan met de oude invoerparameters en binnen het kader van dit project voldoende om mee verder te gaan. Uit metingen blijkt dat de groei van de drogestofopbrengst van de grassnedes aan het begin van de zomer van 2003 snel afneemt. Om dit in SWAP goed te kunnen simuleren is de SCF tussen 10 juni 2003 en 15 september 2003 op 50% ingesteld. Door de aanpassingen van de SCF is de potentiële transpiratie tussen 10 juni en 10 september geremd.

Figuur 19 Onderrandvoorwaarden zoals die in het hydrologisch model zijn gebruik voor ROC Zegveld

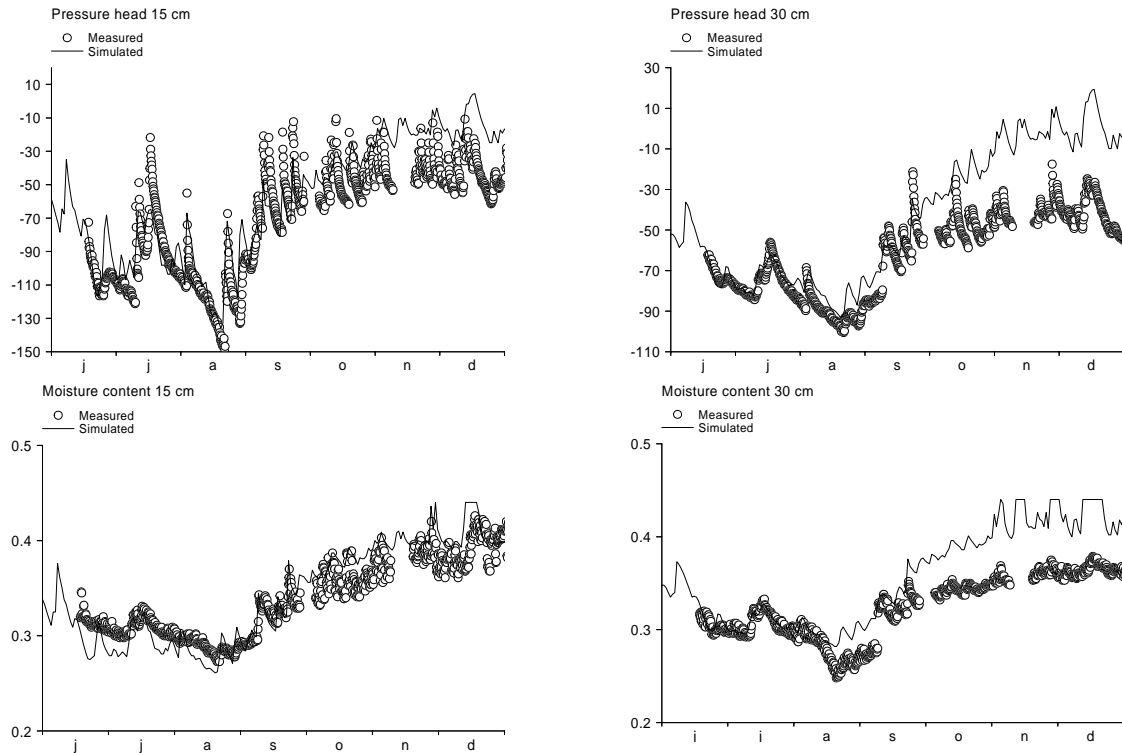


Figuur 20 Gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden op Aver Heino, Cranendonck, Waiboerhoeve en Zegveld, 1997 – 2004



In 2000 zijn op de proefvelden van Aver Heino bodemvochtmonsters genomen. Dit geeft de mogelijkheid om het SWAP model ook op vochtgehalte te kalibreren. De vochtgehalten op 15 cm –mv worden goed gesimuleerd, terwijl de vochtgehalten op 30 cm –mv in het najaar systematisch te hoog worden gesimuleerd (Figuur 21). Hetzelfde beeld geldt voor de drukhoogten. Volgens de simulatie komt het grondwater in het najaar binnen de wortelzone terecht, terwijl uit de metingen blijkt dat het grondwater tot ca 50 cm –mv stijgt.

Figuur 21 Gemeten en gesimuleerde drukhoogten op 15 en 30 cm diepte in Aver Heino in 2000



3.5.2.2 Hydrologische fluxen vanuit de wortelzone

In Tabel 27 staan de hydrologische fluxen vanuit de wortelzone en de jaarlijkse neerslag weergegeven. De droogste jaren zijn 1997 en 2003, terwijl in 1998 de meeste neerslag valt. In Cranendonck zijn de verschillen in jaarlijkse neerslag gering. Zegveld en Waiboerhoeve daarentegen, kennen grote verschillen in de neerslag van jaar tot jaar. In de tabel vallen de droge jaren 1997 en 2003 op, waarin de oppervlakkige afstroming (run off) en de laterale drainage klein zijn en de opwaartse fluxen groot zijn. Het jaar 1998 springt er juist uit met zeer grote oppervlakkige afvoer en laterale drainage. Op Cranendonck wordt het gehele neerslagoverschot afgevoerd naar de ondergrond. Op de Waiboerhoeve en Aver Heino is de bijdrage van laterale drainage en oppervlakkige afvoer duidelijk groter. In alle jaren vindt op deze locaties incidenteel oppervlakkige afstroming plaats, in natte jaren (1998) is de oppervlakkige afstroming groot (150 – 165 mm). Op Zegveld wordt meer dan de helft van het water afgevoerd door oppervlakkige afstroming en laterale drainage. Op deze locatie is het berekende neerslagoverschot duidelijk hoger en wordt de transpiratie geremd door heersende anaerobe omstandigheden.

Tabel 27 Gesimuleerde hydrologische fluxen (mm jr^{-1}) vanuit de wortelzone (0-30 cm –mv.)

Locatie	Flux (mm)	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Aver Heino	Neerslag	645	1060	781	933	924	915	608	970
	afspoeling	0	155	14	55	36	44	26	51
	Lateraal	0	2	1	2	3	2	1	1
	Opwaarts	213	122	210	130	139	157	299	149
	Neerwaarts	280	517	375	470	494	474	265	519
	Uitspoeling	67	395	165	340	355	317	-34	370
Cranendonck	Neerslag	692	892	810	774	844	858	660	797
	afspoeling	0	0	0	0	0	0	0	0
	Lateraal	0	0	0	0	0	0	0	0
	Opwaarts	222	145	212	173	181	188	274	187
	Neerwaarts	323	595	515	388	457	436	360	385
	Uitspoeling	101	450	303	215	276	248	86	198
Waiboerhoeve	Neerslag	634	1147	854	912	1083	936	594	897
	afspoeling	0	164	18	28	44	34	41	36
	Lateraal	0	37	12	12	24	19	1	22
	Opwaarts	207	137	199	161	157	177	102	179
	Neerwaarts	243	549	397	448	570	470	242	467
	Uitspoeling	36	412	198	287	413	293	140	288
Zegveld	Neerslag	674	1137	953	915	1028	884	616	891
	afspoeling	86	274	159	101	195	133	78	146
	Lateraal	93	254	170	201	219	155	94	179
	Opwaarts	160	98	157	137	141	112	294	153
	Neerwaarts	161	286	262	252	275	233	145	247
	Uitspoeling	1	188	105	115	134	121	-149	94

3.5.3 Fosfaatverliezen ten gevolge van uitspoeling

De hoeveelheid fosfaat die verloren gaat door uitspoeling uit de wortelzone varieert van maximaal $11,4 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ op Aver Heino tot minimaal $1,0 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ op de Waiboerhoeve (Tabel 28). De verliezen op de locaties met zandgronden zijn duidelijk groter dan op Zegveld (veengrond) en Waiboerhoeve (kleigrond). Het aandeel ortho-P varieert tussen de 36 % in Zegveld en 45 % in Waiboerhoeve.

De gevonden verliezen van fosfaat worden voornamelijk bepaald door de hydrologische situatie in combinatie met het verloop van de fosfaatconcentratie in de wortelzone. De hoogste uitspoelingsverliezen komen bijvoorbeeld voor op Heino waar de concentraties onder in de wortelzone het hoogst zijn ($1,8 \text{ mg l}^{-1}$; zie Tabel 16). Relatief hoge uitspoelingsverliezen worden ook gevonden in percelen met een hoge laterale drainage. Op Zegveld bijvoorbeeld is de concentratie onderin de wortelzone relatief laag ($0,3 \text{ mg l}^{-1}$ totaal P) maar is de uitspoeling vergelijkbaar met die op Cranendonck. De grote invloed van de hydrologie blijkt ook uit het sterke verband tussen de hoeveelheid fosfaat dat uitspoelt en het neerslagoverschot in een jaar. In droge jaren (1997, 2003) is de uitspoeling op alle locaties gering, terwijl in natte jaren (1998, 2000, 2002) op alle locaties de uitspoeling van fosfaat hoger is.

Over het algemeen neemt de gemiddelde uitspoeling, in de periode 2002-2004, van fosfaat af met de fosfaatgift (Figuur 22). De verschillen in uitspoeling tussen een overschot van 0, 20 en $40 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ zijn vaak vrij gering. Op alle locaties is de uitspoeling van zowel ortho-P als totaal-P op de uitmijn objecten (N300-P-100) duidelijk lager dan op de bemeste objecten. De grootste verschillen worden gevonden op Zegveld, Heino en Waiboerhoeve (ruim 30 % lagere totaal-P en 40 % lagere ortho-P uitspoeling). De effecten op Cranendonck zijn wat geringer (12 % reductie in totaal-P en 30 % reductie in ortho P uitspoeling). De oorzaken van de geringere effecten op Cranendonck zijn niet geheel duidelijk. De omvang van de verschillende fosfaatpools in Cranendonck is redelijk vergelijkbaar met Heino. Een belangrijk verschil tussen deze beide locaties is dat Cranendonck een diepere grondwaterstand (Gt VII) heeft en dat uitspoelingsverliezen uit de bouwvoor dus volledig bepaald worden door de veranderingen in de concentratie aan de onderzijde van de wortelzone (20-30 cm). De impact van de bemesting op de concentratie in de diepere bodemlagen is nog relatief gering (zie ook 3.5.1). Een uitgebreidere analyse van de effecten van de uitmijnobjecten (incl. de resultaten van 2005) is te vinden in van der Salm et al., 2007.

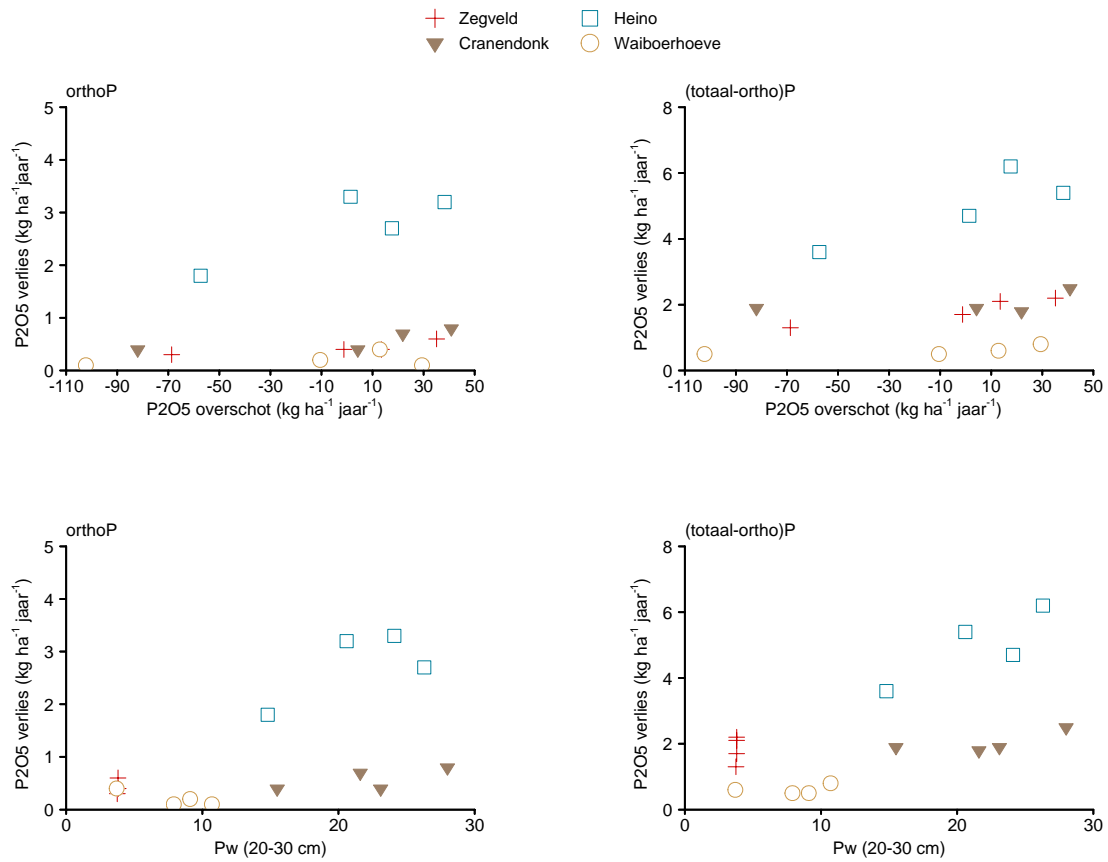
Tabel 28 Fosfaatverliezen (kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹) ten gevolge van uitspoeling vanuit de wortelzone (0-30 cm)

Locatie	Object	P-vorm	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	gem, ²	
Aver Heino	N180-P0	Totaal-P	1,4	20,2	6,6	20,0	4,1	18,6	-0,3	5,6	9,5 (8,0)	
		ortho-P	0,6	14,5	0,9	3,2	0,7	9,3	-0,4	1,1	3,7 (3,3)	
	N180-P20	Totaal-P	1,6	18,8	0,0	16,9	9,0	13,0	-0,3	14,0	9,8 (8,9)	
		ortho-P	0,6	12,7	0,8	3,5	1,4	6,7	-0,1	1,4	3,4 (2,7)	
	N300-P40	Totaal-P	2,0	34,3	8,0	15,1	5,8	15,5	-0,3	10,5	11,4 (8,6)	
		ortho-P	0,4	19,5	0,9	2,2	1,1	8,7	0,0	0,8	4,2 (3,2)	
	Nmin100 ¹	Totaal-P							13,2	-0,2	3,1	5,4
		ortho-P							5,0	0,0	0,2	1,8
Cranendonck	N180-P0	Totaal-P	4,1	12,2	7,5	3,9	6,3	3,4	1,1	2,4	5,1 (2,3)	
		ortho-P	2,7	7,3	1,5	1,7	0,9	0,8	0,1	0,4	1,9 (0,4)	
	N180-P20	Totaal-P	2,9	8,6	6,8	4,2	4,8	3,8	0,7	2,8	4,3 (2,4)	
		ortho-P	1,0	5,8	1,3	1,5	0,8	1,1	0,4	0,5	1,6 (0,7)	
	N300-P40	Totaal-P	2,7	9,8	7,4	4,5	5,3	5,1	0,7	4,1	4,9 (3,3)	
		ortho-P	1,8	6,9	1,9	1,6	0,9	1,3	0,4	0,7	2,0 (0,8)	
	Nmin100 ¹	Totaal-P							3,0	0,6	3,5	2,3
		ortho-P							0,7	0,2	0,4	0,4
Waiboerhoeve	N180-P0	Totaal-P	0,1	2,0	1,2	1,6	0,5	0,6	1,1	0,5	1,0 (0,7)	
		ortho-P	0,1	1,6	0,2	0,9	0,4	0,2	0,1	0,2	0,5 (0,2)	
	N180-P20	Totaal-P	0,3	2,0	0,8	2,8	0,6	1,3	1,5	0,3	1,2 (1,0)	
		ortho-P	0,2	1,2	0,3	0,8	0,4	0,9	0,1	0,2	0,5 (0,4)	
	N300-P40	Totaal-P	0,2	2,0	0,9	2,0	0,7	0,4	1,7	0,4	1,0 (0,8)	
		ortho-P	0,1	1,5	0,4	0,5	0,4	0,1	0,1	0,2	0,4 (0,1)	
	Nmin100 ¹	Totaal-P							0,4	1,1	0,4	0,6
		ortho-P							0,1	0,1	0,2	0,1
Zegveld	N180-P0 T	Totaal-P	1,1	5,1	2,1	2,9	2,2	3,0	0,4	3,0	2,5 (2,1)	
		ortho-P	0,5	3,6	0,4	1,0	0,5	0,5	0,1	0,6	0,9 (0,4)	
	N180-P20	Totaal-P	1,0	10,3	2,8	3,1	2,4	3,6	0,5	3,3	3,4 (2,5)	
		ortho-P	0,4	7,2	0,4	1,2	0,6	0,5	0,2	0,7	1,4 (0,5)	
	N300-P40	Totaal-P	1,3	7,0	3,7	3,5	2,7	4,4	0,7	3,4	3,3 (2,8)	
		ortho-P	0,6	2,7	0,4	1,5	0,6	0,7	0,3	0,8	1,0 (0,6)	
	Nmin100 ¹	Totaal-P							2,8	0,3	1,7	1,6
		ortho-P							0,3	0,1	0,4	0,3

1) Voor de objecten N300P-100 zijn geen waarnemingen voor 1997 t/m 2001

2) De cijfers tussen haakjes geven de gemiddelde fluxen voor de periode 2002-2004

Figuur 22 Fosfaatverliezen door uitspoeling van ortho-P en organisch P uit de wortelzone in de periode 2002-2004 relatie tot Pw-getal en fosfaatoverschot



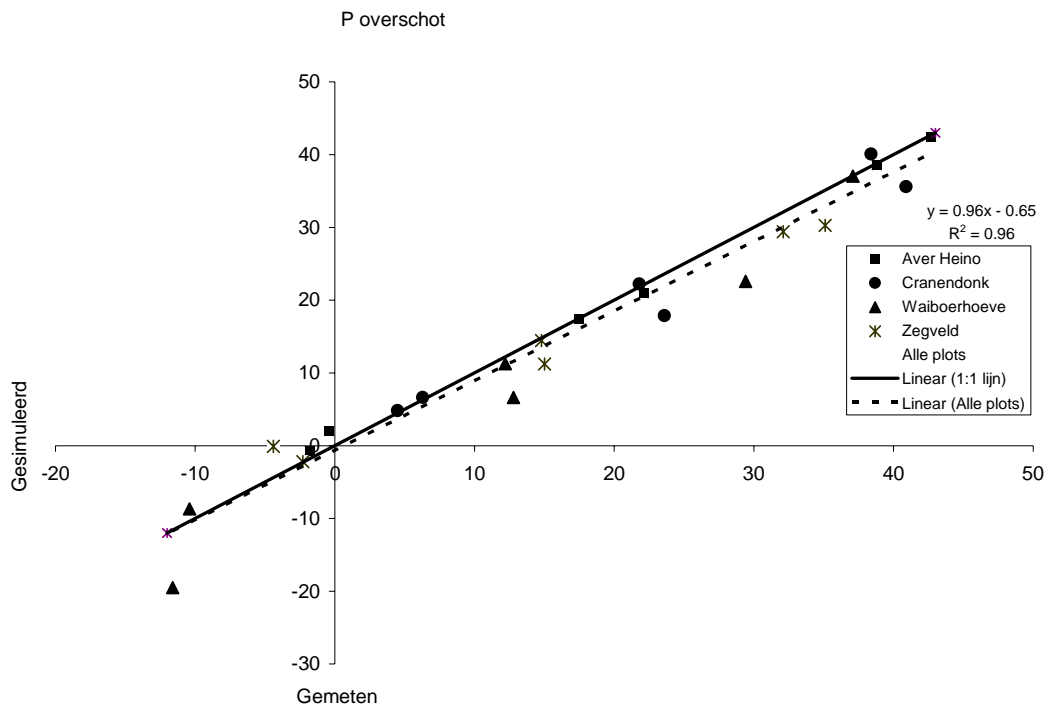
3.6 Modelberekeningen

3.6.1 Gesimuleerde P-overschotten

Om met het model de verandering van de P-toestand en de P-concentraties zo goed mogelijk te simuleren is het belangrijk dat het model de gemeten fosfaatoverschotten goed berekent. Om een goede fit te kunnen krijgen tussen de gesimuleerde jaarlijkse P afvoer en de gemeten P afvoer door het gewas, is per object het maximale P-gehalte in het gewas gecalibreerd.

In het algemeen geldt dat de correlatie tussen het gemeten en gesimuleerde overschot 0,96 is voor de periode 1977-2004 (zie Figuur 23). De gesimuleerde overschotten zijn systematisch iets lager dan de gemeten overschotten en de regressielijn geeft aan dat het gesimuleerde overschot 0,96 maal het gemeten overschot bedraagt. Op Cranendonck lijkt sprake te zijn van een onderschatting van de P-opname op de objecten met een N-overschot van 300 kg. Op Waiboerhoeve en Zegveld blijft bij hoge P-overschotten de gemodelleerde opname iets achter bij de metingen.

Figuur 23 Gemiddelde gemeten en gesimuleerde overschotten ($\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$) in de wortelzone (0-30 cm), 1997-2004

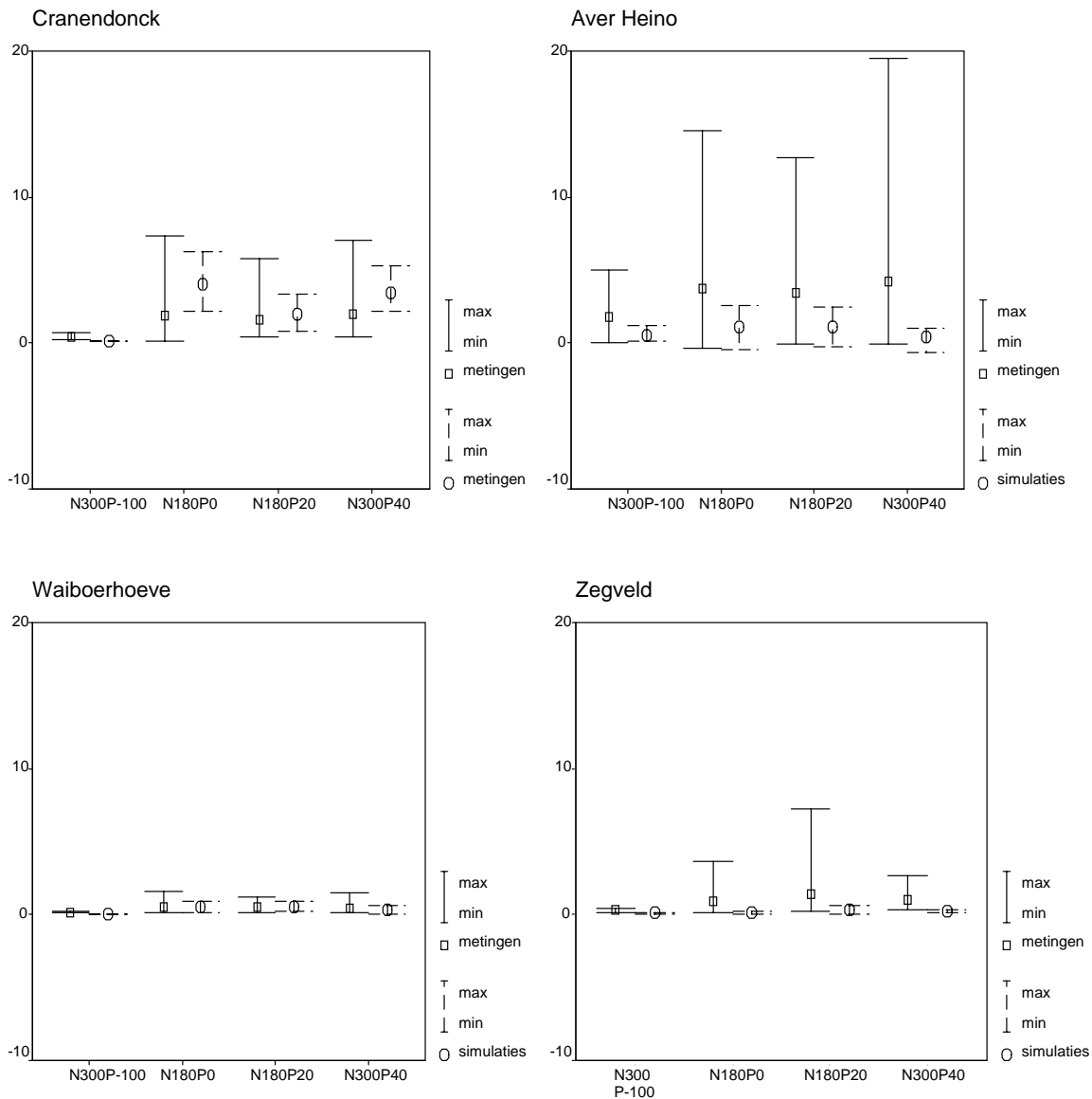


3.6.2 Simulatie van fosfaatconcentraties in bodemoplossingen en uitspoelingsverliezen

Ortho-P

Op de objecten N180-P0, N180-P20 en N300-P40 zijn per jaar drie keer de fosfaat concentraties in het bodemvocht gemeten. De gemeten concentraties in het bodemvocht en de daaruit afgeleide uitspoelingsfluxen (zie 3.5.1) kunnen vergeleken worden met de gesimuleerde fosfaatfluxen. De gemeten uitspoelingsfluxen zijn bepaald op basis van de gemiddelde jaarlijkse fosfaatconcentraties in de bovenste drie bodemlagen (0 – 10, 10 – 20 en 20 – 30 cm –mv.) en de met het hydrologisch model gesimuleerde drainage fluxen en uitspoelingsfluxen. De op deze manier geschatte uitspoelingsfluxen zijn vergeleken met de in ANIMO gesimuleerde uitspoelingsfluxen. In Figuur 24 zijn de geschatte en gesimuleerde fluxen en de bijbehorende spreiding vermeld. Voor een deel van de objecten worden de gemiddelde ortho-P fluxen goed gesimuleerd (Waiboerhoeve en een deel van de objecten op Heino en Cranendonck). De fluxen worden duidelijk overschat in Cranendonck op de objecten N180-P0 en N300-P40. De fluxen worden flink onderschat op Zegveld en bij object N300-P40 van Heino. De gesimuleerde spreiding in fluxen valt over het algemeen ruim binnen de gemeten spreiding.

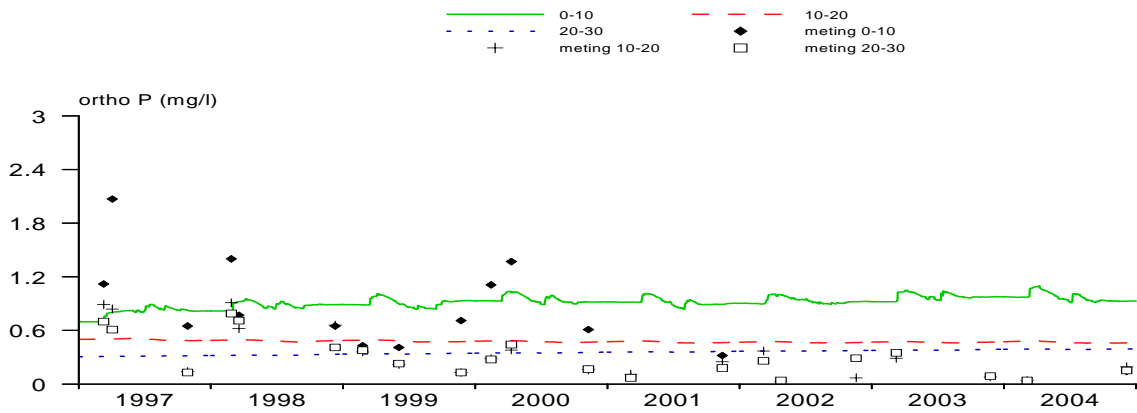
Figuur 24 De gesimuleerde en gemeten ortho P-fluxen op de vier verschillende locaties bij vier verschillende bemestingsniveaus



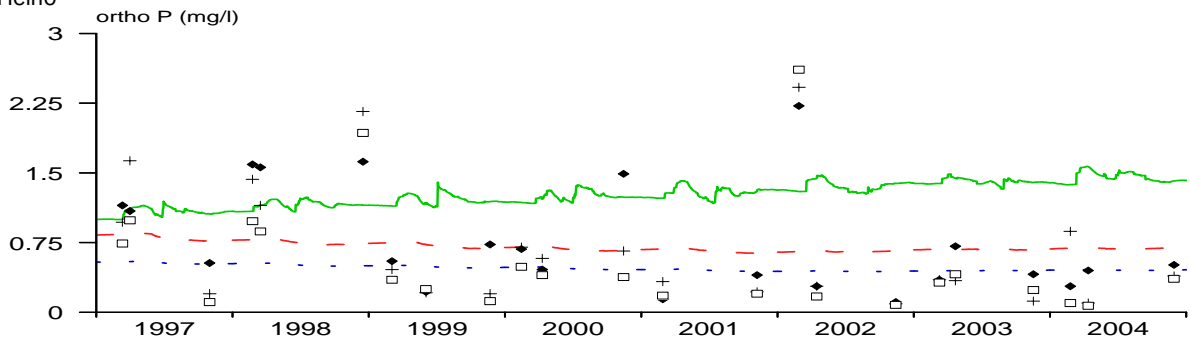
Een vergelijking van het verloop van de gemeten en de gesimuleerde concentraties in de periode 1997-2004 geeft aanvullend inzicht in de modelresultaten. In Figuur 25 zijn de resultaten van de gemeten en gesimuleerde ortho-P concentraties van de objecten met een N overschot van 180 kg N ha⁻¹ en een P overschot van 20 kg P₂O₅ ha⁻¹ weergegeven. Uit de figuur blijkt dat de simulaties niet altijd goed overeenkomen met de gemeten waarden. Vooral de dalende trend in ortho-P concentraties in de tijd wordt niet gesimuleerd. De gemeten waarden van ortho-P voor Cranendonck en Heino lopen in de bovengrond sterk terug terwijl het model een kleine toename van ortho-P simuleert. Daarnaast is de gemeten variatie in de tijd veel groter dan de gesimuleerde. De geringe variatie in de simulatieresultaten kan worden veroorzaakt doordat in het model wordt aangenomen dat de weidemest homogeen over het perceel wordt verspreid, terwijl dit in de praktijk niet zo is. Een heterogene verdeling zal leiden tot een sterkere fluctuatie in de gesimuleerde concentraties (Van der Salm en Schoumans, 2000). De kleine temporele variatie van de simulatie kan ook worden veroorzaakt door het feit dat in het model gebruik gemaakt wordt van een Langmuir vergelijking met een constante waarde voor K. Hierdoor wordt de invloed van temperatuurveranderingen of redoxpotentiaal verwaarloosd (Barrow, 1983).

Figuur 25 Gemeten en met ANIMO gesimuleerde ortho-P concentraties voor de objecten met N-overschot 180 kg N ha⁻¹ en P-overschot 20 kg P₂O₅ ha⁻¹

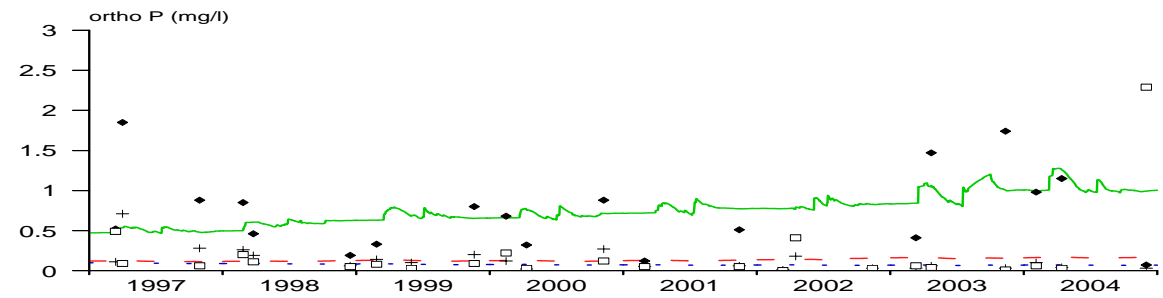
Cranendonck



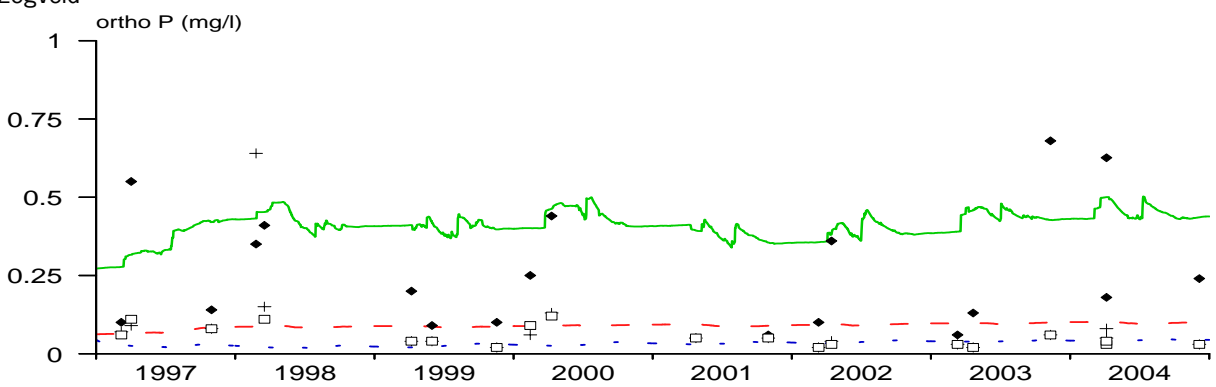
Heino



Waiboerhoeve



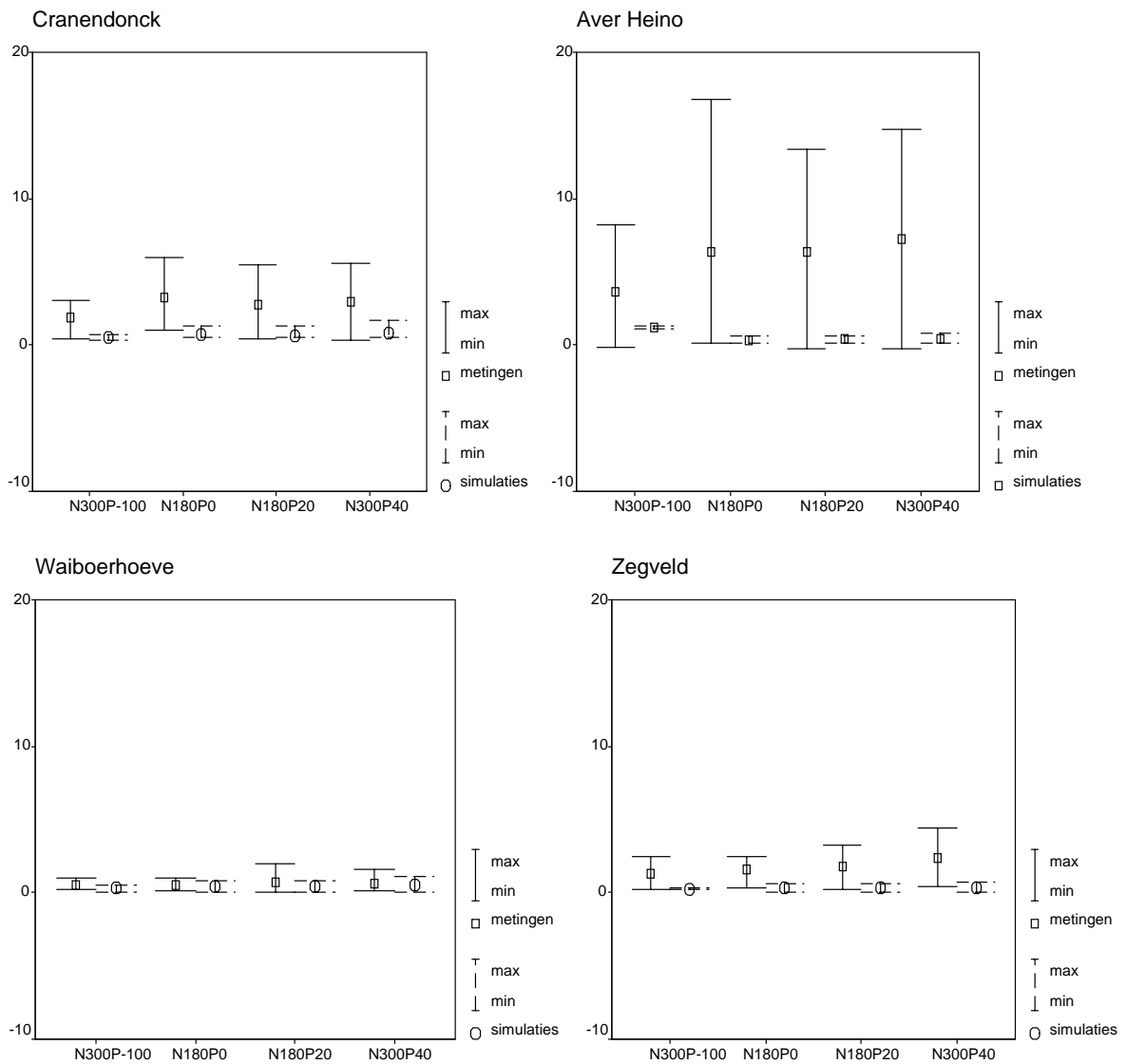
Zegveld



Organisch P

De gesimuleerde uitspoelingsfluxen van organisch-P blijken over het algemeen lager te zijn dan de gemeten waarden (Figuur 26). De gemiddelde organische uitspoelingsflux wordt door het model op Aver Heino fors onderschat, maar ook op Cranendonck en Zegveld onderschat het model de uitspoelingsflux van organisch P. Op Waiboerhoeve komen de simulaties goed overeen met de metingen, maar de uitspoelingsfluxen zijn hier beduidend lager dan op de andere locaties. Het grote verschil tussen de modeluitkomsten en de metingen wordt waarschijnlijk deels veroorzaakt door de sterke dynamiek in de gemeten organisch- P concentraties. Door de sterke variatie in organisch-P is het moeilijk om op basis van een beperkt aantal metingen per jaar een betrouwbare jaarflux in te schatten.

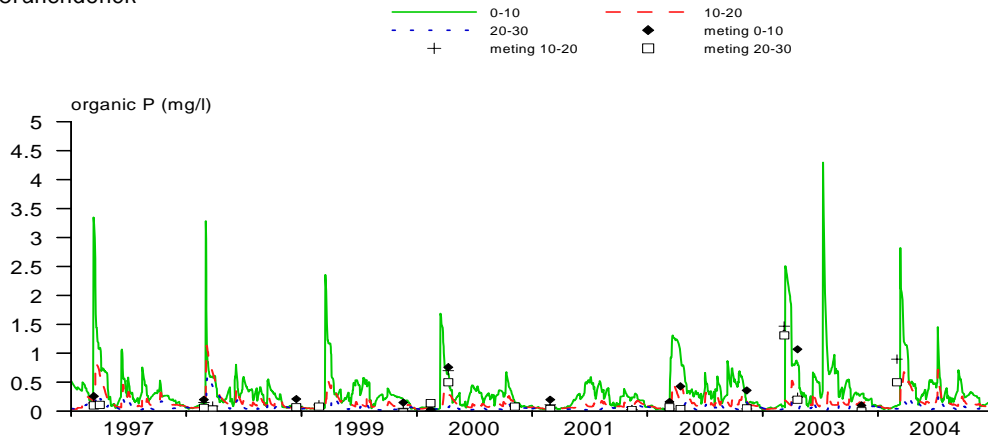
Figuur 26 De gesimuleerde en gemeten organisch-P fluxen op de vier verschillende locaties bij vier verschillende bemestingsniveaus



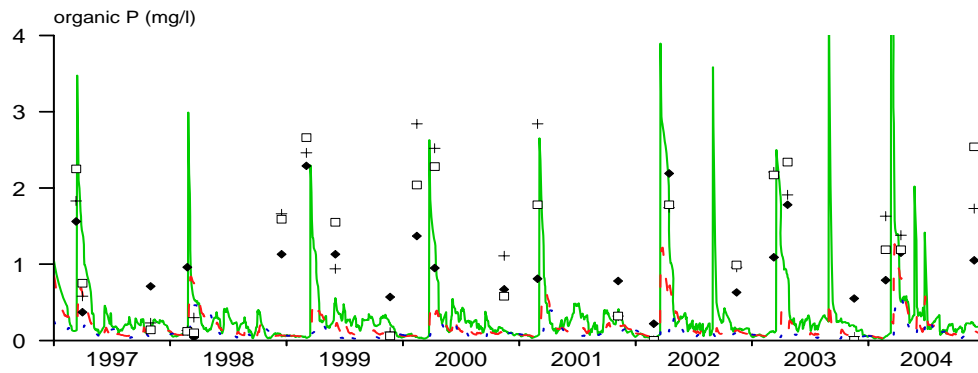
De sterke variatie in de gemeten organisch-P concentraties komen duidelijk tot uiting in de simulatie resultaten (Figuur 27). In het begin van het jaar is steeds een hoge piek in organisch- P zichtbaar, die qua tijdstip overeenkomt met het moment van de eerste drijfmestgift. Andere pieken doen zich steeds voor na de weidesneden. De dynamiek in de gesimuleerde concentraties wordt niet teruggevonden bij de metingen. In het vroege voorjaar, voor de bemesting, blijken de gemeten concentraties vaak hoger te zijn dan de gesimuleerde concentraties. Dit is duidelijk te zien op Cranendonck en Waiboerhoeve waar in 2001 geen dierlijke mest is uitgereden door de MKZ crisis. In dat jaar is de organisch P concentratie in het voorjaar duidelijk hoger dan de gesimuleerde concentratie. Een verklaring hiervoor is dat de concentratie organisch-P niet alleen afhankelijk is van de mestgift, maar ook beïnvloed wordt door het afsterven van gras en graswortels tijdens de winter. Dit proces lijkt door het model niet goed gesimuleerd te worden. De pieken in fosfaatconcentratie die gesimuleerd worden na de drijfmestgift worden niet teruggevonden in de metingen. De metingen die enkele weken na de drijfmestgift plaats vinden geven vaak lagere concentraties te zien dan door het model worden berekend.

Figuur 27 Gemeten en met ANIMO gesimuleerde organisch-P concentraties voor objecten met een N-overschot van 180 kg N ha⁻¹ en een P-overschot van 20 kg P₂O₅ kg ha⁻¹

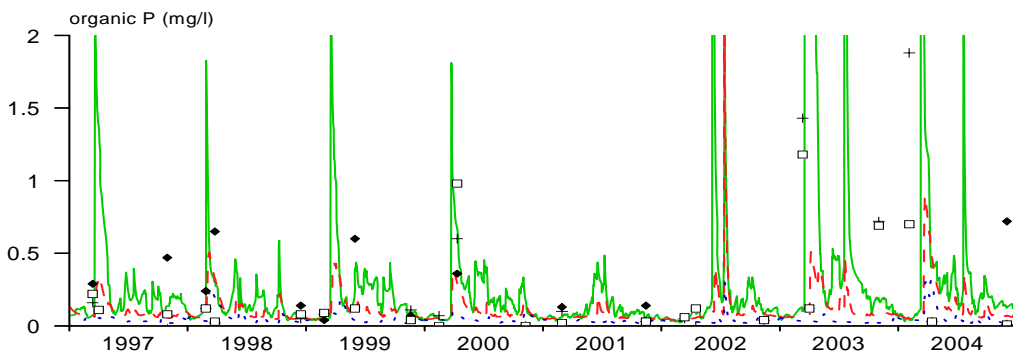
Cranendonck



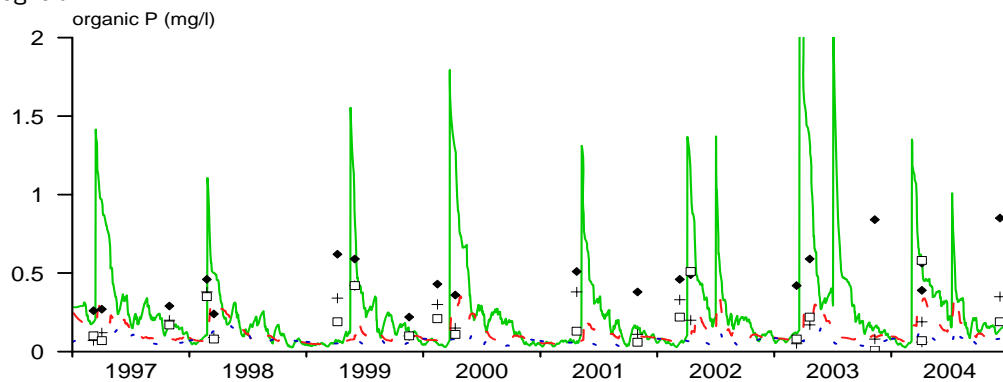
Heino



Waiboerhoeve



Zegveld



Totale verliezen door uitspoeling

In de periode 1997 – 2004 liggen de gemiddelde gesimuleerde uitspoelingsfluxen tussen 1 en 4 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹ (Tabel 29). De uitspoelingsfluxen voor organisch-P worden onderschat, waardoor de gesimuleerde fluxen op de bedrijven met zandgrond 50 - 70% lager liggen dan de gemeten uitspoelingsverliezen. Het verschil tussen de gesimuleerde en gemeten uitspoelingsverliezen zijn op de niet zandlocaties aanzienlijk kleiner; op Waiboerhoeve (kleigrond) zijn de simulaties vergelijkbaar met de metingen.

Tabel 29 Gemiddelde fosfaatverliezen (kg P₂O₅ ha⁻¹) als gevolg van uitspoeling vanuit de wortelzone (0-30 cm), 1997-2004

Locatie	Object	Netto uitspoeling					
		Organisch-P		Ortho-P		Totaal-P	
		Gemeten ¹	Gesimuleerd	Gemeten	Gesimuleerd	Gemeten	Gesimuleerd
Aver Heino	N180-P0	5,8	0,8	3,8	2,6	9,6	3,4
	N180-P20	6,4	0,8	3,4	2,8	9,8	3,6
	N300-P40	7,2	1,0	4,2	1,1	11,4	2,1
Cranendonck	N180-P0	3,2	0,7	1,9	4,0	5,1	4,7
	N180-P20	2,7	0,6	1,6	2,0	4,3	2,6
	N300-P40	2,9	0,8	2,0	3,4	4,9	4,2
Waiboerhoeve	N180-P0	0,5	0,4	0,5	0,5	1,0	0,9
	N180-P20	0,7	0,4	0,5	0,5	1,2	0,9
	N300-P40	0,6	0,5	0,4	0,3	1,0	0,8
Zegveld	N180-P0	1,6	0,3	0,9	0,1	2,5	0,4
	N180-P20	2,0	0,3	1,4	0,2	3,4	0,5
	N300-P40	2,3	0,3	1,0	0,2	3,3	0,5

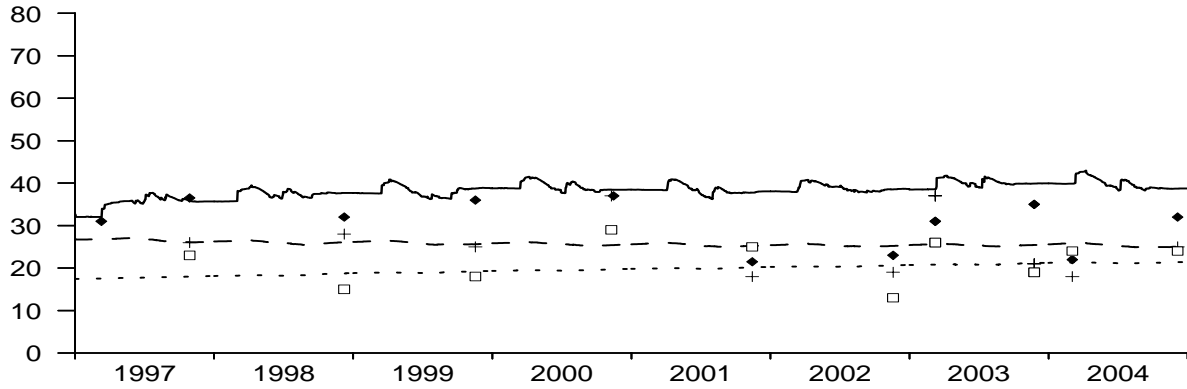
¹ Gemeten P fluxen zijn gebaseerd op gemeten fosfaatconcentraties en gesimuleerde waterfluxen (zie 2.5.2)

3.6.3 Resultaten van de simulatie van Pw-getal

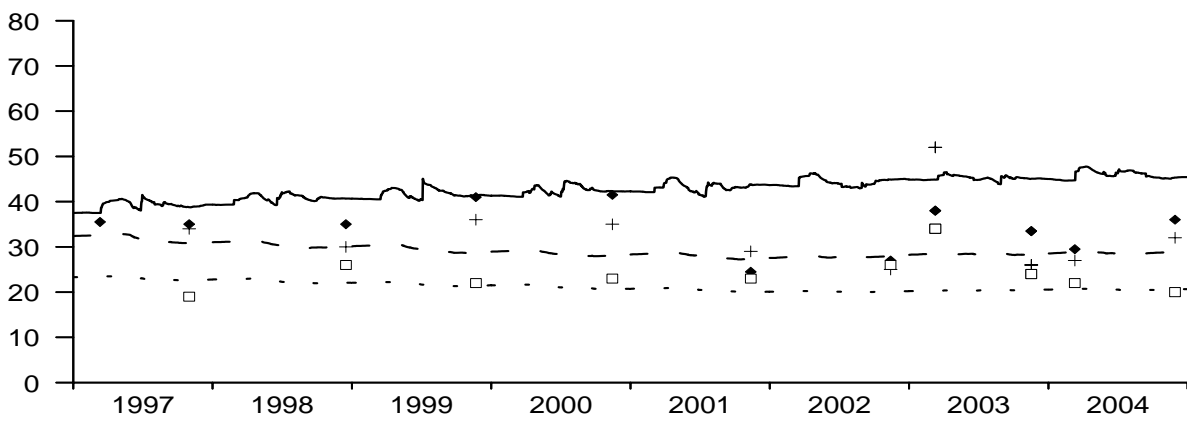
Het Pw-getal wordt ieder najaar in verschillende lagen van het bodemprofiel (0-5, 5-10, 10-20 en 20-30 cm –mv.) bepaald. De waarden variëren sterk in de tijd. Biologische factoren beïnvloed door klimaat zoals gewasonttrekking, mineralisatie van organische fosfaatverbindingen, chemische factoren als ionsterkte, pH en redoxpotentiaal spelen hierbij onder meer een rol. Daarnaast kan de lengte van het groeiseizoen van invloed zijn op de in het najaar gevonden waarden. Tenslotte kunnen ook analyse en bemonsteringsfouten zorgen voor aanzienlijke variatie in de Pw-getallen in de tijd. De fluctuatie zoals die met het model worden gesimuleerd zijn over het algemeen veel geringer dan de gemeten fluctuaties van de waarden van het Pw-getal (Figuur 28). De geringe fluctuaties in de gesimuleerde Pw's kunnen deels veroorzaakt worden doordat de invloed van variatie in bv. vocht, pH op het sorptiegedrag niet in ANIMO worden beschreven. De grootste afwijkingen tussen metingen en model worden gevonden op de Waiboerhoeve. De verschillen zijn relatief beperkt voor Zegveld en de beide zandlocaties. Op de zandlocaties wijken de simulaties vooral in de jaren 2001 en 2002 sterk af van de metingen. De oorzaak van de lage waarden is niet geheel duidelijk.

Figuur 28 Gemeten en met ANIMO gesimuleerde Pw-getallen voor objecten met N-overschot 180 kg ha⁻¹ en P₂O₅ overschot 20 kg ha⁻¹

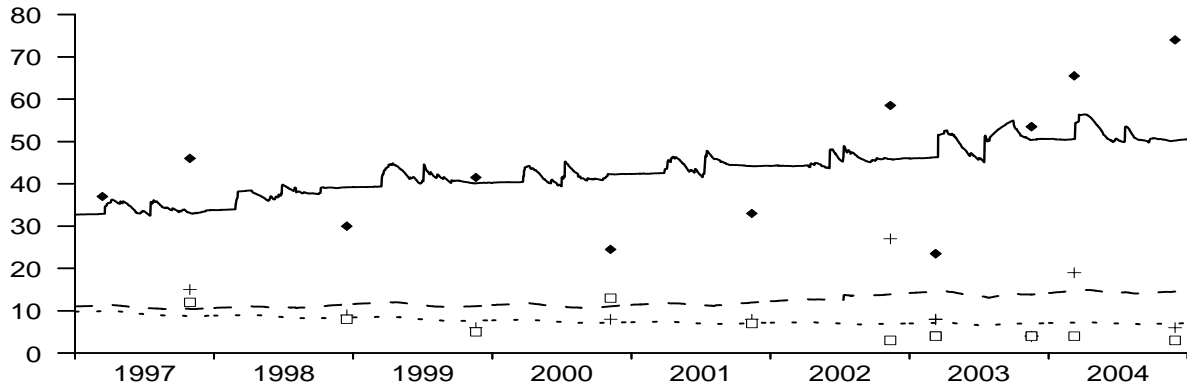
Cranendonck



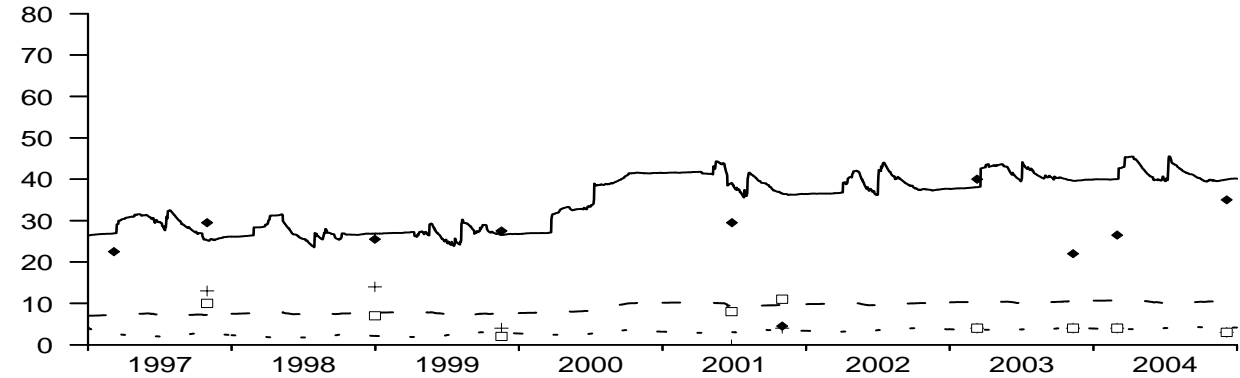
Aver Heino



Waiboerhoeve

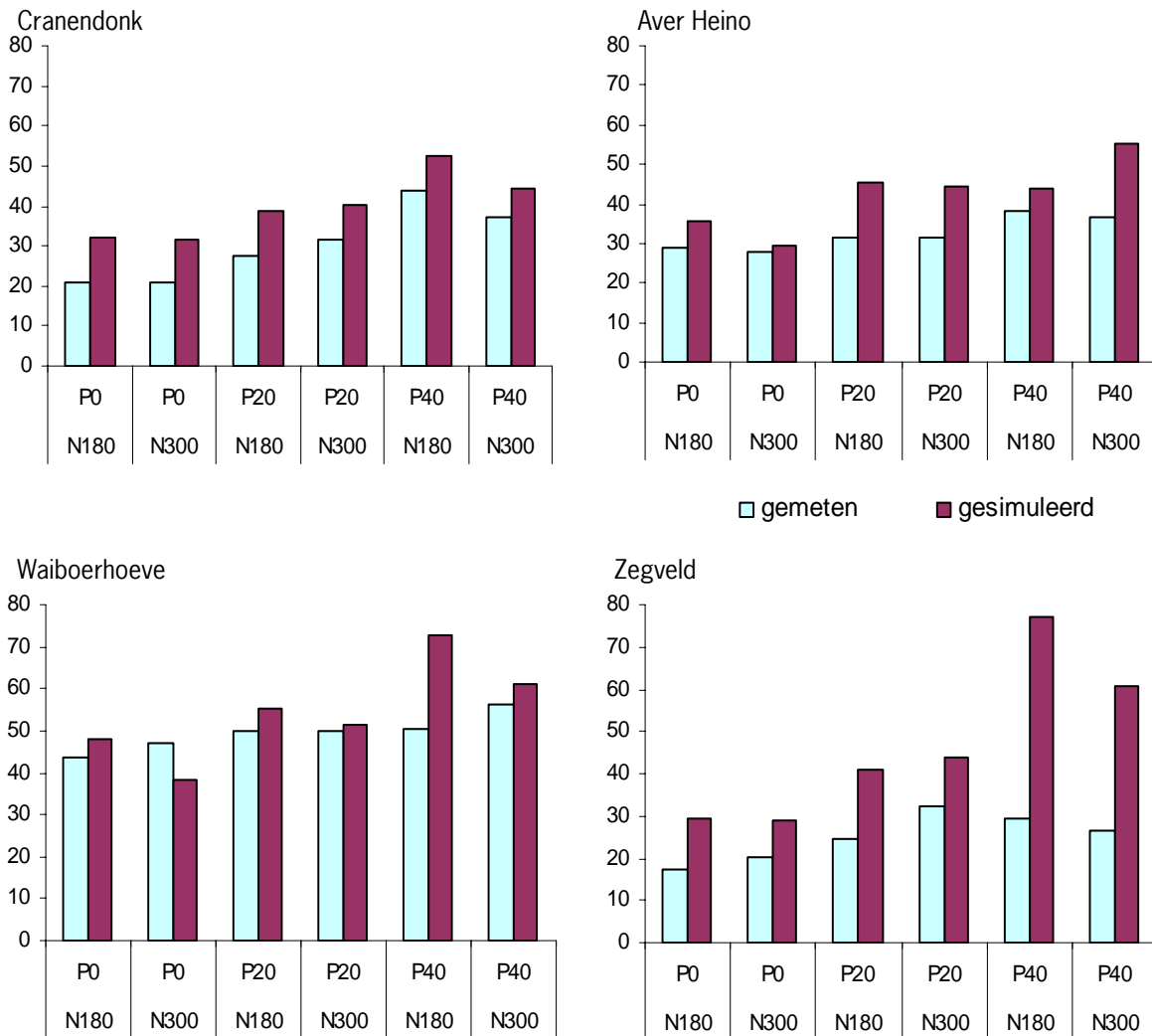


Zegveld

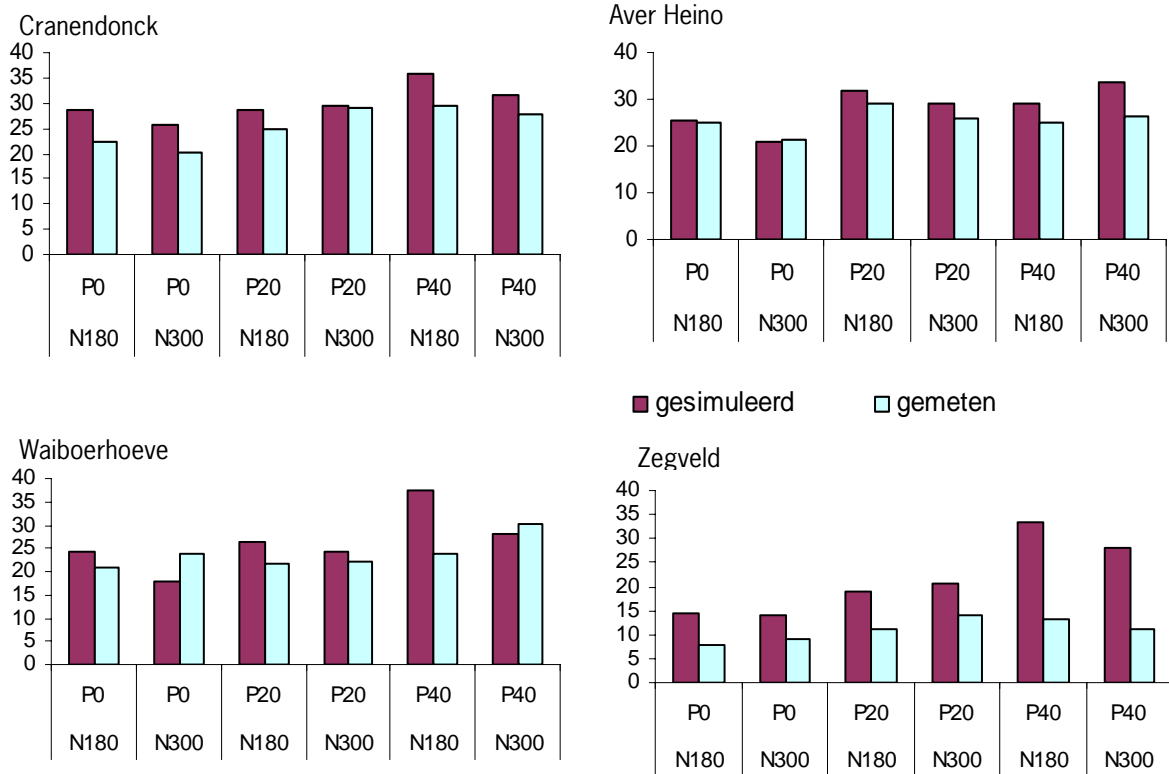


Doordat het model de sterke fluctuatie in Pw-getallen niet simuleert, is het moeilijk om de simulaties en de metingen direct met elkaar te vergelijken. Om dit probleem te ondervangen is de lange termijn trend van de gemeten waarden bepaald met lineaire regressie en deze trend is vergeleken met de gesimuleerde trend. De met deze regressievergelijking berekende Pw op 31 december 2004 kan vervolgens vergeleken worden met de gesimuleerde waarden voor het Pw-getal (figuur 29 en Figuur 30). In de meeste gevallen wordt het gesimuleerde Pw-getal, in de laag van 0-10 cm, aan het einde van de simulatie periode iets overschat (Figuur 29). Vooral voor de P40-objecten op Zegveld en het N300-P40 object op Waiboerhoeve zijn de gesimuleerde waarden veel hoger dan de gemeten waarden voor het Pw-getal. Alleen voor object N300-P0 op Waiboerhoeve wordt het Pw-getal aan het eind van de simulatie periode te laag gesimuleerd. Bij Heino worden het Pw-getal in 2004 op alle objecten enigszins overschat door het model en de mate van overschatting neemt licht toe bij de hogere bemestingsniveaus. Bij Cranendonck is de situatie andersom en worden de grootste overschattingen gevonden bij evenwichtsbemesting Voor de gehele wortelzone (0-30 cm) zijn de verschillen tussen simulatie en metingen geringer (Figuur 30). Deze vergelijking is echter vrij grof omdat, door het niet lineaire gedrag van de fosfaatsorptie, een eenvoudige middeling van de Pw-getallen kan leiden tot een overschatting van de Pw-getallen. Dit probleem mag vooral verwacht worden bij Zegveld en Waiboerhoeve waar de Pw in de bouwvoor sterk daalt met de diepte.

Figuur 29 Gesimuleerde waarden voor het Pw-getal op 31 december 2004 uitgezet tegen de met regressieanalyse uit de metingen bepaalde Pw-getallen voor de laag 0-10 cm –mv



Figuur 30 Gesimuleerde waarden voor het Pw-getal op 31 december 2004 uitgezet tegen de met regressieanalyse uit de metingen bepaalde Pw-getallen voor de laag 0-30 cm –mv



Uit de afwijking tussen gemeten en gesimuleerde waarden voor het Pw-getal blijkt dat het lastig is om voor elke locatie een juiste mobilisatie of vastlegging van fosfaat door (de)sorptie en (im)mobilisatie van P uit organische stof te simuleren. Onderzoek naar de mineralisatie van organische stof op de verschillende locaties en de (de)sorptie-isothermen moet hier in de komende jaren meer helderheid over geven. De waargenomen afwijkingen tussen model en metingen zijn als volgt te groeperen:

- de simulatie van het Pw-getal bij een overschot van 0 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹ is goed, maar het Pw-getal wordt overschat bij een overschot van 40 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹ (Waiboerhoeve, Heino, : Figuur 30). In deze situatie wordt dus de netto vastlegging van P onderschat bij hogere giften.
- de simulaties van het Pw-getal zijn systematisch te hoog, maar de trend wordt redelijk goed gesimuleerd (Cranendonck). In dit geval is dus sprake van een te geringe vastlegging/ te hoge mobilisatie van P die onafhankelijk is van de P-gift.
- de simulatie van de Pw-getallen zijn systematisch te hoog en de overschatting neemt toe met het P-overschot. Dit is feitelijk een combinatie van de twee bovengenoemde situaties.

Afwijkingen die onafhankelijk zijn van het P-overschot worden naar alle waarschijnlijkheid veroorzaakt door een onder- of overschatting van de mineralisatie. Sorptie-processen worden gestuurd door de concentraties in de oplossing. Een onder- of overschatting van de sorptie zal leiden tot afwijkingen die veranderen met de P-gift.

4 Discussie

4.1 Bemesting, gerealiseerde N en P₂O₅-overschotten en gebruiksnormen

In de veldproef kunnen de vooraf ingestelde overschotten (streefwaarden) benaderd worden maar het is niet mogelijk om exact op de gewenste waarde uit te komen omdat er voor gekozen is om, overeenkomstig de praktijk, de bemestingen voor de oogst van de snede uit te voeren. De onttrekking van een snede is op dat moment uiteraard nog niet bekend. Het voordeel van vooraf bemesten met P₂O₅ ten opzichte van achteraf compenseren is dat de eerste snede kan profiteren van het P₂O₅ dat in het voorjaar gegeven wordt. De behaalde N-overschotten in de jaren 2002 tot en met 2004 zijn op Aver Heino laag ten opzichte van de N-overschotten van de eerste jaren (1997 tot en met 2001) en ten opzichte van de streefwaarden. De verklaring hiervoor is dat Aver Heino vanaf 2002 geen stikstof met kunstmest meer heeft gekregen. Alle objecten (behalve het uitmijnobject) kregen alleen nog maar dierlijke mest en in de oorspronkelijke N300 objecten en in het uitmijnobject is klaver doorgezaaid voor stikstofbinding uit de lucht. In de eerste twee jaar (2002 en 2003) sloeg de klaver nog niet goed aan. In 2002 is drie keer een poging gedaan om klaver in de grasmat door te zaaien. De oorspronkelijke zode was vrij dicht en het was lastig voor de klaverkiemplantjes om zich te vestigen. Het gebruik is dat jaar daarom gericht geweest op de vestiging van klaver: de sneden zijn niet te zwaar gemaaid. In het derde jaar na omschakeling begon de klaver zich redelijk te vestigen. De N-binding uit de lucht door de klaver is niet meegenomen als aanvoer. Daardoor is het N-overschot laag. In het vervolg van de proef zal de botanische samenstelling van het grasland nog een keer geschat worden, zodat er een inschatting gemaakt kan worden van de stikstofbinding door klaver en dit eventueel in het overschot meegenomen kan worden.

Het bemestingsplan voor stikstof op de locaties Cranendonck, de Waiboerhoeve en Zegveld was erop gericht om het overschot dat in de eerste 5 jaar gehaald werd, voort te zetten om zo een doorlopende reeks te krijgen. Dit was in 1997 tot en met 2001 lager dan de oorspronkelijk geplande 180 en 300 kg N ha⁻¹, namelijk gemiddeld 130 en 250. In de jaren 2002 t/m 2004 zijn de overschotten ook lager dan gepland. Het behalen van het N-overschot van 300 is op alle niet-biologische locaties lastig te realiseren omdat het gras sterk op stikstofbemesting reageert. Om een overschot van 300 kg N ha⁻¹ te behalen zouden er bemestingen gegeven moeten worden die ver boven de verwachte toegestane giften uitkomen (zowel in MINAS als bij gebruiksnormen). Dat past niet bij de achtergrond van dit onderzoek waar gestreefd wordt naar praktijkgiften en behandelingen. Een hogere gift met organische mest is niet mogelijk omdat er dan meer P₂O₅ wordt toegediend dan onttrekking en er dus problemen ontstaan met het P00-object. Gemiddeld is het N-overschot op N180 op de niet biologische locaties 127 kg N ha⁻¹ en op N300 212 kg N ha⁻¹. De bemesting is op N180 291 kg totaal N ha⁻¹ (206 kg N werkzaam) geweest. Op N300 419 kg totaal N ha⁻¹ (333 kg N werkzaam).

De bemesting van fosfaat was erop gericht om via de gift met dierlijke mest de fosfaatonttrekking door het gras te compenseren en met kunstmest de gewenste fosfaatoverschotten op de proefvelden aan te leggen. Omdat de fosfaatbemesting voor de maaisneden gegeven is en de maaisneden vrijwel de volledige onttrekking bepalen, betekende dit bij een lichtere maaisnede dan verwacht, er meer fosfaat gegeven was dan de onttrekking en het fosfaatoverschot hoger uitkwam dan gepland.

Fosfaatbemesting verhoogde het P-gehalte in het gras. Deze verhoging werd echter pas bekend na het beschikbaar komen van de chemische gewasanalyses en dat was later dan het tijdstip waarop de volgende bemesting toegediend werd. Bij het vaststellen werd gerekend met een vast P-gehalte en werd dus geen rekening gehouden met het werkelijke gehalte. Dit heeft geleid tot iets een lager verschil in fosfaatoverschot tussen de P-trappen dan de geplande 20 kg P₂O₅ ha⁻¹.

Een dilemma voor de planning van de bemesting van deze proef is of er gekozen moet worden voor het compenseren van de opbrengsten en de veldomstandigheden waardoor de bemestingsgiften tussen jaren sterk gaan variëren of dat er gekozen moet worden voor een stabiele bemesting zodat daarin geen grote verschillen tussen jaren ontstaan. In deze proef is gekozen voor een stabiele bemesting die naar verwachting de na te streven overschotten gemiddeld over de proefjaren wordt bereikt. Als er echter een snede minder werd geoogst werd er met N ook voor een snede minder bemest.

Op alle locaties zijn in 2002 tot en met 2004 de gemiddelde fosfaatoverschotten hoger dan gepland met name op de Waiboerhoeve. Dit wordt vooral veroorzaakt door 2003 door droogte de groei zover vertraagd was dat er 2 sneden minder geoogst zijn dan in andere jaren en de tweede maaisnede uiteindelijk een lagere opbrengst had dan waar bij de bepaling van de meststofgift rekening mee gehouden is. Op de Waiboerhoeve was in de eerste vijf jaar het gemiddelde fosfaatoverschot echter lager uitgevallen dan gepland. Gemiddeld over de gehele

proefperiode vanaf 1997 (zie Bijlage 3) wijkt het fosfaatoverschot voor de vier locaties niet veel af van het geplande overschot.

Gebruiksnormen

De N-bemesting (inclusief berekende uitscheiding van de dieren) op de lage N-trap (N180) komt goed overeen met de wettelijke N-gebruiksnorm voor 2009. Ook de P_2O_5 -bemesting op P00 voldoet aan de bemesting volgens de voorgenomen norm van 2009. Die is $95 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$ (inclusief weidemest). De berekende N-uitscheiding van de dieren is hoger dan de forfaitaire uitscheiding voor jongvee van 1-2 jaar.

Wanneer voor pinken gerekend wordt volgens de wettelijke normen ($\text{norm}/365 \cdot \text{dierweidedagen}$) scheiden zij gemiddeld 44 kg N ha^{-1} en $15 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$ uit. Dit is gemiddeld over zomer en winter. Dat is minder dan de 80 % van de N- en P-opname van het grasland van de weidesneden, die in de berekening van de uitscheiding in de weide in deze proef is aangehouden.

4.2 Gewas

Drogestofopbrengst: trend over jaren

De drogestofopbrengst daalt volgens de statistische analyse met REML in de loop van de jaren significant. Dit is mogelijk een gevolg van de verandering van de bemestingsstrategie in 2002. Vanaf 2002 is ten opzichte van 1997 tot en met 2001 er minder werkzame N toegediend. De totale aanvoer van N bleef gelijk maar het aandeel van N uit dierlijke mest is vanaf dat jaar groter dan eerder. Bovendien vallen er enkele slechte grasjaren aan het eind van de periode zoals het droge jaar 2003. In dit jaar is in ieder geval op Zegveld en de Waiboerhoeve visueel een opbrengstreductie als gevolg van vochtgebrek waargenomen. Op de zandlocaties wordt de neergaande trend naast de verandering van de bemestingsstrategie zeer waarschijnlijk ook veroorzaakt worden door de overschakeling van gangbaar naar biologisch op locatie Aver Heino in 2002. Op Aver Heino reageerde de drogestofopbrengst sterk op de omschakeling van gangbaar naar biologisch. De ingezaaide klaver was nog niet voldoende ontwikkeld en de N-levering daaruit minimaal. Omdat de significante trend op alle objecten ongeveer even groot is, is de verlaging van de drogestof opbrengst hoogst waarschijnlijk geen gevolg van de verlaging van de P-beschikbaarheid in de bodem.

Effect N-overschot op gewas

Het verschil in drogestofopbrengst tussen de beide N-trappen is vergelijkbaar met de eerste vijf jaar, alleen op Cranendonck is het verschil tussen beide N-trappen groter geworden en is het N-effect op die locatie nu meer volgens verwachting (zie Van Middelkoop et al., 2004).

Op Aver Heino is nog geen stabilisering van het klaveraandeel op de doorgezaaide veldjes vastgesteld. Het verschil tussen de drogestofopbrengsten van de wel en niet doorgezaaide objecten was nog niet aanwezig in 2002, begon in 2003 zich af te tekenen en is in 2004 groter dan in 2003. De visuele inschatting is eveneens dat het klaveraandeel nog steeds aan het toenemen is.

Effect P_2O_5 -overschot op gewas

De invloed van een hoger P_2O_5 -overschot op de drogestofopbrengst op de zand- en veenlocaties blijkt significant positief te zijn. Het is volgens de statistische analyse echter zo dat het verschil tussen de objecten en dus het positieve P-overschot op de locaties steeds kleiner wordt. Verwacht werd dat het verschil tussen de overschotten toeneemt omdat de bodemvruchtbaarheid op termijn verder zal gaan verschillen van elkaar. Een verklaring daarvoor is (nog) niet te geven. Mogelijk dat dit effect na meer meetjaren niet meer wordt aangetoond.

Het P-gehalte van het gras op Cranendonck heeft een sterk (significant) negatieve trend in de tijd op alle objecten. Op de locaties Waiboerhoeve en Zegveld is er eveneens een significant negatieve trend in de tijd maar lang niet zo sterk als op Cranendonck. De oorzaak hiervan is niet bekend. Mogelijk dat de verlaging van de werkzame N-gift vanaf 2001 ook op het P-gehalte een (negatieve) invloed heeft gehad.

Op de klei-locatie is er een klein effect van P_2O_5 overschot op drogestofopbrengst en tegengesteld aan de verwachting van P_2O_5 -overschot gevonden: de P40-objecten hebben lagere opbrengsten dan de P00. Dit wordt veroorzaakt door N180-P40. Kennelijk is dit effect zo sterk dat de REML-analyses dit niet corrigeert in het random effect maar toekent aan de behandeling.

Het P-gehalte van het gras kwam in de gehele proef gemiddeld niet onder de richtlijn die het CVB (CVB, 2005) geeft voor het volledige rantsoen van melkgevend koeien ($3,0$ tot $3,5 \text{ g P kg}^{-1} \text{ ds}$). In een rantsoen met een groot aandeel (kuil)gras en krachtvoer met voor dit rantsoen gangbare P-gehalten ($4-5 \text{ g P kg}^{-1} \text{ product}$) komt de P-voorziening van melkvee dus niet in gevaar. In rantsoenen met (kuil)gras en snijmaïs wordt meestal aangevuld

met krachtvoer met een hoger P-gehalte om het lagere P-gehalte van snijmaïs te compenseren. Ook in een dergelijk rantsoen komt de P-voorziening met de gemeten P-gehalten van melkvee niet in gevaar.

4.3 Effect van P-overschot op bodemvruchtbaarheid

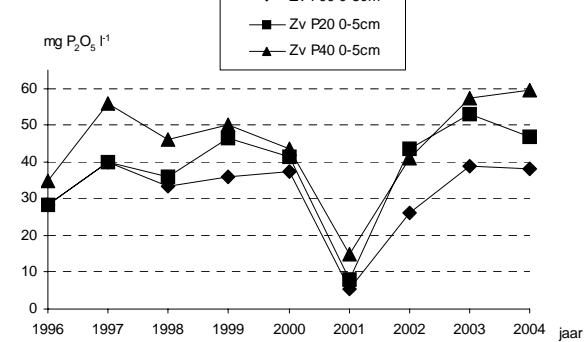
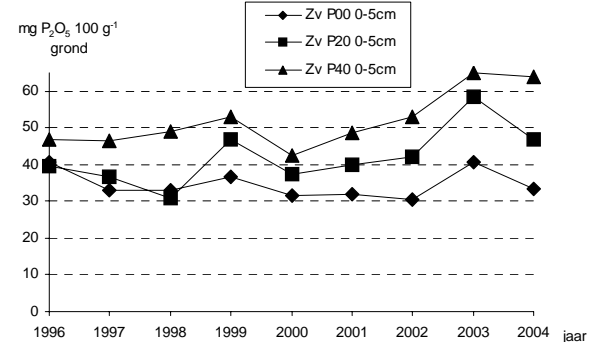
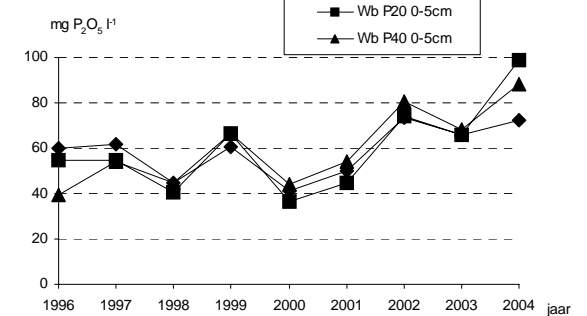
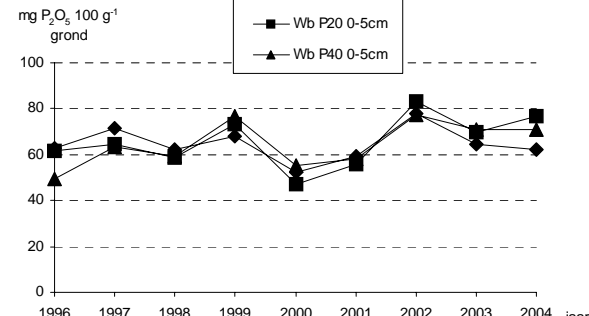
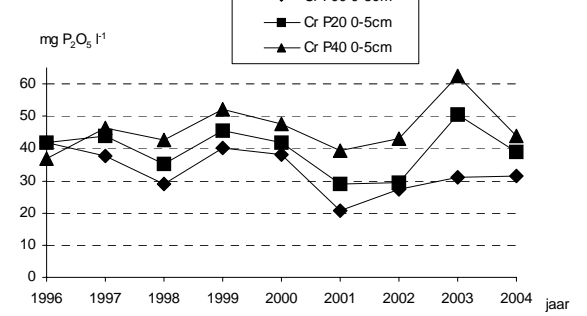
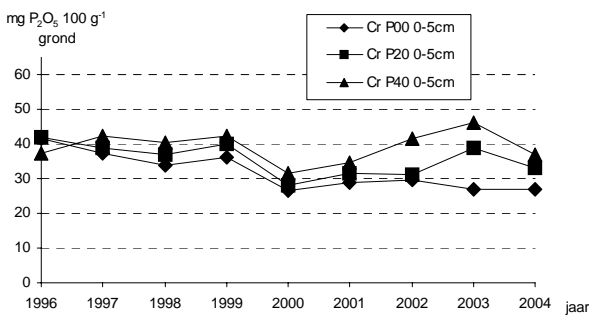
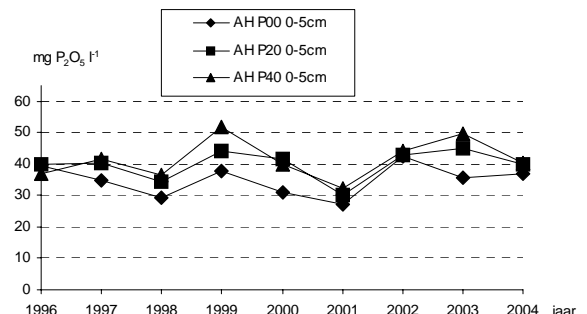
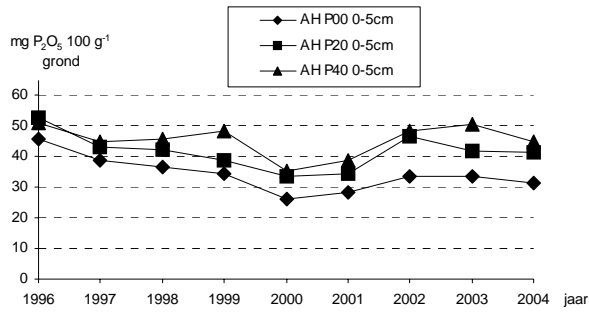
De fosfaattoestanden gemeten als Pw- en PAL-getal op de verschillende locaties veranderen vooral in de bovenste twee lagen (0-5 en 5-10 cm). Daarvan is de verandering het grootst in de laag 0-5 cm. Op alle locaties volgen de veranderingen over de jaren van het Pw- en PAL-getal in de laag 0-5 cm systematisch het fosfaatoverschot.

Op de beide zandlocaties blijft het PAL-getal stabiel bij een overschot van 40 en daalt het PAL-getal volgens de statistische analyse 6 tot 7 eenheden per 20 kg P_2O_5 daling van het overschot over de afgelopen acht proefjaren. Figuur 7 laat zien dat er in de eerste vijf jaar vooral op Aver Heino een forse daling heeft plaatsgevonden. Zo daalt het PAL-getal in de laag 0-5 cm bij evenwichtsbemestingslijn (P00) van 45 naar 25, van *ruim voldoende* naar de klasse *vrij laag*. Daarna echter stijgt het PAL-getal weer en is in 2004 weer net boven 30 (klasse *voldoende*). Dit patroon is ook terug te vinden voor Cranendonck. Hier is het PAL-getal in 2004 net iets lager, net onder de klasse *voldoende* (ca. 28). Dit patroon van daling en vervolgens stijging kan met de gebruikte statistische techniek niet worden aangetoond omdat er is uitgegaan van een rechtlijnig verbanden tussen tijd en verandering van PAL. Een REML analyse waarin een asymptoot (evenwichtsniveau) is opgenomen zal daarin geen verbetering brengen omdat er nog niet van een evenwicht gesproken kan worden.

Het verloop van de PAL-getallen in de verschillende lagen is vergelijkbaar met het verloop van de Pw-getallen. In Figuur 31 zijn de PAL- en Pw-getallen uit de laag 0-5 cm uit Figuur 6 en Figuur 7 naast elkaar gezet om dit te illustreren. Op een enkele uitzondering na (Zegveld 2001) komen dalingen en stijgingen in PAL-getallen redelijk overeen met dalingen en stijgingen in Pw-getallen zowel in patroon als in hoogte van variatie. Bij het bepalen van het PAL-getal wordt de makkelijk oplosbare fractie P_2O_5 die in het Pw-getal bepaald wordt, eveneens gemeten samen met een iets sterker (maar nog steeds grotendeels reversibel) gebonden fractie. Een deel van de variatie in het PAL-getal kan dus verklaard worden uit variatie in de makkelijk oplosbare fractie (Pw). Pw maakt echter slechts een klein deel uit van PAL. Omgerekend naar $kg\ ha^{-1}$ is de hoeveelheid P_2O_5 per eenheid PAL circa 10 keer zo hoog als de hoeveelheid P_2O_5 per eenheid Pw. Een variatie van 10 eenheden Pw zou dan overeenkomen met een variatie van 1 eenheid PAL. Het deel van de fractie in PAL dat niet overeenkomt met het P_2O_5 dat in Pw wordt bepaald, varieert dus mee. Dit is logisch aangezien een groot deel van het PAL-getal bepaald wordt door de reversibele fractie.

In de sterker gebonden fracties (P_{ox}) is een lichte daling waarneembaar bij evenwichtsbemesting (P00). Veranderingen in P-totaal zijn niet significant. De uitspoelingsverliezen uit de bouwvoor zijn relatief laag (1-10 $kg\ P_2O_5\ ha^{-1}\ jr^{-1}$). Op basis van deze verliezen mag verwacht worden dat bij een overschot tussen 1 en 10 $kg\ P_2O_5\ ha^{-1}\ jr^{-1}$ de Pw en PAL-getallen stabiel zouden moeten zijn. In de praktijk vinden wij een langzame daling bij overschotten tot en met 20 $kg\ P_2O_5\ ha^{-1}\ jr^{-1}$ op de zand- en veengronden. Deze daling duidt erop dat een deel van het reversibel gebonden fosfaat (zoals blijkt uit Pw en PAL-getal) omgezet wordt naar minder reversibele vormen door bv fixatie/precipitatie of dat een deel van het toegediende fosfaat geïmmobiliseerd wordt in de organische fractie. De daling van de oxalaat extraheerbare fractie op de zandgronden en de veengrond duidt erop dat een deel van het fosfaat zelfs vastgelegd wordt in een zeer onoplosbare vorm die niet met oxalaat extraheerbaar is. Dit proces van sterkere binding door veroudering van de precipitaten is beschreven in de literatuur (o.a. Schoumans et al., 2004). De simulatieresultaten duiden ook op een dergelijke reactie. Over de omvang van deze reactie zijn op basis van de huidige dataset nog onvoldoende conclusies te trekken.

Figuur 31 Verloop PAL-getal (links) en Pw-getal (rechts) over 1996 tot en met 2001 in de laag 0-5 cm – mv (uit Figuur 6 en Figuur 7)



Vergelijking met andere veldproeven

Op het proefbedrijf De Marke is over een periode van 10 jaar een fosfaatoverschot van 0 nagestreefd. Gedurende die periode werden het PAL- en Pw-getal in de laag 0-20 cm bepaald (Corré et al., 2004). Het gerealiseerde P-overschot op de bodem van de Marke was gemiddeld over de periode 1993/2003 0 (max 6 kg, min -7 kg P₂O₅ ha⁻¹). Omdat op het bedrijf de vruchtwisseling bestaat uit gras en maïs werd de bemonsteringsdiepte afgestemd op die voor zandbouwland. Bij aanvang van het onderzoek in 1989 was het gemiddelde PAL-getal hoog, nl. 75 mg P₂O₅ (100 g)⁻¹. Vanaf 1993 is het PAL-getal jaarlijks gemeten en gedaald naar 68 mg P₂O₅ (100 g)⁻¹. In loop van de jaren, tot en met 2002, daalde het PAL-getal verder naar ca. 64 maar bleef dus nog steeds in de klasse *hoog*. In het rapport hierover wordt de verwachting uitgesproken dat de fosfaattoestand gemeten als PAL-getal verder zal dalen en uiteindelijk zal stabiliseren rond de 30 à 40 mg P₂O₅ (100 g)⁻¹ (toestand *voldoende*). Percelen op De Marke die begonnen met een fosfaattoestand *voldoende*, veranderen nl. niet zo sterk bij strikte evenwichtsbemesting. Op De Marke blijkt dat zowel Pw- als PAL- getal in het begin sneller dalen naarmate de uitgangssituatie hoger is. De uitspoeling is naar verwachting echter laag, in ieder geval zoveel lager dat de snelle daling niet volledig toegeschreven kan worden aan uitspoeling. Mogelijk is de snelle daling te wijten aan een grotere flux naar de irreversibele pool.

Ook de data voor de Marke vertonen van jaar tot jaar variatie; deze bedraagt circa 10 eenheden PAL-getal. In dit opzicht zijn de zandlocaties van ons onderzoek vergelijkbaar met de zandgrond van het proefbedrijf De Marke.

Op de Marke kon niet aangetoond worden dat de fosfaattoestand (negatieve) invloed had op de drogestofopbrengst.

Verschillen tussen de proef uit onderhavig onderzoek en De Marke zijn:

- Op de Marke wordt vruchtwisseling toegepast.
- De uitgangssituatie op de Marke was rijker.
- De aanvoer en afvoer per perceel is niet gedetailleerd op de Marke vastgelegd. Uit de resultaten van onze proef is op termijn een uitspraak te doen over een aantal niveaus van overschotten, op De Marke kan per definitie maar één niveau van fosfaatoverschot verstrengeld met de daarbij veranderende fosfaattoestand op bedrijfsniveau gevolgd worden.
- Op De Marke kan geen uitspraak gedaan worden over de verandering van P-totaal of over de P-uitspoeling als functie van de bodemvoorraad.

In het project Lage Kosten Bedrijf (LKB) van de Waiboerhoeve is gedurende 8 jaar (1997-2005) het PAL-getal in 0-5 cm vastgelegd bij een lage fosfaatbemesting (Holshof, 2006). Tot en met 2002 is wel kunstmestfosfaat gegeven maar was de fosfaatbemesting (kunstmest en organische mest) gemiddeld steeds beneden het bemestingsadvies. Na 2002 is alleen bij herinzaai nog kunstmestfosfaat gegeven en in 2004 helemaal geen kunstmestfosfaat en is alleen bemest met eigen rundermest. Het betreft dezelfde bodemsoort en ligt fysiek vlak bij de kavel met het proefveld Waiboerhoeve van onderhavig onderzoek.

De gegevens op het LKB zijn statistisch geanalyseerd met de REML methode. Bij deze analyse is een model geformuleerd. Het eindmodel, dat de verandering in PAL-getal over twee jaar op het Laag Kosten Bedrijf voorspelt, is:

$$\text{Delta PAL} = \alpha + \beta_1 * \text{P-totaal bemesting laatste jaar} + \beta_2 * \text{P-dierlijke mest laatste jaar} + \beta_3 * \text{P-totaal bemesting voorgaande jaar} + \gamma * \text{herinzaai} + \rho * \text{maaipercentage} + \varepsilon_{\text{jaar effect}} + \varepsilon_{\text{jaar effect.perceelseffect}} + \varepsilon_{\text{rest}}$$

Hierin is

α =	-5,167	se (standaardfout) =	3,3347
β_1 =	0,1554	se =	0,02235
β_2 =	-0,08586	se =	0,023688
β_3 =	0,1114	se =	0,01664
γ =	-32,46	se =	1,742
ρ =	-0,02736	se =	0,009359

Wanneer de gemiddelde gegevens van alle jaren (behalve 1^e jaar omdat daar "P totaal bemesting voorgaande jaar" niet van bekend is) van de 6 objecten op het proefveld van de Waiboerhoeve invullen voor alle jaren komt daar het volgende uit (herinzaai is in onderhavige veldproef niet uitgevoerd en draagt daarom niets bij):

Tabel 30 Invoer en uitkomst voor verandering PAL-getal (0-5 cm) in REML model Laag Kosten Bedrijf (Holshof, 2006) vergeleken met uitkomsten REML analyse onderhavige proef.

	P totaal bemesting laatste jaar	P dierlijke mest laatste jaar	P totaal bemesting voorgaande jaar	Maa- percentage	Verandering PAL jr ⁻¹ vlns studie LKB (Holshof)	Verandering PAL jr ⁻¹ volgens REML deze studie
N180-P00	57,04	43,96	53,09	257	-0,59	0,00
N180 P20	79,01	43,96	77,18	257	2,47	1,38
N180 P40	97,62	43,96	98,03	257	5,80	2,00
N300 P00	60,84	48,09	57,81	257	-0,21	0,00
N300 P20	83,14	48,09	82,86	257	2,93	1,25
N300 P40	101,29	48,09	103,05	257	5,47	2,25

Vergeleken bij de REML analyse van onderhavige proef is de stijging met het model van LKB ongeveer 2 keer zo hoog. Absoluut gezien zijn de veranderingen in PAL-getal redelijk vergelijkbaar. Een duidelijk verschil is de daling op LKB bij evenwichtsbemesting die in de verliesnormenproef over de periode van 8 jaar niet terug te vinden is.

Verschillen tussen de proef uit onderhavig onderzoek en LKB zijn:

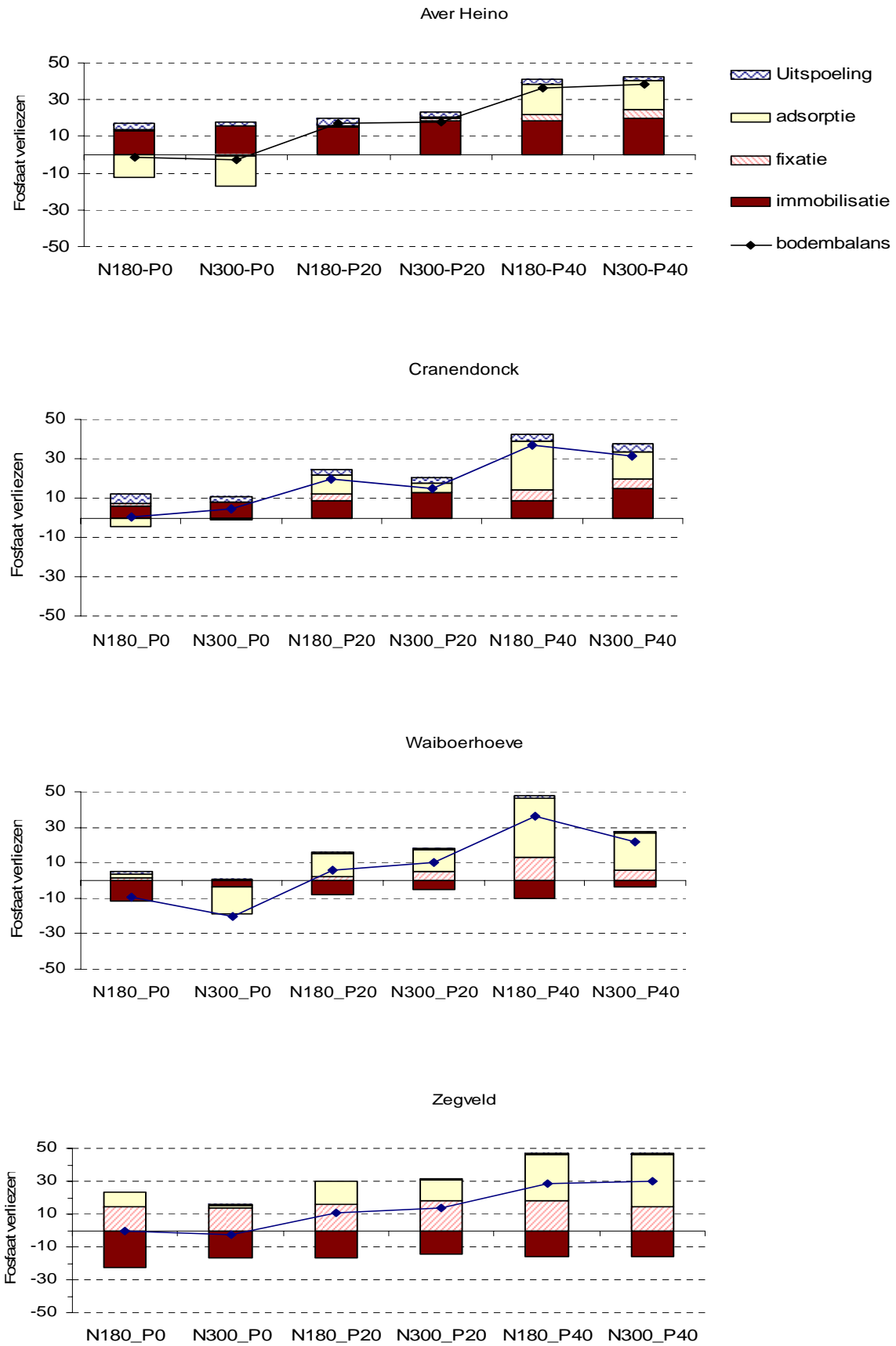
- De analyse op LKB is alleen uitgevoerd voor de laag 0-5 cm.
- De aanvoer en afvoer per perceel is op LKB niet gedetailleerd vastgelegd. Het resultaat is dan ook een formule waarin maaipercentage in verwerkt is als maat voor de onttrekking. Dit kan een grote afwijking veroorzaken wanneer geen standaard maaisneden worden geogost.
- Uit onderhavige proef kan geen uitspraak gedaan worden over het gevolg van herinzaai/ploegen, op LKB blijkt dit een daling van 32 eenheden PAL te veroorzaken in twee jaar tijd, waarschijnlijk door het bovenhalen van een P-arme bodemlaag.
- Op LKB kan geen uitspraak gedaan worden over de verandering van Pw-getal en P-totaal of over de P-uitspoeling als functie van de bodemvoorraad.

4.4 Simulatie van Pw

Uit de gepresenteerde resultaten in hoofdstuk 3 blijkt dat de simulatie van Pw-getal op lange termijn vaak aanzienlijk afwijkt van de gemeten trend. In de meeste gevallen is sprake van een overschatting op lange termijn van de waarden voor het Pw-getal bij de hoge overschotten. In een aantal gevallen (Cranendonck en Zegveld) worden ook bij lage overschotten de Pw getallen op termijn overschat. De overschatting van de opslag van geadsorbeerd P varieert op jaarbasis in de laag van 0-10 cm van 35 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹ op Waiboerhoeve tot 135 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹ op Cranendonck. De overschatting van de opslag van geadsorbeerd P in de hele bovengrond (0-30 cm) is ongeveer 50 % lager. Een analyse van de (gesimuleerde) procesfluxen (sorptie, fixatie, immobilisatie) in de bodem kan meer inzicht geven in de oorzaak van deze afwijking tussen simulatie en meting.

Het lot van het fosfaatoverschot in de bodem wordt vooral bepaald door ad/desorptie, fixatie en immobilisatie. De verliezen van fosfaat door uitspoeling zijn relatief gering ten opzichte van deze processen. Tussen de locaties worden verschillen in immobilisatie van fosfaat in organisch materiaal gesimuleerd (Figuur 30). Op de beide zandlocaties wordt bij alle overschotten een vastlegging van fosfaat in organische vorm (immobilisatie) gesimuleerd. Op Aver Heino is de immobilisatie relatief hoog (13- 20 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹). Op Cranendonck wordt een wat lager immobilisatie gesimuleerd (6-15 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹). Op de veen- en de kleilocatie is sprake van een netto mobilisatie van P uit organisch materiaal. Op de Waiboerhoeve is de mobilisatie relatief laag (5-12 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹) ten opzichte van de veenlocatie (15-23 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹). De omvang van de gesimuleerde P immobilisatie heeft invloed op de uiteindelijke gesimuleerde adsorptie en fixatie en het gesimuleerde verloop van het Pw-getal. Bij lage P overschotten en bij negatieve P balansen mag over het algemeen een desorptie van fosfaat verwacht worden (daling van het Pw-getal). Bij een evenwichtsbemesting (gift-opname = 0) ligt de desorptie op de beide zandgronden tussen -12 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹ op Heino en -5 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹ op Cranendonck. Op de klei en de veenlocatie wordt bij evenwichtsbemesting nog steeds sorptie gesimuleerd doordat er fosfaat vrij komt uit organische stof (mobilisatie). Op de veenlocatie wordt een deel van het fosfaat dat vrijkomt vastgelegd door fixatie (14-18 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹). Op de Waiboerhoeve neemt de fixatie toe van 0 bij evenwichtsbemesting tot circa 15 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹ bij een overschot van 40 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹. Op de beide zandlocaties is de fixatie bij evenwichtsbemesting nihil en neemt toe tot 4 à 5 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹ bij een overschot van 40 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹.

Figuur 32 Bodembalans (overschot – uitspoeling) en gesimuleerde vastlegging (+) en mobilisatie (-) van fosfaat in de bodem (kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹)



Overschatting van de waarden voor het Pw-getal kan verklaard worden door een onderschatting van de vastlegging van P in de bodem door fixatie van P of immobilisatie van P in organische stof. Een gelijke overschatting van het Pw-getal bij alle giften wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een onderschatting van de immobilisatie. Een toename van de overschatting met het overschot kan verklaard worden uit een onderschatting van de fixatie, omdat de fixatie toeneemt naarmate de grond sterker wordt opgeladen.

De analyse van de data van het Pw-getal gaf aan dat het gesimuleerde Pw-getal op zowel Zegveld als Cranendonck bij alle fosfaatoverschotten werden overschat (Figuur 28). Deze afwijking zou dus veroorzaakt kunnen worden door een te geringe immobilisatie van fosfaat op deze sites. Op Cranendonck is de immobilisatie van P in organische stof inderdaad lager (circa $8 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$) dan op de andere zandlocatie (Heino). Een verhoging van de immobilisatie op Cranendonck zou de simulaties van het Pw-getal enigszins kunnen verbeteren. Om het gewenste verloop in Pw-getal te simuleren zou de immobilisatie echter met circa $70 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ moeten stijgen. Een dergelijke omvang van de immobilisatie is niet reëel, mede gezien het feit dat de koolstof gehalten op deze locatie eerder een dalende dan een stijgende trend laten zien. Op Zegveld is de mobilisatie van P uit organische stof ($15\text{-}23 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$) veel hoger dan op alle andere locaties. Voor een veenlocatie is de gesimuleerde mobilisatie van fosfaat niet extreem hoog. Op veengrond in de Vlietpolder werd voor het hele profiel een mineralisatie van circa $25 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ gemeten (van Beek et al, 2004). Verlaging van de mobilisatie zou de simulatie resultaten voor Zegveld mogelijk wel sterk verbeteren. Om het gewenste verloop in Pw-getal te simuleren is echter een extra opslag van circa $40 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ in de bovenste 30 cm van de grond noodzakelijk. Ook voor Zegveld is het dus aannemelijk dat de overschatting van het Pw-getal voor een deel een andere oorzaak moet hebben.

Op bijna alle locaties nam de overschatting van gesimuleerde Pw-getallen ten opzichte van de gemeten Pw getallen toe naarmate het P overschot steeg (Figuur 30). Op alle locaties is nu sprake is van een lichte stijging van de P fixatie met het overschot. Een hogere P fixatie en een sterkere toename van de fixatie met het overschot zal dus leiden tot een betere overeenkomst tussen metingen en simulaties. Een onjuiste inschatting van de fixatie is niet uit te sluiten aangezien voor de simulatie van de fixatie generieke eigenschappen gebruikt worden omdat locatiespecifieke data ontbreken. Een onderschatting van de gesimuleerde fixatie van fosfaat wordt echter niet bevestigd door de metingen van oxalaat extraheerbaar P. De NH_4 -oxalaat extractie wordt beschouwd als een maat voor de som van geadsorbeerd en gefixeerd P. Jaarlijkse metingen van oxalaat extraheerbaar P geven aan dat op alle locaties in de bovengrond (0-10 cm) sprake is van een lichte daling in oxalaat extraheerbaar P (zie ook 3.3.2). De daling bedraagt circa $35 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ op Heino en $23 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ op Cranendonck. Op Waiboerhoeve ligt de daling tussen 0 en $14 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ en op Zegveld tussen 20 en $45 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. De veranderingen in oxalaat extraheerbaar P in de diepere lagen (10-30 cm) zijn nog niet aantoonbaar.

Op basis van de beschikbare analyses is het niet mogelijk om vast te stellen of en hoe sterk het model de vastlegging van P in organische (immobilisatie) of anorganische vorm onderschat. Een verhoging van de gesimuleerde immobilisatie kan de modelresultaten iets verbeteren maar de noodzakelijke extra vastlegging van P is te groot om volledig door immobilisatie te worden verklaard. Vastlegging van P in anorganische vorm (fixatie) wordt niet bevestigd door de (dalende) trend in oxalaat extraheerbaar P. Mogelijk wordt een deel van het P vastgelegd in een niet door oxalaat extraheerbare vorm. De analyse van totaal-P leveren echter geen heldere trends op, die overeenkomen met de bodembalans, zodat hierover vooralsnog geen conclusies kunnen worden getrokken. Voor het voorspellen van de lange termijn effecten van lage bemestingsniveau is het noodzakelijk om meer inzicht te krijgen in de effecten van veroudering op de fosfaatpools (P_{ox} , P_{totaal})

5 Conclusies

De gerealiseerde N-overschotten op de locaties Cranendonck, Waiboerhoeve en Zegveld (gangbare bedrijfsvoering) over de periode 2002 tot en met 2004 zijn 130 kg N ha⁻¹ voor N180 en 212 kg N ha⁻¹ voor N300. De bijbehorende N-bemestingniveaus waren 206 en 333 kg werkzame N ha⁻¹ (291 en 419 kg totaal N ha⁻¹). Op Aver Heino (biologisch) is, zonder rekening te houden met de N-binding door klaver, 94 kg N ha⁻¹ werkzaam toegediend (174 kg totaal N ha⁻¹). Op de objecten waar geen klaver ingezaaid is (N180), is het overschot gemiddeld 47 kg N ha⁻¹ over 2002 tot en met 2004. Op de objecten met klaver (N300) is het N-overschot gemiddeld 25 kg N ha⁻¹.

Gemiddeld over de locaties bedroegen de fosfaatoverschotten in 2002 tot en met 2004 9, 25 en 43 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹ op respectievelijk P00, P20 en P40. De bijbehorende bemesting was 64, 83 en 103 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹. Het fosfaatoverschot is hoger dan oorspronkelijk gepland door o.a. de droogte in zomer 2003. Wanneer over de gehele proefperiode gekeken wordt (1997 tot en met 2004) zijn de fosfaatoverschotten redelijk overeenkomstig de streefwaarde namelijk -2,5 op P00, 17,5 op P20 en 36,8 kg P₂O₅ ha⁻¹ op P40.

In 8 jaar is de drogestofopbrengst van de zand- en veenlocaties op het object met fosfaatoverschot van 40 kg ha⁻¹ jr⁻¹ circa 400 kg ds ha⁻¹ jr⁻¹ hoger dan op het object met 0 kg overschot, dit is ongeveer 3,5 %. Op de klei-locatie was de reactie omgekeerd dan verwacht. De drogestofopbrengst van het object met evenwichtsbemesting (fosfaatoverschot 0) was juist 400 kg ds ha⁻¹ jr⁻¹ hoger dan het object met 40 kg fosfaatoverschot. Er is dus nog weinig of geen (negatief) effect op de drogestofopbrengst van fosfaat- evenwichtsbemesting ten opzichte van bemesting van 40 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹ boven onttrekking op deze percelen met fosfaattoestand "voldoende" of hoger. Verwacht wordt dat het effect van het P-overschot op de drogestofopbrengst in de toekomst zichtbaar wordt naarmate de bodemvruchtbaarheid verder daalt maar het is nog niet bekend op welke termijn dat zal zijn.

Opvallend is dat er op alle objecten er een negatieve trend is over de jaren in de drogestofopbrengst: met de jaren wordt de opbrengst lager. Het is niet aangetoond dat dit een gevolg is van de behandelingen. De opbrengsten dalen namelijk op alle objecten. De verlaging van de hoeveelheid werkzame N vanaf 2002 (t.o.v. 1997 t/m 2001) door een groter aandeel dierlijke mest speelt hierin mogelijk een rol.

Het effect van het P-overschot op het P-gehalte van het gras was significant op Cranendonck (zand) en op Zegveld (veen). Gemiddeld over acht jaar is het P-gehalte in het gras op deze locaties circa 0,4 g P kg⁻¹ ds hoger op het object P40 dan op het object P00. Dit is circa 14%. Op de Waiboerhoeve en Aver Heino was er geen significant effect van fosfaatoverschot op het P-gehalte van het gras.

Het P-gehalte van het gras kwam in de gehele proef gemiddeld niet onder de richtlijn die het CVB (CVB, 2005) geeft voor het rantsoen van melkgevend koeien (3,0 tot 3,5 g P kg⁻¹ ds). Met deze P-gehalten is niet te verwachten dat er problemen ontstaan in de P-voorziening van het melkvee.

Hoewel de proef aangelegd is op basis van overschotten in MINAS komt de bemesting op de lage N-trap (N180) goed overeen met de N-gebruiksnorm voor 2009, zowel voor N-werkzaam als voor N-organisch. Ook de P₂O₅ – bemesting op P00 voldoet gemiddeld over de locaties aan de bemesting volgens de voorgenomen norm van 2009 (95 kg P₂O₅ ha⁻¹ inclusief weidemest).

Pw-getal

Op alle locaties zijn veranderingen van het Pw-getal in de laag 0-5 cm systematisch volgens het P-overschot. In de laag 5-10 cm, 10-20 cm en 20-30 cm zijn de veranderingen op geen enkele locatie systematisch volgens de P-overschotten. Op de beide zandlocaties, in de laag 0-5 cm daalt op P00 (evenwichtsbemesting) het Pw-getal 5 tot 10 mg P₂O₅ l⁻¹, op P20 daalt het Pw-getal 0 tot 8 mg P₂O₅ l⁻¹. Op P40 stijgt het Pw-getal 3 tot 8 mg P₂O₅ l⁻¹. Op de kleigrond stijgen in 0-5 cm alle Pw-getallen: de P00 5, de P20 12 en de P40 22 mg P₂O₅ l⁻¹. Op de veengrond daalt in 0-5 cm het Pw-getal op P00 13, op P20 10 en op P40 2 mg P₂O₅ l⁻¹.

PAL-getal

Op alle locaties zijn veranderingen van het PAL-getal in de laag 0-5 cm systematisch volgens het P-overschot. Op de beide zandlocaties, in de laag 0-5 cm, daalt het PAL-getal op P00 12 tot 14, op P20 6 tot 7 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond en blijft het PAL-getal op P40 gelijk. In de laag 5-10 cm daalt het PAL-getal P00 licht, blijft gelijk of daalt licht op P20 en blijft gelijk of stijgt licht op P40. In de lagen 10-30 cm is er vrijwel geen verandering in de PAL-getallen.

Op de klei- en veengrond in 0-5 cm blijft het PAL-getal op P00 gelijk, stijgt het PAL-getal op P20 met 10-11 en op P40 met 17 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond.

Op kleigrond stijgt het PAL-getal in 5-10 cm: op P00 met 4, op P20 met 8 en op P40 met 10 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. In 10-30 cm stijgen de PAL-getallen op alle P-overschotten met 2 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. Op veengrond dalen de PAL-getallen in 5-10 cm, op P00 met 14, op P20 en P40 met 11 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. In 10-20 cm dalen de PAL-getallen op alle objecten van 6 tot 7 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. In 20-30 cm veranderen de PAL-getallen niet.

P-oxalaat

Op Aver Heino daalt de P-oxalaat lichte daling in 0-5 en 5-10 cm op P00 en P20 (3 mmol P kg⁻¹ grond), op P40 en in de overige lagen is er geen verandering.

Cranendonck daalt de P-oxalaat in de laag 0-5 en 5-10 cm licht op alle objecten, circa 2 mmol P kg⁻¹ grond. In de overige lagen is er geen verandering.

Op de Waiboerhoeve is er vrijwel geen significante verandering in de objecten en lagen.

Zegveld daalt de P-oxalaat in alle lagen en op alle objecten maar de dalingen zijn niet systematisch volgens de P₂O₅-overschotten. De dalingen zijn circa 10 mmol P kg⁻¹ grond in 0-5 cm, circa 6 mmol P kg⁻¹ grond in 5-10 cm en circa 10 mmol P kg⁻¹ grond in 10-20 cm en 20-30 cm.

Relatief zijn dit grote veranderingen. In de lagen 0-5 en 5-10 komt op zand- en kleigrond 1 eenheid overeen met 40-50 kg P₂O₅ ha⁻¹ en in lagen 10-20 en 20-30 cm met ca. 100 kg P₂O₅ ha⁻¹. Op veen respectievelijk 15 en 30 kg P₂O₅ ha⁻¹.

P-totaal

Op Cranendonck en Aver Heino verandert P-totaal vrijwel niet.

Op Waiboerhoeve stijgt P-totaal in 0-5 cm 50 en in 5-10 cm 30 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. Er is een lichte invloed van het P-overschot. In de laag 10-20 en 20-30 cm verandert P-totaal niet. Een eenheid in de laag 0-5 en 5-10 komt op klei en zand ongeveer overeen met 6 kg P₂O₅ ha⁻¹. De verandering in 0-10 cm vertegenwoordigt dus ongeveer 250 kg P₂O₅ ha⁻¹.

Op Zegveld stijgt in de laag 0-5 cm P-totaal ongeveer 70 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond waarbij de stijging niet systematisch volgens het P-overschot is. In de diepere lagen daalt P-totaal, eveneens niet systematisch volgens P-overschot. In 5-10 cm daalt P-totaal 60, in 10-20 cm 100 en in 20-30 cm 40 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ grond. Een eenheid in de laag 0-5 en 5-10 komt op veen ongeveer overeen met 2 kg P₂O₅ ha⁻¹ en in 10-20 en 20-30 cm met 4 kg P₂O₅ ha⁻¹. De verandering in 0-10 cm vertegenwoordigt dus ongeveer 250 kg P₂O₅ ha⁻¹ en in 20-30 cm 500 kg P₂O₅ ha⁻¹.

P-concentraties en uitspoeling

De fosfaatconcentraties variëren sterk in de tijd waardoor zelfs op lange termijn de effecten van verschillen in bemesting moeilijk zijn aan te tonen. Uit de metingen komt echter wel naar voren dat op alle locaties de ortho-P en P-totaal concentraties in de laag van 0-5 cm hoger zijn naarmate het fosfaatoverschot hoger is. De verschillen zijn significant voor Heino en in de laatste 4 jaar ook voor Cranendonck. De totale fosfaatverliezen door uitspoeling uit de bovenste 30 cm liggen tussen ruim 11 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹ op Heino en 1 kg P₂O₅ ha⁻¹ jr⁻¹ op de Waiboerhoeve. De uitspoeling gedurende de proef was vooral afhankelijk van de (initiële) fosfaattoestand (P_w) van het diepere deel van de bouwvoor (20-30 cm) en wordt gedurende de proef nauwelijks beïnvloed door het fosfaatoverschot.

Simulaties met ANIMO

De orde van grootte van de gemeten fosfaatconcentraties in bodemvocht en grondwater en het P_w-getal konden redelijk goed met het simulatiemodel ANIMO worden gesimuleerd. Het model gaf een goede voorspelling van de gemiddelde jaarlijkse uitspoelingsfluxen op de objecten. De temporele dynamiek in de fosfaatconcentraties werd echter niet nauwkeurig door het model berekend. Dit kan worden verklaard doordat o.a. de effecten van wisselingen in ionsterkte, temperatuur en redoxpotentiaal op de fosfaatbinding in de bodem verwaarloosd zijn en doordat de (weide)mest in het model homogeen over het perceel is verondersteld. De gemiddelde P-totaal concentraties worden door het model sterk onderschat. Deze discrepantie wordt mogelijk deels veroorzaakt door het onderschatten van de mineralisatieflux in de winter en/of het vroege voorjaar. Daarnaast kan de discrepantie ook te wijten zijn aan het beperkte aantal metingen van de P-totaal concentraties in het bodemvocht (3 maal per jaar). De P-totaal concentraties in het bodemvocht variëren sterk in de tijd ten gevolge van de gift met dierlijke mest waardoor het niet goed mogelijk is om op basis van slechts 3 metingen per jaar een goede jaargemiddelde concentratie te bepalen.

De verandering in het P_w-getal kon bij de lage P-overschotten meestal redelijk goed gesimuleerd worden. Bij hogere P-overschotten werd op termijn het P_w-getal overschat. In een aantal gevallen (Cranendonck en Zegveld) worden ook bij lage overschotten de P_w-getallen op termijn overschat. De overschatting van de opslag van

geadsorbeerd P varieert op jaarbasis in de laag van 0-10 cm van 35 kg P_2O_5 ha⁻¹ jr⁻¹ op Waiboerhoeve tot 135 kg P_2O_5 ha⁻¹ jr⁻¹ op Cranendonck. De overschatting van de opslag van geadsorbeerd P in de hele bovengrond (0-30 cm) is ongeveer 50 % lager. De gesimuleerde vastlegging van fosfaat ten gevolge van fixatie (anorganisch P) en immobilisatie in organische vorm wordt blijktbaar door het model onderschat. Validatie van deze processen moet plaats vinden op basis van veranderingen in oxalaat extraheerbaar fosfaat en totaal-P. De lange termijn verandering van deze pools is nog steeds vrij onzeker. Het is daardoor moeilijk om op basis van deze beschikbare vaste fase analyses vast te stellen of en hoe sterk het model de vastlegging van P in organische (immobilisatie) of anorganische vorm onderschat. Een verhoging van de gesimuleerde immobilisatie kan de modelresultaten op met name Zegveld iets verbeteren maar de noodzakelijke extra vastlegging van P is te groot om volledig door immobilisatie te worden verklaard. Vastlegging van P in anorganische vorm (fixatie) wordt niet bevestigd door de (dalende) trend in oxalaat extraheerbaar P. Mogelijk wordt een deel van het P vastgelegd in een niet door oxalaat extraheerbare vorm. De analyse van totaal-P leveren echter geen heldere trends op, die overeen komen met de bodembalans, zodat hierover vooralsnog geen conclusies kunnen worden getrokken.

Bijlagen

Bijlage 1 Graslandgebruik op de proefvelden

Tabel 31 Gebruiksdatum en gebruik per snede per locatie, 2002 t/m 2004

	Snedes	Gebruiksdatum en gebruik					
		2002		2003		2004	
Aver Heino	1	21-05-02	m	26-05-03	m	13-05-04	m
	2	04-07-02	m	27-06-03	w	14-06-04	w
	3	27-08-02	m	20-08-03	m	16-07-04	w
	4	27-09-02	w	29-09-03	w	06-09-04	m
	5	06-11-02	w			28-10-04	w
	6						
	7						
Cranendonck	1	22-05-02	m	14-05-03	m	05-05-04	m
	2	28-06-02	w	06-06-03	w	03-06-04	w
	3	02-08-02	w	07-07-03	w	05-07-04	w
	4	04-09-02	m	20-08-03	m	10-08-04	m
	5	07-10-02	w	22-09-03	w	03-09-04	w
	6			26-10-03	w	07-10-04	w
	7						
Waiboerhoeve	1	10-05-02	m	09-05-03	m	06-05-04	m
	2	02-06-02	w	07-06-03	w	10-06-04	w
	3	07-07-02	w	11-07-03	w	14-07-04	w
	4	19-08-02	m	17-10-03	m	30-08-04	m
	5	14-09-02	w			21-09-04	w
	6	19-10-02	w			26-10-04	m
	7						
Zegveld	1	06-05-02	m	06-05-03	m	05-05-04	m
	2	03-06-02	w	05-06-03	w	07-06-04	w
	3	26-06-02	w	02-07-03	w	01-07-04	w
	4	26-07-02	m	14-08-03	m	02-08-04	m
	5	17-08-02	w	17-09-03	w	07-09-04	m
	6	15-09-02	w	20-10-03	m	13-10-04	w
	7	18-10-02	w				

m=maaien

w=weiden

m_w betekent afwijking van de gebruiksplanning

Bijlage 2 Geplande en uitgevoerde bemesting op de proefvelden

Tabel 32 Geplande bemesting (2002 t/m 2004) op objecten met kunstmest en organische mest, kg N, P₂O₅ en K₂O ha⁻¹

Object	N180-P00	N180-P20	N180-P40	N300-P00	N300-P20	N300-P40	N300-P-100
Aanvoer rdm snede 1 (m ³ ha ⁻¹)	17	17	17	25	25	25	0
Aanvoer tot-N via rdm snede 1	80	80	80	118	118	118	0
N-gift snede 1 (Maaien)	90	90	90	120	120	120	125
Werkzame N snede 1	24	24	24	35	35	35	0
Kunstmest N snede 1	66	66	66	85	85	85	125
N-gift snede 2	40	40	40	55	55	55	45
Werkzame N snede 2	8	8	8	12	12	12	0
Kunstmest N snede 2	32	32	32	43	43	43	45
N-gift snede 3	40	40	40	55	55	55	54
Werkzame N snede 3	8	8	8	12	12	12	0
Kunstmest N snede 3	32	32	32	43	43	43	54
N-gift snede 4 (Maaien)	50	50	50	75	75	75	64
Kunstmest N snede 4	50	50	50	75	75	75	64
N-gift snede 5 en 6	23	23	23	49	49	49	36
Kunstmest N snede 5	23	23	23	49	49	49	36
Kunstmest N snede 6	0	0	0	0	0	0	0
Kunstmest N totaal	202	202	202	295	295	295	324
Rdm N Werkzaam	40	40	40	59	59	59	0
Totaal N werkzaam	242	242	242	353	353	353	324
Totaal N-Totaal	282	282	282	412	412	412	324
Aanvoer P ₂ O ₅ via rdm snede 1	24	24	24	35	35	35	0
Kunstmest P ₂ O ₅ snede 1	0	17	33	0	14	28	0
Kunstmest P ₂ O ₅ snede 4	22	27	31	19	27	34	0
Kunstmest P ₂ O ₅ totaal	22	44	64	19	41	62	0
Totaal P ₂ O ₅	46	68	88	54	76	97	0
K ₂ O advies per maaisnede	100	100	100	100	100	100	100
K ₂ O snede 1 rdm werkzaam	93	93	93	137	137	137	0
K ₂ O snede 2 rdm werkzaam	31	31	31	46	46	46	0
Kunstm. aanvulling K ₂ O	76	76	76	18	18	18	600*
Totaal K ₂ O	200	200	200	201	201	201	600*

*Per locatie afhankelijk van K-getal uitgevoerd

Tabel 33 Gemiddelde N- en P₂O₅-bemesting met organische en kunstmest in kg ha⁻¹ (2002 t/m 2004)

Locatie	Object	Kunstmest		Dunne rundermest			Totaal		
		N	P ₂ O ₅	werkz N	totaal N	P ₂ O ₅	N	werkz N	P ₂ O ₅
Aver Heino	N180_P00	0	0	94	174	53	174	94	53
Aver Heino	N180_P20	0	20	94	174	53	174	94	73
Aver Heino	N180_P40	0	40	94	174	53	174	94	93
Aver Heino	N300_P00	0	0	94	174	53	174	94	53
Aver Heino	N300_P20	0	20	94	174	53	174	94	73
Aver Heino	N300_P40	0	40	94	174	53	174	94	93
Aver Heino	N300_P-100	0	0	0	0	0	0	0	0
Cranendonck	N180_P00	169	0	66	131	49	300	235	49
Cranendonck	N180_P20	169	22	66	131	49	300	235	71
Cranendonck	N180_P40	169	44	66	131	49	300	235	93
Cranendonck	N300_P00	291	2	66	131	49	422	357	49
Cranendonck	N300_P20	291	24	66	131	49	422	357	71
Cranendonck	N300_P40	291	46	66	131	49	422	357	93
Cranendonck	N300_P-100	319	0	0	0	0	310	319	0
Waiboerhoeve	N180_P00	78	0	106	210	86	289	184	86
Waiboerhoeve	N180_P20	78	15	106	210	86	289	184	101
Waiboerhoeve	N180_P40	78	31	106	210	86	289	184	117
Waiboerhoeve	N300_P00	217	0	106	210	86	427	322	86
Waiboerhoeve	N300_P20	217	15	106	210	86	427	322	101
Waiboerhoeve	N300_P40	217	31	106	210	86	427	322	107
Waiboerhoeve	N300_P-100	307	0	0	0	0	307	307	0
Zegveld	N180_P00	131	13	68	154	53	284	199	66
Zegveld	N180_P20	131	34	68	154	53	284	199	86
Zegveld	N180_P40	131	54	68	154	53	284	199	107
Zegveld	N300_P00	253	13	68	154	53	407	321	66
Zegveld	N300_P20	253	34	68	154	53	407	321	86
Zegveld	N300_P40	253	54	68	154	53	407	321	107
Zegveld	N300_P-100	310	0	0	0	0	310	310	0

Bijlage 3 Stikstof- en fosfaataanvoer, -afvoer en -overschot**Tabel 34** Stikstofaanvoer, -afvoer en -overschot (kg N ha⁻¹) gemiddeld per object (2002 t/m 2004 en 1997-2004)

Locatie	Object	N-aanvoer met bemesting	N-afvoer met weiden	N-afvoer met maaien	N-overschot 2002 t/m 2004	N-overschot 1997 t/m 2004
Aver Heino	N180_P00	174	6	114	54	115
Aver Heino	N180_P20	174	7	122	45	100
Aver Heino	N180_P40	174	6	126	42	102
Aver Heino	N300_P00	174	5	155	14	174
Aver Heino	N300_P20	174	6	137	31	193
Aver Heino	N300_P40	174	5	138	31	182
Aver Heino	N300_P-100	0	0	140	-140	
Cranendonck	N180_P00	300	13	124	163	134
Cranendonck	N180_P20	300	13	128	159	134
Cranendonck	N180_P40	300	14	137	149	136
Cranendonck	N300_P00	422	12	164	246	240
Cranendonck	N300_P20	422	13	169	240	239
Cranendonck	N300_P40	422	13	208	201	218
Cranendonck	N300_P-100	312	0	379	-67	
Waiboerhoeve	N180_P00	289	7	151	130	111
Waiboerhoeve	N180_P20	289	6	155	127	113
Waiboerhoeve	N180_P40	289	6	136	146	122
Waiboerhoeve	N300_P00	427	9	201	216	208
Waiboerhoeve	N300_P20	427	10	204	212	211
Waiboerhoeve	N300_P40	427	6	197	223	204
Waiboerhoeve	N300_P-100	293	0	332	-39	
Zegveld	N180_P00	284	14	179	93	108
Zegveld	N180_P20	284	14	175	97	110
Zegveld	N180_P40	284	14	193	80	102
Zegveld	N300_P00	407	14	204	190	225
Zegveld	N300_P20	407	15	209	185	222
Zegveld	N300_P40	407	14	197	198	225
Zegveld	N300_P-100	296	0	359	-63	

Tabel 35 Fosfaataanvoer, -afvoer en -overschot (kg P₂O₅ ha⁻¹) gemiddeld per object (2002 t/m 2004) en 1997-2004

Locatie	Object	P ₂ O ₅ -aanvoer met bemesting	P ₂ O ₅ -afvoer met weiden	P ₂ O ₅ -afvoer met maaien	P ₂ O ₅ -overschot 2002 t/m 2004	P ₂ O ₅ -overschot 1997 t/m 2004
Aver Heino	N180_P00	53	4	43	6	0
Aver Heino	N180_P20	73	5	46	23	18
Aver Heino	N180_P40	93	4	46	44	39
Aver Heino	N300_P00	53	3	52	-2	-2
Aver Heino	N300_P20	73	4	48	21	22
Aver Heino	N300_P40	93	3	48	42	43
Aver Heino	N300_P-100	0	0	50	-50	
Cranendonck	N180_P00	49	9	34	6	4
Cranendonck	N180_P20	71	9	40	22	22
Cranendonck	N180_P40	93	9	48	36	38
Cranendonck	N300_P00	49	8	42	1	6
Cranendonck	N300_P20	71	9	47	17	24
Cranendonck	N300_P40	93	9	55	31	41
Cranendonck	N300_P-100	0	0	83	-83	
Waiboerhoeve	N180_P00	86	5	56	26	-10
Waiboerhoeve	N180_P20	101	4	58	39	13
Waiboerhoeve	N180_P40	117	4	50	63	37
Waiboerhoeve	N300_P00	86	6	64	16	-12
Waiboerhoeve	N300_P20	101	6	65	30	12
Waiboerhoeve	N300_P40	107	4	66	47	29
Waiboerhoeve	N300_P-100	0	0	102	-102	
Zegveld	N180_P00	66	9	48	9	-4
Zegveld	N180_P20	86	10	50	27	15
Zegveld	N180_P40	107	9	58	40	32
Zegveld	N300_P00	66	10	51	6	-2
Zegveld	N300_P20	86	10	59	18	15
Zegveld	N300_P40	107	9	55	42	35
Zegveld	N300_P-100	0	0	71	-71	

Bijlage 4 Rapporten, publicaties en presentaties

Rapporten

- R. Schils, J. van Middelkoop, H. Everts, T. Kraak, K. Sikkema, 1998. Verliesnormen voor fosfaat onder praktijkomstandigheden. Gevolgen voor bedrijfsvoering en milieu. Voortgangsrapport 1997. Intern rapport 354. Praktijkonderzoek Rundveehouderij (PR)
- T. van de Gun, R. Schils, J. van Middelkoop, 1999. Verliesnormen voor fosfaat onder praktijkomstandigheden. Gevolgen voor bedrijfsvoering en milieu. Voortgangsrapport 1998. Intern rapport 379. Praktijkonderzoek Rundveehouderij (PR)
- B. Bassa, R. Schils, J. van Middelkoop, 2000. Verliesnormen voor fosfaat onder praktijkomstandigheden. Gevolgen voor bedrijfsvoering en milieu. Voortgangsrapport 1999. Intern rapport 423. Praktijkonderzoek Rundveehouderij (PR)
- C. van der Salm and O.F. Schoumans, 2000. Phosphate losses on four grassland plots used for dairy farming. Measured phosphate losses and calibration of the model ANIMO. Report 083, Alterra, Wageningen, The Netherlands.
- J.C. van Middelkoop, C. van der Salm, D.J. den Boer, M. Ter Horst, W.J. Chardon, R.F. Bakker, R.L.M. Schils, P.A.I. Ehlert, O.F. Schoumans, 2004. Effecten van fosfaat- en stikstofoverschotten op grasland. Animal Sciences Group, WUR, Lelystad. Praktijkrapport 48, 79 pp.

Artikelen vakbladen

- R.L.M. Schils en J.C. van Middelkoop, 2000. Fosfaatevenwichtsbemesting op grasland: Na twee jaar nog geen effect op opbrengst. Praktijkonderzoek jrg 13 nr 1, blz 8-9. Praktijkonderzoek Rundveehouderij (PR) Lelystad.
- R.L.M. Schils en J.C. van Middelkoop, 2001. Fosfaat op grasland. Effect van verlaagde bemesting pas na jaren zichtbaar. Veeteelt, september 2001, blz 67.
- J.C. van Middelkoop, R.L.M. Schils, D.J. den Boer, 2001. Effecten laag fosfaatoverschot op grasland pas op lange termijn zichtbaar. Praktijkonderzoek jrg 14 nr 5, blz 28-29. Praktijkonderzoek Veehouderij (PV) Lelystad.
- Evenwichtsbemesting van fosfaat: wel of geen probleem. Melk en Mineralen, Nieuwsbrief van Overlegplatform Duinboeren nr 2, januari 2006, blz 2.

Info bladen

- Infoblad 398.24 Fosfaatverliezen op grasland percelen. C. van der Salm, J.C. van Middelkoop. Juni 2003.
- Infoblad 398.104 Evenwichtsbemesting met fosfaat op grasland. J.C. van Middelkoop, C. van der Salm, P.A.I. Ehlert. December 2005.

Wetenschappelijke publicatie

- W.J. Chardon, W.J., G.H. Aalderink, C. van der Salm, 2007. Phosphorus Leaching from Cow Manure Patches on Soil Columns. Journal of Environmental Quality, 36:17-22.

Proceedings congressen

- J.C. van Middelkoop, R.L.M. Schils en D.J. den Boer. Effect of N surplus reduction on grassland production in a five-year field experiment. In: A. Kirilov, N. Todorov & I. Katerov (eds.). Optimal Forage Systems for Animal Production and the Environment. Proceedings of the 12th Symposium of the European Grassland Federation, Grassland Science in Europe, Volume 8, Pleven, Bulgaria, 26-28 May 2003. 174-177.
- C. van der Salm, J.C. van Middelkoop and P.A.I. Ehlert, 2005. The effect of a reduction in phosphate application on soil phosphate pools. In: S.C. Jarvis, P.J. Murray and J.A. Roker, 2005, Optimisation of nutrient cycling and soil quality for sustainable grasslands. Proceedings of a satellite workshop of the 20th International Grassland Congress, July 2005, Oxford, England.

Mondelinge presentaties

- J.C. van Middelkoop, C. van der Salm, P.A.I. Ehlert, P.H.M. Dekker. Evenwichtsbemesting fosfaat: gevolgen voor bodemvruchtbaarheid en gewasopbrengsten in open teelten en op grasland. Lezing bij minisymposium 'Meer met minder mineralen' (op demodagen 'Mest en Energie', Lelystad 25 augustus 2005).
- C. van der Salm, J.C. van Middelkoop and P.A.I. Ehlert, 2005. The effect of a reduction in phosphate application on soil phosphate pools. Presentation at the satellite workshop of the 20th International Grassland Congress, July 2005, Oxford England.

- J.C. van Middelkoop. Evaluatie fosfaatbemestings-advies en voorstel voor criteria aanpassing fosfaatadvies op grasland. Presentatie voor Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen, 2005.
- J.C. van Middelkoop. Excursie van Overlegplatform Duinboeren naar proefveld op locatie Aver Heino. 26 augustus 2005.

Rapporten waarin data uit het project zijn gebruikt

- J.J. Schröder & W.J. Corré (eds.), 2000. Actualisering Stikstof en Fosfaat-desk-studies. PRI rapport 22.
- Sival, F.P. & W.J. Chardon, 2004. Natuurontwikkeling op fosfaatverzadigde gronden: fosfaatonttrekking door een gewas. Alterra rapport 1090, 50 pp.
- P.A.I. Ehlert, J.C. van Middelkoop en P.H.M. Dekker, 2006. Actualisatie van fosfaatgehalten en fosfaatafvoer van landbouwgewassen: een verkenning op basis van onderzoeksgegevens. Alterra rapport 1348, 92 pp.

Literatuur

- Barrow, N.J., 1983. On the reversibility of phosphate sorption by soils. *J. Soil Sci.* 34: 751-758.
- Boons-Prins, E.R., J.C. van Middelkoop, D.J. den Boer, T.A. van Dijk, 2003. Suboptimale N- en P-bemesting van grasland, Bosma Zathe 1997. Nutriënten Management Instituut, verslag 306.97, 64 pp.
- Chardon, W.J., G.H. Aalderink, C. van der Salm, 2007. Phosphorus Leaching from Cow Manure Patches on Soil Columns. *Journal of Environmental Quality*, 36:17-22.
- Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen, 2002. Adviesbasis bemesting grasland en voedergewassen. Praktijkboek 22, Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad.
- Corré, W.J., J. Verloop, G.J. Hilhorst, J. Oenema, 2004. Bodemvruchtbaarheid op De Marke; Ontwikkelingen bij aangepast mineralenbeheer en gevolgen voor productiviteit. Project de Marke, Rapport 49, Plant Research International, Wageningen.
- CVB, 2003. Handleiding Voederwaardeberekening Ruwvoerders. Herziene uitgave november 2003. Centraal Veevoederbureau, Lelystad.
- CVB, 2005. Tabellenboek Veevoeding 2005/2006. CVB-reeks nr 27, Centraal Veevoederbureau, Lelystad.
- Dam, J.C. van, J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. van Walsum, P. Groenendijk and C.A. van Diepen, 1997. Theory of SWAP 2.0 Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment. Technical Document 45, DLO Winand Staring Centre, Wageningen, the Netherlands.
- Genstat 5 Committee, 1993. Genstat 5 Release 3 Reference Manual. Statistics Department, Rothamsted Experimental Station.
- Groenendijk, P., and J.G. Kroes, 1997. Modelling the nitrogen and phosphorus leaching to groundwater and surface water. Animo 3.5. Report 144. DLO Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research, Wageningen, The Netherlands.
- Groot, W.J.M. de en Hack ten Broeke, M.J.D., 1999. Toetsing van de beregeningsplanner met het hydrologische model SWAP 2.0: onderzoeksresultaten 1997. Rapport DLO Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied. 661, 80pp.
- Groot, W.J.M. de, P.A. Finke, J. Oude Voshaar, M.J.D. Hack ten Broeke, F. de Vries en Y. van Randen, 1998. Bodemschematisatie: opschaling door aggregatie van bodeminformatie voor modelsimulatie op nationale en regionale schaal. Rapport DLO Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied. 651, 62 pp.
- Holshof, G., 2006. Ontwikkeling PAL-getal op het Lagekostenbedrijf (1997-2005). Praktijkrapport Rundvee 92. Animal Sciences Group, WUR, Lelystad.
- Hoving, I.E. en R.L.M. Schils, 2000. Effect van stikstof en fosfaatbemesting op grasproductie en fosfaattoestand op rivierklei. Intern rapport 401 en 425. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad
- Kroes, J.G., W.J.M. Groot, J. Pankow and A. van den Toorn, 1996. Kwantificering van de nitraatuitspoeling bij landbouwgronden. Report 440, DLO Winand Staring Centre, Wageningen, the Netherlands.
- Makkink, G.F., 1957. Testing the Penman formula by means of lysimeters. *J. Inst. Water Eng.* 11: 277-288.
- Middelkoop, J.C. van, D.J. den Boer, E.R. Boons-Prins, T.A. van Dijk, 2003a. Suboptimale N- en P-bemesting van grasland, Bosma Zathe 1995. Nutriënten Management Instituut, verslag 306.95, 47 pp.
- Middelkoop, J.C. van, D.J. den Boer, E.R. Boons-Prins, T.A. van Dijk, 2003b. Suboptimale N- en P-bemesting van grasland, Bosma Zathe 1996. Nutriënten Management Instituut, verslag 306.96, 55 pp.

Middelkoop, J.C. van, C. van der Salm, D.J. den Boer, M. Ter Horst, W.J. Chardon, R.F. Bakker, R.L.M. Schils, P.A.I. Ehlert, O.F. Schoumans, 2004. Effecten van fosfaat- en stikstofoverschotten op grasland. Animal Sciences Group, WUR, Lelystad. Praktijkrapport 48, 79 pp.

Oenema, O en T.A. van Dijk, 1994. Fosfaatverliezen en fosfaatoverschotten in de Nederlandse landbouw. Project Verliesnormen, Deelrapport I. Min. LNV, Vrom, V&W, Landbouwschap, Centrale Landbouworganisaties, 102 p.

Salm, C. van der and O.F. Schoumans, 2000. Phosphate losses on four grassland plots used for dairy farming. Measured phosphate losses and calibration of the model ANIMO. Report 083, Alterra, Wageningen, The Netherlands.

Salm, C. van der, W. Chardon, G. Koopmans en P.A.I. Ehlert, 2007. Het effect van uitmijnen op de fosfaattoestand. Een analyse op basis van gegevens van proefvelden en een laboratorium experiment. Alterra rapport in voorbereiding. Wageningen.

Schils, R.L.M., and P.J.M. Snijders, 2004. The combined effect of fertilizer nitrogen and phosphorus on herbage yield and changes in soil nutrients of a grass/clover and grass-only sward. Nutrient Cycling in Agroecosystems 68 68: 165-179.

Schoumans, O.F., 1997. Relation between phosphate accumulation, soil P levels and P leaching in agricultural land. Report 146, DLO Winand Staring Centre, Wageningen, the Netherlands.

Schoumans, O.F. and A. Breeuwsma, 1995. The relation between accumulation and leaching of P: Laboratory, field and modelling results. In: H. Tunney et al. (Ed.). Phosphorus loss to water from agriculture. p 361-363. CAB international, New York.

Schoumans, O.F. and P. Groenendijk, 2000. Modeling soil phosphorus levels and phosphorus leaching from agricultural land in the Netherlands. J. Environ. Qual. 29:

Schoumans, O.F., P.A.I. Ehlert, W.J. Chardon, 2004. Evaluatie van methoden voor het karakteriseren van gronden die in aanmerking komen voor reparatiebemesting. Alterra rapport 730.3, 80 pp.

Schröder, J.J. & W.J. Corré (eds.), 2000. Actualisering Stikstof en Fosfaat-desk-studies. PRI rapport 22.

Schwertmann, U., 1964. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. Z. Pflanzenernaehr. Dueng. Bodenkd. 105: 194-202.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman and J. Stolte, 1994. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 1994. DLO-Staring Centrum, Wageningen, the Netherlands, Technical document 18. 66 pp