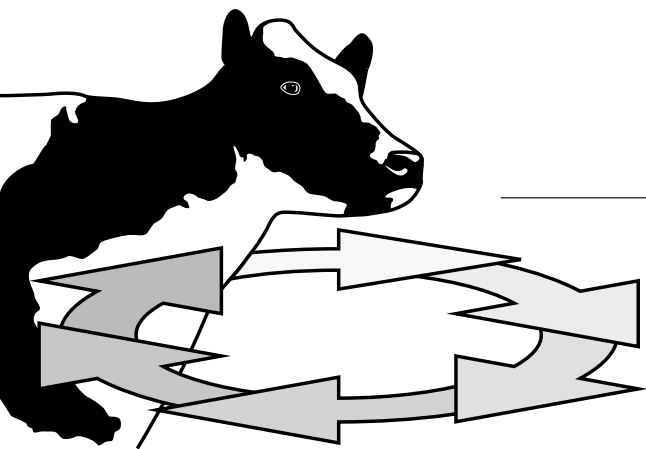


project De Marke

Bodemvruchtbaarheid op De Marke; Ontwikkelingen bij aangepast mineralenbeheer en gevolgen voor productiviteit

Rapport 49





project De Marke

Bodemvruchtbaarheid op De Marke; Ontwikkelingen bij aangepast mineralenbeheer en gevolgen voor productiviteit

W.J. Corré
J. Verloop
G.J. Hilhorst
J. Oenema

Rapport 49

Oktober 2004



ANIMAL SCIENCES GROUP
WAGENINGEN **UR**



© 2004 Wageningen, Plant Research International B.V.

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

Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : post.plant@wur.nl
Internet : <http://www.plant.wur.nl>

Inhoudsopgave

	Pagina
Voorwoord	1
1. Samenvatting	3
2. Summary	5
3. Inleiding	7
3.1 Bodemvruchtbaarheid en duurzame productie op De Marke	7
3.2 Bemestingsstrategie en bodemgebruik	8
3.3 Verwachtingen en onderzoeksvragen	9
4. Bodembeheer op De Marke	11
4.1 Strategie	11
4.2 Vruchtwisseling	11
4.3 Het maïsaandeel	12
4.4 Oogstverliezen	12
4.5 Fosfaat en Stikstof	12
5. Materialen en methoden	13
5.1 Bemonstering	13
5.2 Bepalingsmethoden	13
5.3 Analyse van resultaten	14
5.4 Analyse van een tijdreeks	15
6. Resultaten	17
6.1 Fosfaat	17
6.1.1 Beschikbaar fosfaat (Pw en Pal)	17
6.1.2 Analyse van een jaarreeks	20
6.1.3 Totaal fosfaat (Ptotaal)	21
6.2 Organische stof en totaal-stikstof	22
6.2.1 Organische stof	22
6.2.2 Ntotaal	23
6.2.3 Analyse van een jaarreeks	25
6.3 Overige bodemvruchtbaarheidsindicatoren	26
6.3.1 pH-KCl	27
6.3.2 Kalium	27
6.3.3 Magnesium	28
6.4 Overzicht statistische analyse	29
6.5 Verwachte ontwikkelingen op langere termijn	30
7. Discussie	31
7.1 Fosfaat	31
7.2 Organische stof en totaal-stikstof	31
7.3 Overige bodemvruchtbaarheidsindicatoren	32
7.4 Statistiek	32

	Pagina	
7.5	Herhaalde analyse	32
7.6	Kwaliteit van data	32
7.7	Monsterdiepte	33
8.	Bodemgebruik en organische stofdynamiek	35
8.1	Inleiding	35
8.2	Hypothese	35
8.3	Werkwijze	36
8.4	Resultaten	36
8.5	Discussie	37
8.6	Conclusies	38
9.	Relaties tussen bodemvruchtbaarheid en productiefuncties	39
9.1	Inleiding	39
9.2	Werkwijze bij de analyse	39
9.3	Resultaten	39
9.3.1	Maïs	39
9.3.2	Grasland	42
9.3.3	Nitraatuitspoeling	42
9.4	Controle op verstrengelingen	42
9.5	Discussie	43
9.5.1	Het effect van organische stof op de opbrengst van maïs	43
9.5.2	De interactie tussen Pw en (de vochtbeschikbaarheid in een) jaar	44
9.5.3	Gras versus maïs	44
9.6	Conclusies	45
10.	Conclusies en aanbevelingen	47
10.1	Trends	47
10.2	De bedrijfsvoering	47
10.3	Betrouwbaarheid en meetstrategie	48
11.	Literatuur	49
Bijlage I.	Tabellen	6 pp.

Voorwoord

Het Proefbedrijf voor Melkveehouderij en Milieu 'De Marke' heeft als doelstelling te produceren bij stringente emissie-normen. Het Proefbedrijf is een onderdeel van Project De Marke. Het doel van dit project is te laten zien dat de milieunormen voor stikstof en fosfaat zelfs onder moeilijke landbouwkundige omstandigheden (droge, uitspoelings-gevoelige zandgrond) kunnen worden gehaald bij een gangbaar productieniveau. Om dat waar te maken is een integrale benadering van nutriëntenbeheer toegepast. Deze benadering heeft geleid tot de specifieke opzet van het bedrijfssysteem De Marke. Het systeem wordt gekenmerkt door onder andere een bemestingsniveau onder het niveau dat gangbaar is in de landbouw. Een ander kenmerk is de relatief intensieve bewerking van de bodem.

Beide aspecten, de krappe bemesting en het intensieve beheer, hebben tot nogal wat discussie geleid. Er werd betwijfeld of de bodemvruchtbaarheid (en dan met name de fosfaatbeschikbaarheid) zich op een voldoende peil zou kunnen handhaven. Bovendien werd gesuggereerd dat de intensieve bodembewerking de organische stofdynamiek in de bodem nadelig zou beïnvloeden zodat het gehalte zou afnemen tot een ongewenst laag niveau.

Dit rapport bevat een analyse van de ontwikkeling van de bodemvruchtbaarheid op grond van meetgegevens. In de periode van 1989 tot 2003 zijn een groot aantal bodemmonsters verzameld en geanalyseerd. Hierbij is een voldoende lange tijdreeks ontstaan om een goed oordeel over het verloop van de bodemvruchtbaarheid te kunnen geven.

De evaluatie van de ontwikkeling van de bodemvruchtbaarheid die in dit rapport is weergegeven maakt deel uit van de cyclus van systeemontwikkeling die De Marke hanteert. Deze cyclus bestaat uit het ontwerp van een optimaal bedrijfssysteem op grond van inzicht in nutriëntenstromen, implementatie in de praktijk, monitoring en evaluatie van het systeem en zonodig aanpassing. We menen dat dit rapport ook de waarde van het doorlopen van deze cyclus aangeeft omdat consentieuze monitoring en analyse garandeert dat 'het veld' antwoord geeft op de vragen en veronderstellingen die bestaan met betrekking tot de gevolgen van bedrijfsvoering. Deze methode van systeemontwikkeling is breed toepasbaar en kan in verschillende omstandigheden bijdragen aan het vinden van optimale bedrijfsconfiguraties.

Partiële analyses van de resultaten zijn eerder gebruikt in verschillende publicaties (Aarts *et al.*, 2000a,b; Habekotté *et al.*, 1998).

1. Samenvatting

Dit rapport doet verslag van een onderzoek naar de ontwikkeling van de bodemvruchtbaarheid op De Marke, een melkveehouderijsysteem dat ingericht is op een efficiënt nutriëntenbeheer teneinde een duurzame productie te realiseren.

Centrale vraag was of bij een sterk verminderde aanvoer van nutriënten de bodemvruchtbaarheid op een voldoende hoog niveau gehandhaafd kan blijven om ook op lange termijn het gewenste productieniveau te kunnen handhaven. Deze vraag is opgesplitst in een aantal vragen:

1. hoe is het verloop van de verschillende indicatoren van de bodemvruchtbaarheid geweest in de afgelopen jaren?
2. was dit verloop afhankelijk van de uitgangstoestand?
3. was dit verloop verschillend voor de gebruiksvormen blijvend grasland, huiskavel en veldkavel?
4. is er voor de verschillende indicatoren een evenwicht bereikt of is een verder gaande daling of stijging te verwachten en op welk niveau ligt dit evenwicht of is te voorzien op welk niveau dit in de toekomst zal liggen?
5. is er aanleiding op basis van waargenomen trends het ontwerp van het systeem te wijzigen?

Om deze vragen te kunnen beantwoorden zijn in de afgelopen jaren een groot aantal bodemmonsters geanalyseerd op de indicatoren P (Pw, Pal en Ptotaal), organische stof, N (Ntotaal), K (K-HCl), Mg en pH (pH-KCl). De bemonstering is uitgevoerd in het najaar of de winter van 1989, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001 en 2002. Ter controle van onverwachte schommelingen in de resultaten zijn in 2003 de nog beschikbare monsters opnieuw geanalyseerd. Het gaat om de monsters van de jaren 1995 tot en met 1999.

Tijdens de dertien jaar durende waarnemingsperiode is de gemiddelde fosfaattoestand van de bodem duidelijk lager geworden. In de eerste jaren vond daling plaats op alle percelen, later alleen nog op de rijkere percelen met fosfaat-toestand 'hoog' tot 'zeer hoog'. Op de percelen met fosfaattoestand 'voldoende' en 'goed' vond toen geen verdere daling meer plaats.

Het gehalte aan organische stof is in de eerste jaren iets afgenomen en vervolgens gestabiliseerd. Gekoppeld aan het gehalte aan organische stof, is het gehalte aan Ntotaal waarschijnlijk ook iets afgenomen, maar deze conclusie kan door grote schommelingen in de resultaten niet cijfermatig onderbouwd worden. Eerder werd op grond van de bemonstering tot 1998 verondersteld dat er in die periode $40 \text{ kg ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ N in de bouwvoor geaccumuleerd was. Gezien de resultaten is accumulatie van stikstof op De Marke echter zeer onwaarschijnlijk.

Het gehalte aan kalium is iets afgenomen, het gehalte aan magnesium is toegenomen (tussen 1989 en 1994, later is dit niet meer bepaald) en de pH is onveranderd gebleven.

Heranalyse gaf aan dat de in de periode 1995/1999 gevonden schommelingen in de gemiddelde waarden van Pw, Pal, percentage organische stof en Ntotaal niet reproduceerbaar waren. Dit geeft aan dat de kwaliteit van de laboratoriumanalyses niet voldoende was om het verloop van de bodemvruchtbaarheidsindicatoren van jaar tot jaar te volgen. Wel was het mogelijk trends over een aantal jaren waar te nemen, alleen voor Ntotaal waren de resultaten zo onnauwkeurig dat het waarnemen van voor de systeemontwikkeling relevante verschuivingen problematisch is. Bij voortzetting van het onderzoek is het van belang grondig na te gaan hoe de betrouwbaarheid van de analyses vergroot kan worden.

De ontwikkeling van de bodemvruchtbaarheidstoestand was duidelijk afhankelijk van de uitgangstoestand; bij alle indicatoren, behalve de pH, vond nivellering binnen het bedrijf plaats.

Tussen de drie verschillende grondgebruiksvormen - blijvend grasland, huiskavel, veldkavel - werden slechts kleine verschillen in de ontwikkeling van de bodemvruchtbaarheid waargenomen.

Voortzetting van het huidige bemestingsbeleid zal uiteindelijk leiden tot (nieuwe) evenwichtswaarden voor alle indicatoren. K-HCl en pH zijn al in evenwicht, voor MgO mag nog een stijging verwacht worden en voor organische stof en Ntotaal zijn geen belangrijke veranderingen te verwachten. De gemiddelde fosfaattoestand (Pw, Pal en Ptotaal) zal nog dalen. Een evenwichtswaarde lijkt te verwachten op een vermoedelijk net voldoende niveau. Door de zeer langzame daling in de afgelopen jaren is duidelijkheid hierover echter pas op een langere termijn van minimaal enkele tientallen jaren te verwachten.

Het op efficiënt nutriëntengebruik gericht beheer in het bedrijfssysteem De Marke functioneert zonder het productievermogen van de bodem te verminderen. De waarde van een aantal indicatoren voor bodemvruchtbaarheid is wel beïnvloed, maar niet zodanig dat de productiviteit is afgenomen. Evenwichtsbemesting voor fosfaat is dus voor langere tijd een verantwoorde strategie met het oog op behoud van productievermogen op De Marke.

Op grond van de waargenomen N-gehalten en de ontwikkeling van het organische stofgehalte lijkt er een nulaccumulatie of een zeer geringe afname van Ntotaal plaats te hebben gevonden in de gehele periode. Dat houdt in dat het aanzienlijk lagere N-overschot geheel is opgevangen door een lager verlies door uitspoeling en denitrificatie en niet heeft geleid tot uitputting van de bodem.

Er zijn duidelijke aanwijzingen dat de vruchtwisseling een belangrijke rol speelt bij het instandhouden van het organische stofgehalte op niveaus van 3 tot 5% voor alle percelen. De samenhang tussen het organische stofgehalte in de bodem en de opbrengsten van maïs geeft aan dat de stabilisatie van het organische stofgehalte op deze niveaus van groot belang is. Dit betekent dat het aan te bevelen is de vruchtwisseling in het systeem De Marke voort te zetten.

De opbrengst van maïs is positief gecorreleerd met de fosfaatbeschikbaarheid bij een hoge vochtbeschikbaarheid; bij lage vochtbeschikbaarheid is er geen samenhang gevonden tussen de opbrengst en de Pw.

2. Summary

This report shows the results of an investigation into the development of the soil fertility at 'De Marke', a dairy farming system tailored to efficient nutrient management in order to realise a sustainable production.

The main question of the investigation was: is it possible to maintain soil fertility on a level, sufficient to ensure the long term maintenance of a good production level in this system with an appreciably decreased addition of nutrient. This main question is split into a number of questions.

1. what was the development of different indicators of soil fertility over the past 13 years?
2. was this development depending on the original value of the indicators?
3. was this development different for permanent grassland and for two types of grass/maize rotations?
4. have different indicators reached equilibrium or can further increase or decrease be expected and what is the level of the equilibrium or can the level of a future equilibrium be indicated?
5. does the development of the indicators of soil fertility induce changes in the farming system?

To answer these questions during a range of years a large number of soil samples were analysed on the soil fertility indicators P (Pw; indication of phosphorus soluble in water, Pal; indication of phosphorus soluble in mild acid, and Ptotal), organic matter, N (Ntotal), K (K-HCl), Mg and pH (pH-KCl). Soil sampling was performed in the autumn or winter of 1989, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001 and 2002. To verify the unexpected large variation in the results, in 2003 the samples still available were analysed once again. This concerns the samples of the years 1995 to 1999.

During the thirteen years of investigation, the average phosphorus status of the soil has clearly decreased. In the first years it decreased in all fields, later it only decreased in the richer fields with a phosphate status indication 'high' or 'very high'. In the fields with indication 'sufficient' or 'good' no further decrease was found.

The organic matter content decreased slightly in the first years of the monitoring period and stabilised later. Following the organic matter content, the content of 'Ntotal' most probably decreased slightly too, but due to the large variation in the results this conclusion can not be founded mathematically. On the basis of the results of 1989 to 1998 it was concluded earlier that probably 40 kg ha⁻¹yr⁻¹ accumulated in the soil. However, evaluation of the results makes accumulation of nitrogen at De Marke very improbable.

The content of potassium has slightly decreased, the content of magnesium has increased (between 1989 and 1994, later it was not longer measured) and the pH remained unchanged.

Repeated analysis indicated the variation in the average values of Pw, Pal, organic matter content and Ntotal, found in the years 1995 to 1999 was not reproducible. This indicates that the quality of the laboratory analysis was not sufficient to follow year to year changes in soil fertility indicators. However, it was possible to describe trends over a longer period. Only for Ntotal the results were even to variable make detection of relevant changes possible. For continuation of the investigation a thorough analysis of possibilities to improve the quality of the data is needed.

The development of the indicators of soil fertility did clearly depend on its original value; for all indicators, except for pH, levelling between fields was found.

Differences in development of the indicators of soil fertility between permanent grassland and grass/maize rotations were very small.

Continuation of the current fertilisation strategy will eventually lead to (new) equilibriums for all soil fertility indicators. K-HCl and pH all already in equilibrium, MgO can be expected to increase a little further and for organic matter and Ntotal no appreciable changes are to be expected. The average phosphate status will decrease further.

A new equilibrium seems to be expected at a just sufficient level. Due to the very slow decrease over the last years, it will last at least several decades before the expected level of new equilibrium values can become clear.

The management pointed to efficient nutrient use of the farming system of De Marke functions without decreasing the production capacity of the soil. The value of several indicators of soil fertility has changed, but not to an extent that could decrease the productivity. Hence, equilibrium fertilisation for phosphate is a realistic strategy for a longer time from the point of sustainable production capacity at De Marke.

Looking at the values of N_{total} found and at the development of the organic matter content no accumulation or a small decrease of N_{total} during the entire investigation period seems to have taken place. This means that the sharp decrease in N-surplus was entirely compensated for by smaller losses through leaching and denitrification, and not by depletion of the soil.

The results indicate clearly the importance of grass/maize rotations in the maintenance of organic matter contents of 3 to 5% for all fields. The relation between organic matter content of the soil and the yield of maize indicates that a stable organic matter content is very important for the maintenance of soil productivity. This means that crop rotation should be continued in the De Marke system.

The yield of maize was positively correlated with the availability of phosphate (P_w) in years with high water availability, but not in years with low water availability.

3. Inleiding

3.1 Bodemvruchtbaarheid en duurzame productie op De Marke

Dit rapport doet verslag van een onderzoek naar de ontwikkeling van de bodemvruchtbaarheid op De Marke, een melkveehouderijsysteem dat ingericht is op een efficiënt nutriëntenbeheer teneinde een duurzame productie te realiseren.

Voor een efficiënt gebruik van nutriënten in de melkveehouderij is het productievermogen van de bodem van groot belang. Bij het productievermogen gaat het om de realiseerbare gewasopbrengst bij een beperkte aanvoer van nutriënten en bij beperkte emissies naar het milieu. Het productievermogen wordt bepaald door bodemeigenschappen en hydrologische omstandigheden. De bodemeigenschappen die van belang zijn voor gewasproductie worden geschaard onder het begrip bodemvruchtbaarheid. Op De Marke wordt de ontwikkeling van een aantal, met name chemische, aspecten van bodemvruchtbaarheid gevolgd. In dit rapport worden de ontwikkelingen gerapporteerd en geanalyseerd. Bovendien wordt ingegaan op de betekenis van de ontwikkelingen voor de gewasproductie.

De doelstelling van De Marke is het ontwikkelen van een duurzaam bedrijfssysteem voor de melkveehouderij op de Nederlandse zandgronden (Biewinga *et al.*, 1991). Een duurzaam bedrijfssysteem wil zeggen dat het bedrijf moet functioneren binnen een breed spectrum van gekwantificeerde randvoorwaarden. De randvoorwaarden met betrekking tot de maximaal acceptabele emissie van N en P naar het milieu hebben een grote invloed op de bedrijfsvoering. Om met name het grondwater niet overmatig te belasten is voor De Marke een bedrijfsvoering ontwikkeld waarbij het mineralenoverschot voor N en P zeer klein gehouden wordt. Tabel 1 geeft een overzicht van de grenswaarden die worden gehanteerd voor de bedrijfsvoering van De Marke. Het overschot van $79 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ op de bodembalans is afgeleid van de norm voor nitraat in grondwater van 50 mg l^{-1} ; het overschot van $< 1 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ is afgeleid van de norm voor P in grondwater van $0,15 \text{ mg P l}^{-1}$.

Naast de beperking van emissies naar het milieu is het in stand houden van een voldoende productiviteit een aspect van duurzaamheid. Het gaat hierbij primair om de productie van melk. De doelstelling ten aanzien van de productie van melk vertaalt zich echter in het streven naar een voldoende hoge gewasproductie. Het bedrijfssysteem van De Marke is namelijk gebaseerd op een zo volledig mogelijke eigen voerverzorging en een volledig gebruik van de geproduceerde mest op het eigen bedrijf. Zo kan enerzijds de aanvoer van mineralen met (kracht)voer klein gehouden worden, maar wordt anderzijds ook geen milieubelasting door afvoer van mest naar elders verplaatst. Voorwaarde voor deze bedrijfsvoering is de productie van voldoende kwalitatief hoogwaardig voer, zodat het handhaven van een goede bodemvruchtbaarheid essentieel is. Het is de vraag of de bodemvruchtbaarheid zich op een zodanig niveau kan handhaven dat de productiviteit op de lange termijn voldoende geborgd is bij het aangepaste beheer op De Marke. Om daarop een antwoord te krijgen is in deze studie een analyse uitgevoerd van het verloop van de bodemvruchtbaarheid.

Tabel 3.1. Grenswaarden voor de bedrijfsvoering op De Marke (in $\text{kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$).

N op de bodembalans	maximaal overschot	79
Ammoniak	maximale emissie	44
NO_x	maximale emissie	3
N op de bedrijfsbalans	maximaal overschot	126
P op de bodembalans	maximaal overschot	<1
P op de bedrijfsbalans	maximaal overschot	<1

3.2 Bemestingsstrategie en bodemgebruik

Het bedrijf kent drie varianten van grondgebruik; blijvend grasland en wisselbouw waarbij perioden van drie jaar grasland afgewisseld worden met perioden van drie jaar ('huiskavel') of van vijf jaar ('veldkavel') voedergewassen.

De bemestingsstrategie van De Marke is in de eerste plaats gericht op het voldoen aan milieunormen, i.e. het voorkomen van te hoge emissies en het voorkomen van ongewenste accumulatie. Binnen deze normen wordt gestreefd naar een kwantitatief en kwalitatief goede gewasopbrengst, teneinde zonder veel aanvoer van (kracht)voer toch een hoog niveau van dierlijke productie te kunnen realiseren.

De bemestingsstrategie vertaalt zich voor stikstof in een zo goed mogelijke benutting van de stikstof in de mest. Tot 2003 werd de stikstof uit mest aangevuld met kunstmest tot een niveau waarbij geen overmatige nitraatuitspoeling plaats vindt. Als een belangrijke oorzaak van nitraatuitspoeling in grasland wordt concentratie van stikstof in urineplekken gezien. Om dit te beperken is gekozen voor een bedrijfssysteem met beperkte beweiding, waardoor een groot deel van de mest in het weideseizoen in de stal wordt opgevangen en de nutriënten hierin beter benut kunnen worden. In verband met de hoge gemiddelde fosfaattoestand op het bedrijf wordt voor fosfaat gestreefd naar een evenwichtsbemesting, aanvoer vindt alleen plaats met voer en er wordt geen kunstmest gebruikt. Wel werd tot 1997 op percelen met een relatief lage fosfaattoestand in de maïs meer mest toegediend dan op de overige percelen (15 ton per ha per jaar bij een Pw lager dan 40). Voor kalium is het uitgangspunt dat de aanvoer met (kracht)voer voldoende is om de afvoer te compenseren en de bodemvoorraad op peil te houden. Deze strategie heeft geleid tot de in Tabel 3.1 samengevatte overschotten aan nutriënten in de bodem. De overschotten van Tabel 3.1 verschillen van de overschotten op bedrijfsniveau; op bedrijfsniveau worden verschillen in voorraad (mest en voer) niet meegerekend, op bodemniveau wel. Met name voor het startjaar van De Marke, 1992/93, maakt dat een groot verschil omdat in dat jaar een flinke voorraad mest en voer is opgebouwd, welke later weer kleiner is geworden. Op bedrijfsniveau waren de overschotten van N en P over de periode 1992/2003 respectievelijk 144 en 1 kg per ha per jaar, waarvan vooral van P een aanzienlijk deel in de voorraden is opgeslagen.

In hoofdstuk 2 wordt uitvoeriger op de bedrijfsvoering ingegaan.

Tabel 3.2. Nutriëntenoverschotten in de bodem op De Marke (in kg ha⁻¹ jr⁻¹).

	N	P
1993/1994	86	4
1994/1995	184	6
1995/1996	126	0
1996/1997	101	1
1997/1998	130	2
1998/1999	143	0
1999/2000	132	4
2000/2001	81	-5
2001/2002	64	-7
2002/2003	85	-3
1993/2003	113	0

3.3 Verwachtingen en onderzoeksvragen

Het nauwgezet volgen van de ontwikkeling van de bodemvruchtbaarheid wordt gerechtvaardigd omdat in de bedrijfsvoering de grenzen zijn verlegd ten opzichte van de gangbare praktijk naar een krappere nutriëntenvoorziening:

- In de landbouwpraktijk wordt er vaak van uitgegaan dat overdosering van fosfaat nodig is om de fosfaatbeschikbaarheid op niveau te houden. De Marke daarentegen voert een strategie van evenwichtsbemesting voor fosfaat.
- De N-aanvoer naar de bodem is de helft lager dan wat gangbaar is in de melkveehouderij door een beperkte aankoop van (kracht)voer en van kunstmest. Dit heeft geen directe gevolgen voor opbrengsten doordat de benuttingsgraad van N sterk verhoogd is. Op lange termijn zou de N-voorraad in de bodem echter kunnen afnemen.
- Op De Marke worden oogstverliezen zoveel mogelijk beperkt door zo min mogelijk biomassa op het land achter te laten. Bovendien is het aandeel gras (waarvan bekend is dat het veel organische stof in de bodem brengt) op De Marke laag. Daardoor is het de vraag of het organische stofgehalte in de bouwvoor op peil blijft.

Met betrekking tot het verloop van de bodemvruchtbaarheid zijn dan ook een aantal vragen geformuleerd.

1. Hoe is het verloop van de verschillende indicatoren van de bodemvruchtbaarheid geweest in de afgelopen jaren?
2. Was dit verloop afhankelijk van de uitgangstoestand?
3. Was dit verloop verschillend voor de gebruiksvormen blijvend grasland, huiskavel en veldkavel?
4. Is er voor de verschillende indicatoren een evenwicht bereikt of is een verder gaande daling of stijging te verwachten en op welk niveau ligt dit evenwicht of is te voorzien op welk niveau dit in de toekomst zal liggen?
5. Is er aanleiding op basis van waargenomen trends het ontwerp van het systeem te wijzingen?

Om deze vragen te kunnen beantwoorden zijn in de afgelopen jaren een groot aantal bodemmonsters geanalyseerd. Voor deze bemonstering zijn de percelen ingedeeld in blokken met een oppervlak van ongeveer 1 hectare. Bemonstering per blok is uitgevoerd in het najaar of de winter van 1989, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001 en 2002 (voor 2003 zijn de gegevens nog niet beschikbaar). Hiernaast zijn iedere winter een wisselend aantal percelen (vanaf 1992) en vaste waarnemingsplekken (vanaf 1991) bemonsterd, de meeste percelen en plekken om de drie jaar. De resultaten van deze bemonsteringen zijn niet in de analyse meegenomen, de resultaten van deze bemonsteringen bevestigen wel het beeld van de in dit rapport beschreven analyse. Ook zijn bemonsteringen uitgevoerd bij de overgang van fase in de percelen met wisselbouw. Er zijn wel verschillen in ontwikkeling van de bodemvruchtbaarheid waargenomen tussen de graslandfase en de bouwlandfase, maar deze verschillen waren klein en niet consistent. Een periode van drie tot vijf jaar lijkt te kort om goed waarneembare veranderingen te geven en ook deze gegevens zijn niet in deze rapportage opgenomen. Wel zijn de veranderingen in het organische stofgehalte bij wisselbouw op blokniveau geanalyseerd. Door de jaarlijkse bemonstering waren voor deze analyse veel meer cijfers beschikbaar.

Uit de bemonsteringen op het niveau van blokken is het verloop van verschillende indicatoren van de bodemvruchtbaarheid in de tijd afgeleid, het gaat hierbij om de indicatoren P (Pw, Pal en Ptotaal), organische stof, N (Ntotaal), K (K-HCl), Mg en pH (pH-KCl).

4. Bodembeheer op De Marke

4.1 Strategie

De Marke is gelegen op een droge zandgrond met een laag organisch stofgehalte en een diepe grondwaterstand. Deze combinatie van omstandigheden is door een laag vochtvasthoudend vermogen en een hoge uitspoelingsgevoeligheid moeilijk te noemen vanuit het oogpunt van landbouwkundige productie en vanuit het oogpunt van duurzaam mineralenbeheer. De Marke streeft ernaar om een op de geplande melkproductie toegesneden gewasopbrengst te realiseren bij een zo laag mogelijk nutriëntenoverschot en een acceptabele nutriëntenemissie. Dit wordt gerealiseerd door nutriënten uit organische mest die op het eigen bedrijf geproduceerd wordt zo goed mogelijk te benutten (verhogen van de benuttingsefficiëntie). Daardoor kan de aanvoer van nutriënten van buiten het bedrijf beperkt worden. De volgende maatregelen dragen hieraan bij:

- Het aanpassen van de dosering van nutriënten aan de opbrengst die te verwachten is onder de droogtegevoelige omstandigheden.
- Het vermijden van aanvoer van nutriënten naar de bodem in situaties waarin verwacht wordt dat veel verloren zal gaan (geen bemesting na eind juli, beperkte beweiding met het oog op excretie van weidemest en -urine).
- Het zo goed mogelijk laten aansluiten van het bouwplan op het optimale rantsoen (een hoog aandeel maïs in het bouwplan). Dit leidt tot een hoge voerefficiëntie.
- Het beperken van oogstverliezen zodat de opbrengst zoveel mogelijk behouden blijft voor het veevoer.

Randvoorwaarde bij deze maatregelen is het behouden van een voldoende niveau van bodemvruchtbaarheid, waardoor de productiviteit en de hoge efficiëntie ook op langere termijn gehandhaafd kunnen blijven.

Voor een uitvoerige beschrijving van de bedrijfsvoering en de achtergronden wordt verwezen naar eerdere publicaties (Aarts, 2000; Biewinga *et al.*, 1992). In het navolgende beperken we ons tot de aspecten van de bedrijfsvoering die nauw gerelateerd zijn aan de ontwikkeling van de bodemvruchtbaarheid.

4.2 Vruchtwisseling

Op een klein deel van het areaal ligt blijvend grasland. Op het overgrote deel (84%) wordt vruchtwisseling met gras, maïs en een graangewas toegepast. Er worden twee rotatieschema's in de praktijk gebracht:

- Op de huiskavel (dicht bij de stallen) wordt drie jaar gras gevolgd door twee jaar maïs en een jaar triticale of een zomergraan (g-g-g-m-m-t...).
- Op de veldkavel (verder verwijderd van de stallen) wordt drie jaar gras gevolgd door vier jaar maïs en een jaar triticale of een zomergraan (g-g-g-m-m-m-m-t...).

Tussen de maïs wordt Italiaans raai gras gezaaid dat na de oogst van maïs in het najaar en de winter als vanggewas voor stikstof fungeert. In het voorjaar wordt het vanggewas omgeploegd zodat de nutriënten weer vrij kunnen komen en door het volgende hoofdgewas kunnen worden benut.

Het vruchtwisselingssysteem is bedoeld om het organische stofgehalte in de bodem op een voldoende niveau te houden. In de landbouwpraktijk wordt veelal continueelt van maïs toegepast. Doordat maïs weinig organische stof in de bodem brengt en doordat de bodembewerking relatief intensief is, bestaat bij continueelt van maïs een grote kans op verlaging van het organische stofgehalte. Een laag organische stofgehalte leidt tot een grotere kans op opbrengstreductie van maïs (Nevens, 2003). De verwachting is dan ook dat de vruchtwisseling voorkomt dat er een dichotomie ontstaat in het bedrijf door aanwezigheid van graspercelen met tamelijk hoge organische stofgehalten en maïspcelen met zeer lage organische stofgehalten.

4.3 Het maïsaandeel

Het aandeel van akkerbouwmatige voedergrassen op De Marke (44%) is hoger dan in de gangbare praktijk (20-30% op zandgrond). Omdat maïs weinig effectieve organische stof in de bodem brengt ($1300 \text{ kg ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$, mond. med. Schröder) zal dit ten koste gaan van het organische stofgehalte in de bodem. Dit wordt voor een deel gecompenseerd door het vanggewas waarmee voorzien wordt in $1100 \text{ kg effectieve organische stof ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$.

4.4 Oogstverliezen

Om de benuttingsefficiëntie van de nutriënten zo hoog mogelijk te maken, worden de oogstverliezen en veld- en beweidingsverliezen beperkt door de aanpassing van oogsttechnieken van gras en maïs en door de aanpak bij beweiding. Op De Marke wordt vee omgeweid op een wijze die duidelijk gericht is op lage oogstverliezen. Een belangrijk aspect hierbij is dat het vee ingeschaard wordt in een lichte snede; hiervan wordt namelijk relatief veel gras benut, zodat de beweidingverliezen laag zijn. Het vee wordt ingeschaard als er naar schatting $1300\text{-}1700 \text{ kg}$ droge stof per ha aan gras staat. Dit is uit het oogpunt van productie suboptimaal, maar leidt wel tot een betere benutting. Verder wordt gestreefd naar een zodanige afwisseling van weiden en maaien dat het bloten tot een minimum beperkt blijft en de weiderest zo vaak mogelijk benut wordt in een volgende maaisnede. Door deze strategie wordt de directe retourstroom van organische stof naar de bodem verkleind.

4.5 Fosfaat en Stikstof

Het N-overschot op de bodembalans was op De Marke in de periode 1993/2003 gelijk aan $113 \text{ kg ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$. Dit is ongeveer 50% lager dan de aanvoer in de gangbare praktijk in 1995 (Hilhorst *et al.*, 2001). Dit betekent niet zonder meer dat de N-voorraad in de bodem zich navenant anders zou ontwikkelen dan in de gangbare praktijk. Op De Marke wordt met name de N-gift in de maïs sterk verlaagd (er wordt bemest uitgaande van een N-behoefte van maïs van $100 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$). Omdat in de praktijk maïs vaak wordt overbemest, zal veel van de toegediende N verloren gaan door uitspoeling en denitrificatie. Ook het vanggewas draagt bij aan het vasthouden van N in de bouwvoor. Door het aangepaste beheer is de N-aanvoer dus weliswaar veel lager dan gangbaar, de verliezen uit het systeem zijn dat ook (Van Keulen & Oenema, 2001). Bij het ontwerp van De Marke is de veronderstelling gedaan dat het gezamenlijke effect van al deze invloeden op de N-stroom leidt tot een evenwichtssituatie van N in de bodem. Dat wil zeggen dat het N-gehalte toeneemt noch afneemt.

Voor fosfaat is het beheer gericht op een overschot van ten hoogste $1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1} \text{ P}$. Er zijn geen veronderstellingen gedaan over het gedrag van de fosfaatbeschikbaarheid bij een bemestingsregiem dat is gericht op evenwicht. In het ontwerp van De Marke is geen rekening gehouden met reacties van gewas op fosfaat. Dit impliceert dat ervan uitgegaan is dat de fosfaatbeschikbaarheid geen beperkende factor wordt voor de eindopbrengst van de gewassen.

In de uitgangssituatie was de fosfaatbeschikbaarheid in het algemeen hoog met uitzondering van enkele percelen. Bij de bemesting is tot 1998 een strategie van nivellering van verschillen in Pw gevolgd. Percelen met een relatief laag Pw-getal ontvingen dus een kleine overdosering die gecompenseerd werd met een dosering gericht op uitmijnen op percelen elders op het bedrijf met een relatief hoog Pw-getal.

5. Materialen en methoden

5.1 Bemonstering

In het najaar van 1989 zijn de eerste monsters genomen. Hiertoe is het hele (toen nog voorlopige) bedrijf ingedeeld in blokken met een oppervlakte van ongeveer 1 hectare. In najaar/winter van 1994 tot en met 2002 is deze bemonstering herhaald, met uitbreiding tot het hele definitieve bedrijf; 62 in plaats van 51 blokken.

Uit deze bemonsteringen kan het verloop van verschillende componenten van de bodemvruchtbaarheid afgeleid worden. Voor de indicatoren P (Pw, Pal en Ptotaal), organische stof, N (Ntotaal), pH (pH-KCl), K (K-HCl) en Mg is het verloop geanalyseerd voor de 51 blokken van het oorspronkelijke bedrijf, gebaseerd op de bemonsteringen van 1989, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001 en 2002.

De bemonsteringen zijn uitgevoerd door personeel van De Marke en de analyses door het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek (BLGG) in Oosterbeek, volgens de door dit laboratorium gebruikte standaardmethoden. Afgeweken is alleen van de standaard bemonsteringsdiepte. Bemonsterd is altijd in najaar of winter, meestal kort voor, maar soms ook kort na de jaarwisseling. Het is dus mogelijk dat monsters met een bepaalde jaaraanduiding niet in het betreffende jaar genomen zijn, maar in het begin van het volgende jaar.

De blokken zijn bemonsterd tot een diepte van 25 cm in 1989 en tot een diepte van 20 cm in de andere jaren. Bepaald zijn steeds Pw, Pal, Ptotaal, organische stof, Ntotaal, pH-KCl en K-HCl. MgO is alleen bepaald in 1989 en in 1994. Standaard wordt grasland slechts over een diepte van 5 cm bemonsterd, maar omdat een groot deel van de grond in wisselbouw gebruikt wordt is gekozen voor een uniforme bemonsteringsdiepte.

Traditioneel wordt in Nederland de Pw waarde (mg P_2O_5 per 100 ml grond, opgelost in water, gemeten over een diepte van 20 cm) gebruikt als indicator voor de fosfaatbeschikbaarheid van bouwland en de Pal waarde (mg P_2O_5 per 100 gram droge grond, opgelost in een ammoniumlactaat oplossing, gemeten over een diepte van 5 cm) gebruikt als indicator voor de fosfaatbeschikbaarheid van grasland. Omdat op De Marke de meeste percelen in rotatie afwisselend als bouwland en grasland in gebruik zijn is gekozen voor het bepalen van beide indicatoren in alle percelen, en beide over een diepte van 20 cm. Voor percelen met een regelmatige grondbewerking is geen effect van de monsterdiepte te verwachten, alleen voor de percelen blijvend grasland is de keuze van deze diepte discutabel. Door het over lange tijd ontbreken van de grondbewerking kan een gelaagdheid ontstaan en zou bepaling over een afwijkende diepte ook tot afwijkende resultaten in vergelijking tot de traditionele bepaling kunnen leiden. Concreet is in blijvend grasland een concentratie van fosfaat in de bovenste centimeters te verwachten en dit betekent dat een bemonsteringsdiepte van 20 cm een lagere waarde zal geven dan een bemonsteringsdiepte van 5 cm. Voor een vergelijking in de tijd bij gelijkblijvende monsterdiepte zal dit geen gevolgen hebben, maar vergeleken met de traditionele diepte geeft een monsternamen over 20 cm dan een onderschatting van de werkelijke beschikbaarheid van fosfaat. Bij een bouwvoordiepte van meer dan 25 cm mag er in principe geen verschil zijn tussen een bemonsteringsdiepte van 20 cm of 25 cm. De resultaten van 1989 zijn wat dat betreft volledig vergelijkbaar met de resultaten van andere jaren.

5.2 Bepalingsmethoden

Bij de bemonstering wordt een mengmonster gemaakt van 40 steken per blok. Dit monster wordt gedroogd, gemalen en gezeefd, waarbij alle delen groter dan 2 mm verwijderd worden. Vervolgens worden alle chemische analyses met dit gezeefde materiaal uitgevoerd.

Pw is een maat voor snel beschikbaar fosfaat en wordt uitgedrukt in mg P_2O_5 per 100 ml droge grond, opgelost in 60 ml water per ml grond.

Pal is eveneens een maat voor beschikbaar fosfaat, waarbij tevens een deel van het niet in water oplosbare fosfaat wordt bepaald. Pal wordt uitgedrukt in mg P_2O_5 per 100 g droge grond, opgelost in 20 ml 0,1n ammoniumlactaat 0,4n azijnzuur oplossing (pH = 3,75) per g grond.

Onder Ptotaal wordt verstaan de totale hoeveelheid in de bodem aanwezige anorganisch en organisch gebonden fosfaat. Ptotaal wordt uitgedrukt in mg P_2O_5 per 100 g droge grond, opgelost in 20 ml 50% zwavelzuur 50% salpeterzuur (v/v) per 2,5 g grond.

Het gehalte aan organische stof wordt in zandgrond bepaald door het meten van het gloeiverlies en wordt uitgedrukt in gewichtsprocenten (g per 100 g droge grond).

Ntotaal wordt bepaald door omzetting van alle aanwezige stikstof in de ammoniumvorm door verhitting met een salicylzuur-zwavelzuur mengsel en wordt uitgedrukt in mg N per 100 g droge grond.

De C/N verhouding is een maat voor de stikstofrijkdom van de organische stof en is berekend uit het gehalte aan organische stof (organische stof bevat gemiddeld 58% C) en Ntotaal.

De pH-KCl is een maat voor de zuurgraad van de grond en wordt bepaald in een extract van 5 ml 1n KCl per g droge grond.

K-HCl is een maat voor de beschikbaarheid van kalium en wordt uitgedrukt in mg K_2O per 100 g droge grond, opgelost in 10 ml 0,1n HCl 0,4n oxaalzuur per g grond.

MgO is een maat voor de beschikbaarheid van magnesium en wordt uitgedrukt in mg MgO per 100 g droge grond, opgelost in 5 ml 0,5n NaCl per g grond.

5.3 Analyse van resultaten

Als basis voor de analyse van het verloop van bodemvruchtbaarheidsindicatoren zijn gebruikt de resultaten van het onderzoek van de 51 blokken (het voorlopige bedrijf) die in de winters van 1989, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001 en 2002 bemonsterd zijn. Tevens is een vergelijking gemaakt tussen de bemonsteringen van 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001 en 2002 op basis van de 62 blokken van het definitieve bedrijf. Deze vergelijking gaf echter voor geen enkele indicator een andere uitkomst dan de vergelijking op basis van de 51 blokken van het voorlopige bedrijf en is niet in de verslaglegging opgenomen.

De minimum, maximum en gemiddelde waarde en de mediaan, standaard afwijking, variatiecoëfficiënt en procentuele veranderingen ten opzichte van 1989 voor de 51 blokken van het oorspronkelijke bedrijf zijn samengevat in de Tabellen 1, 4 en 7 van de bijlage. Het verloop van de gemiddelde waarden in de tijd is tevens weergegeven in figuren. In Tabel 10 van de bijlage zijn de gemiddelde waarden voor alle indicatoren weergegeven met de bijbehorende indicaties van significante verschillen. Omdat het hier gaat om herhaalde waarnemingen aan dezelfde verzameling objecten (de blokken) is er sprake van afhankelijke waarnemingen. Dit betekent dat kleine verschillen ondanks een grote spreiding al significant kunnen zijn (als een indicator voor alle blokken 1% in waarde verandert is er sprake van een significante verschuiving, ongeacht de spreiding). Anderzijds betekent herhaalde waarneming dat de kans op toevallige systematische verschuiving van de gevonden waarden aanwezig is. Dit kan veroorzaakt worden door verschillen in bemonsteringscondities, laboratoriuminstellingen en dergelijke. Hierdoor bestaat de kans dat gevonden verschillen tussen jaren geen weerspiegeling zijn van werkelijke verschillen, maar wel statistisch significant zijn. Tevens is voor alle indicatoren nagegaan of de verandering in de tijd al dan niet significant was. Dit is gedaan door middel van lineaire regressie van de gemiddelde waarden van de indicatoren van alle jaren dat de blokken bemonsterd zijn tegen de tijd. De resultaten van deze analyse zijn weergegeven in Tabel 11 van de bijlage.

Het effect van de uitgangstoestand op de verandering van de indicatoren is nagegaan door een verdeling in blokken met lagere waarden (26) en blokken met hogere waarden (25), voor iedere indicator apart. De gemiddelde waarden voor deze twee groepen zijn weergegeven in de Tabellen 2, 5 en 8 van de bijlage, hierin is tevens steeds de procentuele verandering ten opzichte van de waarde van 1989 weergegeven. De significantie van de veranderingen in de tijd is voor blokken met de lagere en met de hogere waarden apart weergegeven in Tabel 11 van de bijlage, analoog aan de berekeningswijze voor de 51 blokken samen.

De gemiddelde waarden van de indicatoren voor de drie grondgebruiksvormen (blijvend grasland, huiskavel en veldkavel) zijn weergegeven in de Tabellen 3, 6 en 9 van de bijlage, ook weer vergezeld van de procentuele verandering ten opzichte van de waarde in 1989. Deze analyse is gebaseerd op 43 blokken, omdat voor de overige 8 blokken de gebruiksvorm tussen 1989 en 2003 veranderd is.

In figuren is voor alle indicatoren door middel van lineaire regressie de relatie weergegeven tussen de in 1989 gevonden waarden enerzijds (x-as) en de in 1994, 1998 en 2002 gevonden waarden anderzijds (y-as). Het snijpunt van de regressielijnen met de 45 graden lijn geeft aan bij welke waarde gemiddeld geen verandering heeft plaatsgevonden. Dit is tevens de te verwachten gemiddelde waarde bij een evenwicht tussen bodemvruchtbaarheid en bedrijfsvoering. Dit geldt op voorwaarde dat de variatie in de in 1989 gevonden waarde veroorzaakt werd door verschillen in bedrijfsvoering en niet door van nature aanwezige verschillen. De variatie die bij een evenwichtssituatie binnen De Marke dan nog gevonden wordt zal veroorzaakt zijn door verschillen in bedrijfsvoering tussen percelen, zoals blijvend grasland/wisselbouw, of bij voorbeeld door cyclische patronen gedurende de vruchtwisseling. Voor een aantal indicatoren (beschikbaar fosfaat, pH, K-HCl) is deze situatie waarschijnlijk wel van toepassing en is dan ook een afname van de variatie binnen het bedrijf te verwachten. Voor een aantal andere indicatoren (organische stof, Ntotaal) is een grotere natuurlijke variatie te verwachten, bijvoorbeeld op basis van verschil in grondwaterstand, en zal de afname van de variatie naar verwachting minder duidelijk zijn.

Het voorspellen van een evenwichtssituatie op deze manier wordt gecompliceerd door de bemestingsstrategie. Tot 1998 kregen percelen met fosfaattoestand 'voldoende' ($P_w < 40$) 15 ton meer drijfmest per jaar dan vergelijkbare percelen met een hogere fosfaattoestand. Door deze hogere fosfaatgift kan de fosfaattoestand op deze percelen iets hoger zijn dan bij evenwichtsbemesting het geval zou zijn.

5.4 Analyse van een tijdreeks

Verschillen in de analysesresultaten van periodiek bemonsterde bodems kunnen naast werkelijke veranderingen van de bodemvruchtbaarheid ook nog andere oorzaken van variatie hebben. Mogelijk worden ook verschillen geïntroduceerd door verschil in tijdstip van bemonstering (maand van het jaar), verschil in weersomstandigheden in de periode voorafgaand aan de bemonstering, onbedoeld verschil in bemonsteringsdiepte en verschil in laboratoriuminstellingen. Deze laatste mogelijkheid leek waarschijnlijk aan de orde te zijn bij de bepaling van Ntotaal. De resultaten van deze bepaling leverden van jaar tot jaar zeer grote schommelingen op. Dit had tot gevolg dat de C/N verhouding van de organische stof sterk wisselde, terwijl dit op korte termijn een vrijwel constante eigenschap van een bodem is.

Om het effect van eventuele veranderende laboratoriuminstellingen op de resultaten vast te kunnen stellen zijn een aantal monsters in 2003 opnieuw geanalyseerd. Het gaat om de monsters van de jaren 1995 tot en met 1999 van 49 blokken, 40 van de oorspronkelijke blokken en 9 blokken die in 1993 aan het bedrijf toegevoegd zijn.

Naast het gehalte aan organische stof en Ntotaal zijn ook de indicatoren P_w en P_{al} opnieuw bepaald. Doel was hierbij op eenvoudige wijze meer gegevens te krijgen over het verloop van de trend van deze indicatoren, met name de stabilisatie van de P_w waarde op een hoog niveau was niet verwacht bij het lage P overschot van De Marke. De resultaten van deze analyses zijn apart verwerkt en vergeleken met de resultaten van de oorspronkelijke analyses.

6. Resultaten

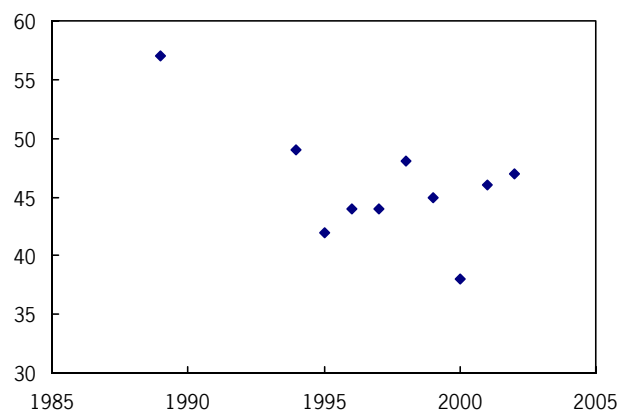
6.1 Fosfaat

De resultaten van de analyses op niveau van blokken zijn weergegeven in Tabel 1 van de bijlage. In Tabel 2 van de bijlage zijn de resultaten onderverdeeld naar blokken met relatief lagere fosfaatgehalten (26 blokken; Pw in 1989 < 42) en blokken met relatief hogere fosfaatgehalten (25 blokken; Pw in 1989 > 42). In Tabel 3 van de bijlage zijn de resultaten onderverdeeld naar de drie vruchtwisselingsvarianten: blijvend grasland, huiskavel en veldkavel.

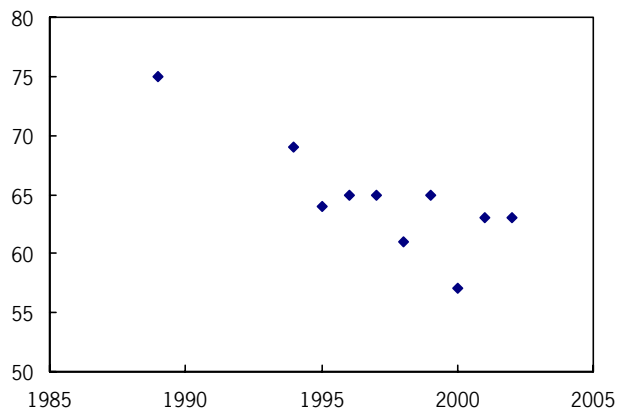
In de Figuren 6.1, 6.2 en 6.9 is het verloop van de gemiddelde waarden van Pw, Pal en Ptotal in de tijd weergegeven. In de Figuren 6.3 en 6.4 is het verloop van de frequentieverdelingen van Pw en Pal over de waarderingssklassen weergegeven. De verbanden tussen de fosfaatgehalten per blok in 1989 enerzijds en 1994, 1998 en 2002 anderzijds zijn weergegeven in Figuur 6.5 (Pw), Figuur 6.6 (Pal) en Figuur 6.10 (Ptotal).

6.1.1 Beschikbaar fosfaat (Pw en Pal)

Door de verschillende voorgeschiedenis van de percelen was de hoeveelheid beschikbaar fosfaat in 1989 sterk verschillend. De fosfaattoestand varieerde van voldoende (6 blokken op basis van Pw, 1 blok op basis van Pal) tot zeer hoog (zie Figuur 6.4 en 6.5). De hoeveelheid beschikbaar fosfaat is tussen 1989 en 2003 sterk afgenomen, Pw gemiddeld met 18% en Pal gemiddeld met 16%. Deze daling was veel sterker, ook procentueel, bij blokken met een hoge aanvangswaarde dan bij blokken met lage aanvangswaarde (Tabel 2 van de bijlage). Dit betekent dat er een nivellering optreedt, wat ook blijkt uit het kleiner worden van de variatiecoëfficiënten (Tabel 1 van de bijlage). Voor Pw heeft de daling geheel plaats gevonden tussen 1989 en 1995, na dat jaar is de Pw waarde niet meer gedaald. Voor Pal heeft ook na 1995 nog enige daling plaats gevonden.

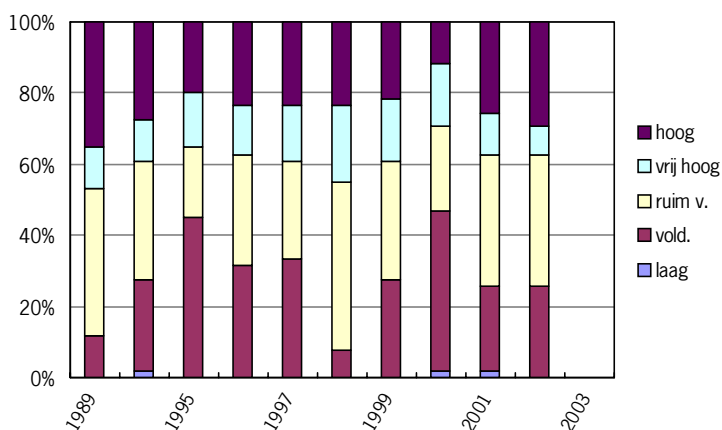


Figuur 6.1. Verloop van de gemiddelde Pw waarde in de periode 1989 tot 2002.

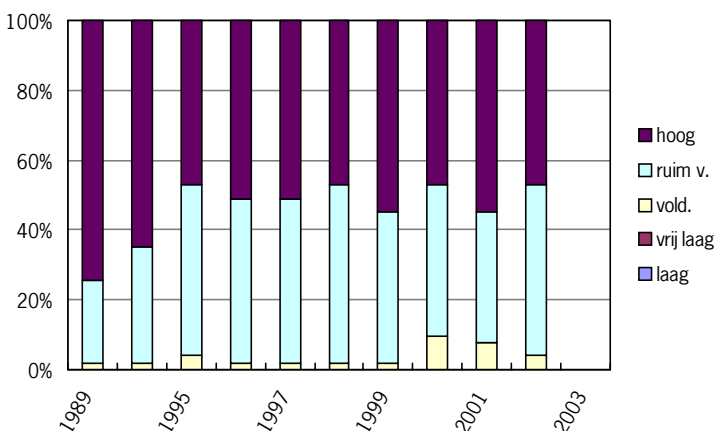


Figuur 6.2. Verloop van de gemiddelde Pal waarde in de periode 1989 tot 2002.

De daling van de fosfaatbeschikbaarheid heeft tot gevolg gehad dat een aantal blokken in een lagere waarderingsklasse is gekomen, zoals blijkt uit de Figuren 6.3 en 6.4. Door de grotere procentuele daling van de Pw waarden is de verschuiving hier groter. De waardering 'voldoende' geldt nu voor 13 blokken voor Pw en nog steeds maar voor 2 blokken voor Pal.

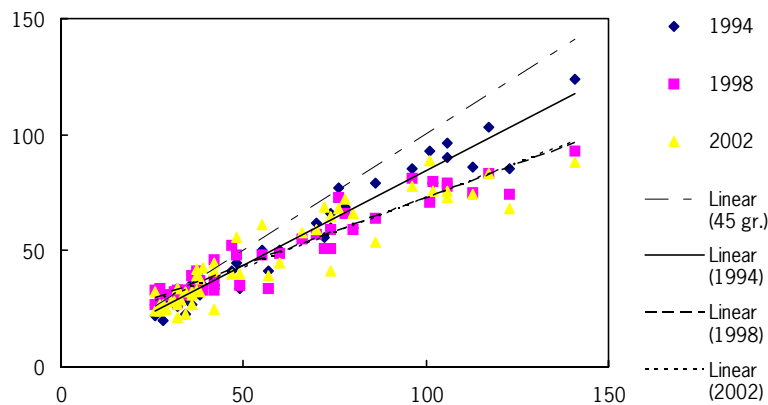


Figuur 6.3. Frequentieverdeling van de waarderingsklassen van Pw in de periode 1989 tot 2002.

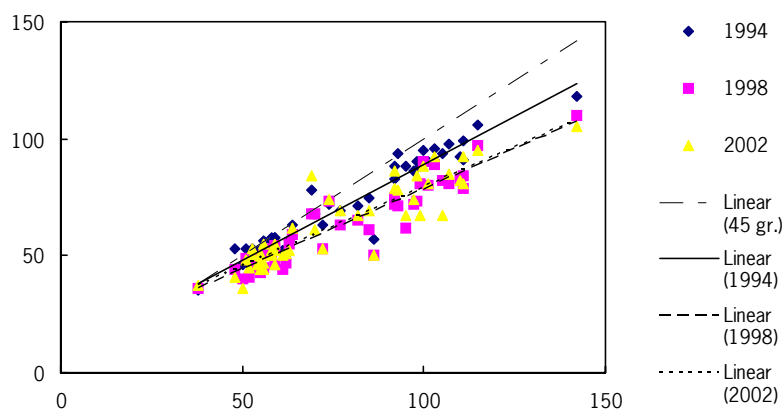


Figuur 6.4. Frequentieverdeling van de waarderingsklassen van Pal in de periode 1989 tot 2002.

In de Figuren 6.5 en 6.6 zijn de verbanden tussen de fosfaatgehalten per blok in 1989 enerzijds en 1994, 1998 en 2003 anderzijds weergegeven. Uit deze figuren blijkt dat de regressielijnen en de 45 graden lijn elkaar snijden dicht bij de laagst gevonden waarden. Deze snijpunten geven een indicatie van op langere termijn te verwachten gemiddelde waarden, waarbij de beschikbaarheid van fosfaat bepaald wordt door de huidige bedrijfsvoering en niet langer door de vroegere bemesting. De snijpunten liggen voor Pw bij een waarde van ongeveer 25 en voor Pal bij een waarde van ongeveer 40. Deze waarden liggen iets boven de gevonden minimum waarden (Tabel 1), deze waarden zijn in ieder geval vanaf 1994 niet meer gedaald. Dit zou betekenen dat verwacht mag worden dat bij de huidige bedrijfsvoering de gemiddelde fosfaatvoorziening nog aanzienlijk zal dalen, maar dat er ook op langere termijn geen sprake lijkt te zijn van een ongewenst lage fosfaatvoorziening. Dit lijkt in tegenspraak met het (vrijwel) ontbreken van een verder gaande daling van de fosfaatvoorziening na 1995. Mogelijk was de snelle daling van de fosfaatvoorziening na 1989 een gevolg van aanpassing van de fosfaattoestand aan de abrupte daling van de daarvoor hoge tot zeer hoge fosfaatbemesting en vindt verdere daling tot een lager evenwichtsniveau veel langzamer plaats. Argument voor deze mogelijkheid is de hoge procentuele daling van hoge waarden tot 1995, waarna de hoogte van de fosfaattoestand geen invloed meer had op het verloop. Het nivellerend effect van de nivellerende bemestingstrategie (meer mest bij lage Pw waarde) lijkt gezien de geringe daling van de hogere Pw waarden afwezig of zeer gering geweest te zijn.



Figuur 6.5. Verband tussen gevonden Pw waarden in het jaar 1989 (x-as) en in de jaren 1994, 1998 en 2002.



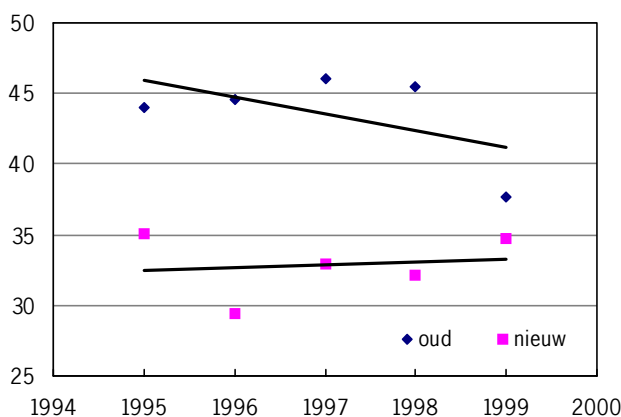
Figuur 6.6. Verband tussen gevonden Pal waarden in het jaar 1989 (x-as) en in de jaren 1994, 1998 en 2002.

Een andere variabele die mogelijk een effect op het verloop van de fosfaatbeschikbaarheid zou kunnen hebben is de grondgebruiksvorm. Uit Tabel 3 van de bijlage blijkt dat de daling van Pw en Pal voor de drie verschillende vruchtwisselingsvarianten vrijwel gelijk was. De Pw waarde daalde zeker niet alle jaren in alle drie gevallen even sterk ten opzichte van 1989, maar de verschillen waren niet systematisch. De Pal waarde daalde systematisch iets minder op

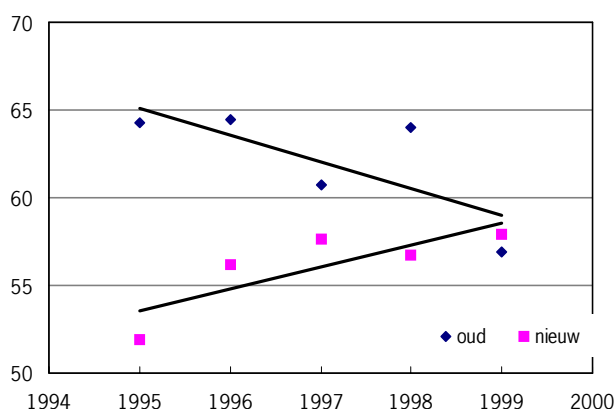
de huiskavel en de veldkavel dan op het blijvend grasland. De gelijke daling van Pw en de sterkere daling van Pal op het blijvend grasland zijn opmerkelijk, omdat de initiële waarde voor beiden duidelijk lager was op het blijvend grasland en op grond daarvan een relatieve minder sterke daling verwacht werd.

6.1.2 Analyse van een jaarreeks

De Figuren 6.7 en 6.8 geven een vergelijking van de gemiddelde waarden van Pw en Pal in de oorspronkelijke jaarlijkse analyses en in de hernieuwde, gelijktijdige analyse in 2003. De waarden die voortkwamen uit de heranalyse lagen gemiddeld lager dan de oorspronkelijke (25% voor Pw en 10% voor Pal). Verder had een verschil in jaargemiddelde in de oorspronkelijke analyse geen enkele voorspellende waarde voor een verschil in jaargemiddelde bij hernieuwde analyse. De gevonden significant verschillende afwisselend hoge en lage waarden voor Pal (zie 6.4) blijken dus niet reproduceerbaar te zijn. Dit betekent dat de nauwkeurigheid van de gevonden gemiddelde waarden gering is en dat dus ook bij de berekende trendmatige mate van daling van de fosfaattoestand vraagtekens gezet moeten worden. Dit geldt te meer omdat de waarde van 1989 door het ontbreken van waarden voor de jaren 1990 tot en met 1993 een onevenredig groot gewicht heeft bij het bepalen van een trendmatige verandering. De fosfaatbeschikbaarheid is een weerspiegeling van chemische evenwichten. Deze zouden verschoven kunnen zijn tijdens opslag van de bodemmonsters. Uit de literatuur zijn echter geen aanwijzingen bekend dat de fosfaatbeschikbaarheid tijdens opslag na verloop van tijd afneemt. Wel zijn er ervaringen bekend waaruit het tegendeel blijkt (Ehlert, 1993).



Figuur 6.7. Gemiddelde waarden van Pw bij oorspronkelijke analyse en bij herhaalde analyse in 2003.



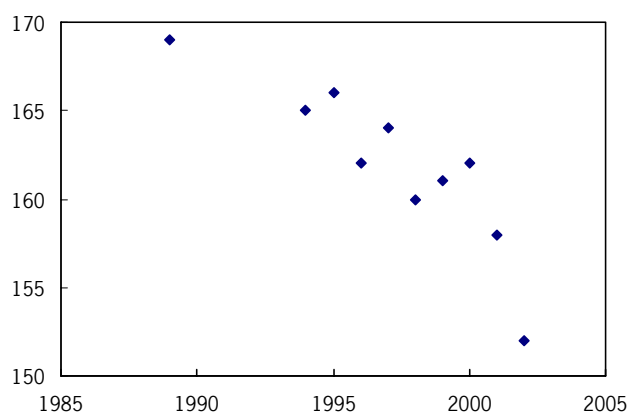
Figuur 6.8. Gemiddelde waarden van Pal bij oorspronkelijke analyse en bij herhaalde analyse in 2003.

6.1.3 Totaal fosfaat (Ptotaal)

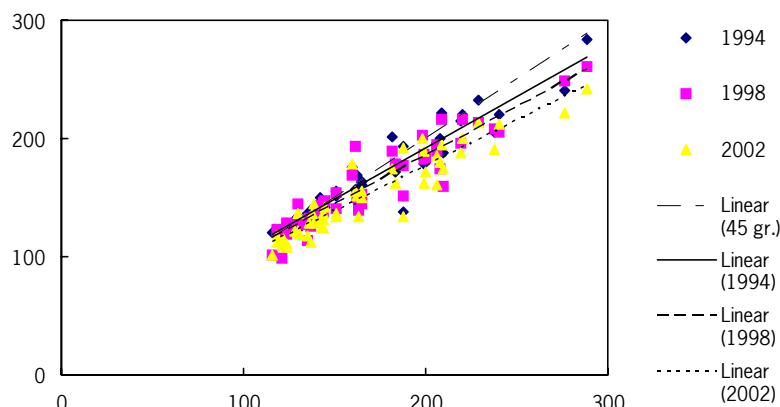
De daling van de totaal aanwezige hoeveelheid fosfaat was relatief gering: ongeveer 6% in twaalf jaar, (zie Figuur 6.9 en Tabel 1 van de bijlage). De waarde voor het jaar 2002 is hierbij niet meegerekend. Deze waarde is opvallend laag en omdat de absolute daling ten opzichte van 2001 even groot is voor de lagere waarden als voor de hogere waarden is het waarschijnlijk dat de lage gemiddelde waarde voor 2002 het gevolg is van een systematische afwijking bij de bepaling en niet van een werkelijke daling. Ook de absolute afname van Ptotaal was relatief klein: met name in de beginjaren was de daling van Ptotaal kleiner dan de daling van Pal (beiden worden uitgedrukt in mg P_2O_5 per 100 gram grond). Dit betekent dat de snelle daling van de hoeveelheid beschikbaar fosfaat in de beginjaren niet alleen door uitputting of verliezen veroorzaakt werd, maar gedeeltelijk door een minder beschikbaar worden van de aanwezige fosfaat. Dit kan veroorzaakt zijn door een omzetting van beschikbaar fosfaat in niet of minder beschikbaar fosfaat, wat niet onwaarschijnlijk is bij een geschiedenis van recente hoge bemestingsniveaus. De doorgaande geleidelijke daling kan worden veroorzaakt door bijmenging van armere ondergrond in de bouwvoor en door uitspoeling uit de bouwvoor. Bijmenging van armere ondergrond komt voor op De Marke, maar waarschijnlijk niet in die mate dat dit een daling in de orde van 6% veroorzaakt kan hebben, hiervoor is gemiddeld meer dan twee centimeter bijmenging nodig. Verliezen naar de bodemlagen onder de bouwvoor zijn dus waarschijnlijk, de hogere procentuele daling bij hogere waarden wijst daar ook op.

Uit Figuur 6.10 is af te leiden dat alle voorkomende waarden in de loop van de tijd gedaald zijn en dat een eventueel evenwicht dicht bij of onder de huidige laagste gevonden waarde zal liggen. Wel vindt enige nivellering plaats, wat ook af te leiden is uit de daling van de variatiecoëfficiënt (Tabel 1 van de bijlage) en de snellere daling van de hogere waarden (Tabel 2 van de bijlage).

Als effect van de grondgebruiksvorm is voor Ptotaal gevonden een minder dan gemiddelde daling op de huiskavel en een meer dan gemiddelde daling op de veldkavel en het blijvend grasland. Een meer dan gemiddelde daling voor blijvend grasland wijst op een andere oorzaak voor de daling dan bijmenging met armere ondergrond, deze bijmenging is juist klein bij blijvend grasland door de veel minder frequente grondbewerking.



Figuur 6.9. Verloop van de gemiddelde Ptotaal waarde in de periode 1989 tot 2002.



Figuur 6.10. Verband tussen gevonden P_{totaal} waarden in 1989 (x-as) en in de jaren 1994, 1998 en 2002.

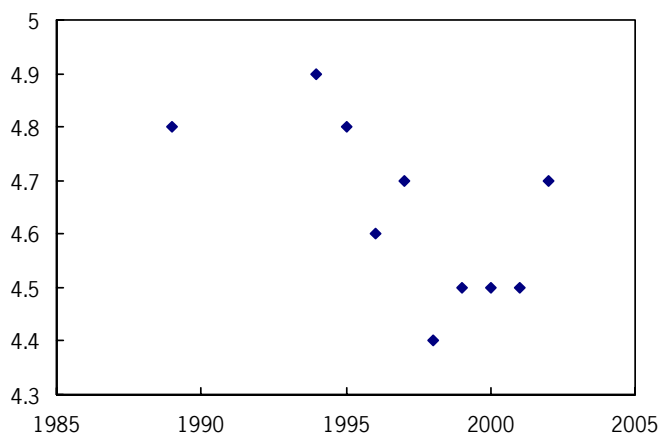
6.2 Organische stof en totaal-stikstof

De resultaten van de analyse op niveau van blokken zijn weergegeven in Tabel 4 van de bijlage. In Tabel 5 van de bijlage zijn de resultaten onderverdeeld naar blokken met relatief lage gehalten aan organische stof en N_{totaal} (26 blokken; organische stof in 1989 < 5% of N_{totaal} in 1989 < 143 mg/100 g) en blokken met relatief hoge gehalten aan organische stof en N_{totaal} (25 blokken; organische stof in 1989 > 4.9% of N_{totaal} in 1989 > 143 mg/100 g). In Tabel 6 van de bijlage zijn de resultaten onderverdeeld naar de drie vruchtwisselingsvarianten: blijvend grasland, huiskavel en veldkavel. In de Tabellen 4, 5 en 6 van de bijlage is tevens het verloop van de C/N verhouding weergegeven.

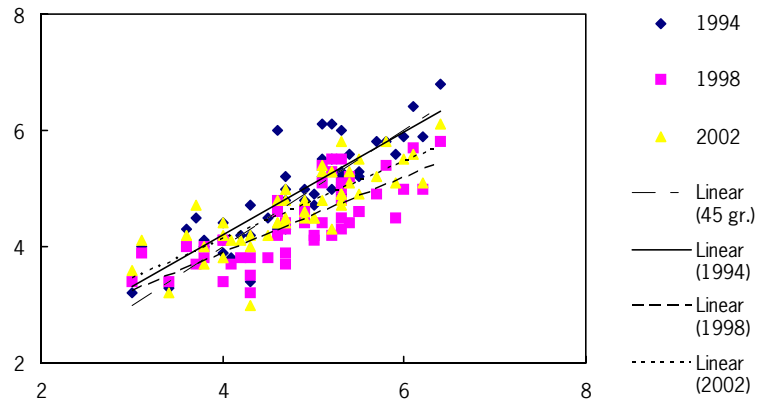
In de Figuren 6.11, 6.13 en 6.14 van de bijlage is het verloop van de gemiddelde waarden van het gehalte aan organische stof, N_{totaal} en de C/N verhouding in de tijd weergegeven. De verbanden tussen de gehalten per blok in 1989 enerzijds en 1994, 1998 en 2002 anderzijds zijn weergegeven in Figuur 6.12 (organische stof) en Figuur 6.15 (N_{totaal}).

6.2.1 Organische stof

Het gemeten gehalten van organische stof (zie Tabel 4 van de bijlage) variëren vrij sterk van jaar tot jaar; 0,1% is meer dan 2000 kg per hectare. Over de gehele onderzoeksperiode is een statistisch significante daling van het organische stofgehalte opgetreden van ongeveer 0,3% (Tabel 11 van de bijlage). De daling trad vooral op in de jaren 1993 tot en met 1995. Daarna lijkt het organische stofgehalte gestabiliseerd te zijn. Dit patroon doet vermoeden dat het organische stofgehalte in de bodem veranderd is door implementatie van het De Marke beheer en vervolgens een nieuw evenwichtsniveau bereikt heeft.



Figuur 6.11. Verloop van het gemiddelde gehalte aan organische stof in de periode 1989 tot 2002.



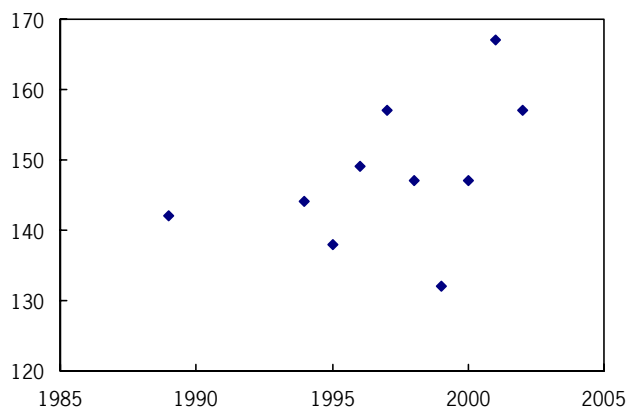
Figuur 6.12. Verband tussen gevonden organische stof gehalten in het jaar 1989 (x-as) en in de jaren 1994, 1998 en 2002.

De daling vond voornamelijk plaats in de blokken met de hogere waarden, hier was de dalende trend significant, voor de blokken met de lagere waarden niet. Figuur 6.12 suggereert een evenwichtssituatie bij gemiddeld ongeveer 4 tot 5 procent organische stof. Het geringe verschil in veranderingen tussen blokken met een laag en met een hoog gehalte (Tabel 4 van de bijlage) duidt op een geringe mate van nivellering. Een vergaande nivellering is ook niet te verwachten voor het gehalte aan organische stof, dit zal in de eerste plaats afhankelijk zijn van de grondwaterstand en het grondgebruik (blijvend grasland vs. wisselbouw) en voor deze factoren vindt geen nivellering plaats.

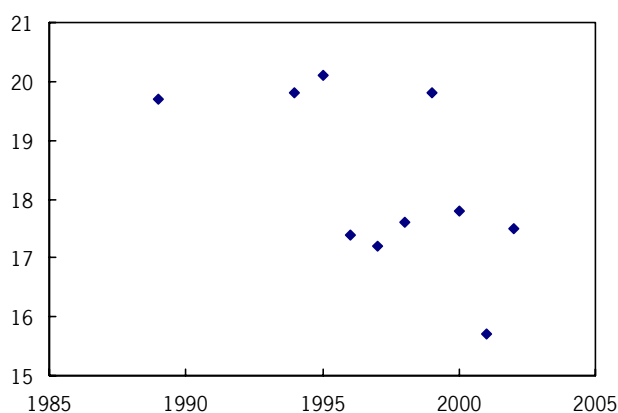
De verandering van het gehalte aan organische stof was duidelijk afhankelijk van de grondgebruiksvorm. In blijvend grasland vond gemiddeld geen daling plaats, op de huiskavel en de veldkavel wel.

6.2.2 Ntotaal

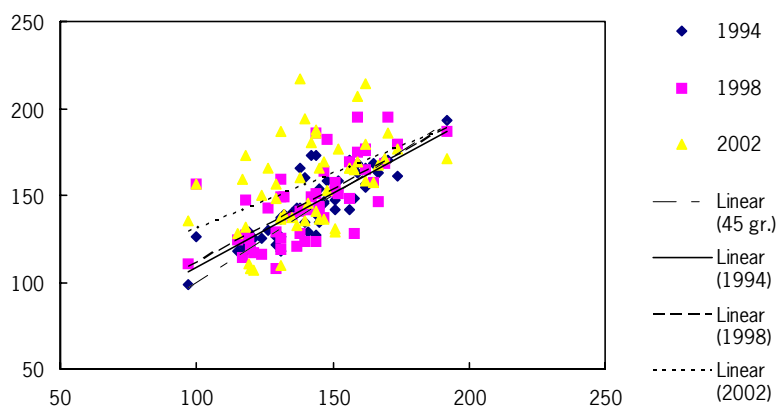
Het gehalte aan Ntotaal van de grond (Tabel 4 van de bijlage) volgde tot 1995 redelijk het gehalte aan organische stof (vergelijk Figuur 6.11 en Figuur 6.12). Dit komt overeen met de verwachting omdat het overgrote deel van de Nvoorraad voorkomt als organisch gebonden N. De in 1996, 1997 en 1998 gevonden resultaten geven een geheel ander beeld. Voor het gehalte aan Ntotaal werd een stijging gevonden, bij een gelijktijdige daling van het gehalte aan organische stof. Dit resulteerde in een scherpe daling van de C/N verhouding van 20.1 naar 17.8 in één jaar en een verdere daling naar 17.2 in het volgende jaar. Een dergelijke snelle verandering is niet te verklaren bij een ongewijzigde bedrijfsvoering. Een verandering van de C/N verhouding treedt op door verandering van het N-gehalte in aangevoerde organische stof. Wanneer zich dit voordoet, zullen de in eerdere jaren opgebouwde organische stofvoorraden langzaam vervangen worden door de nieuwe aanvoer met de afwijkende samenstelling. Verschuivingen in C/N-verhoudingen zullen daardoor geleidelijk verlopen. De later gevonden waarden bevestigen de onwaarschijnlijkheid van de gemeten Ntotaal waarden. Door een scherpe daling van Ntotaal lag in 1999 de C/N verhouding weer op het oorspronkelijke niveau en twee jaar later was het gehalte aan Ntotaal weer zodanig gestegen dat de C/N verhouding tot 15,7 was gedaald. Deze daling impliceerde een accumulatie van meer dan 1200 kg ha⁻¹ N in twee jaar, na een uitputting van meer dan 800 kg ha⁻¹ N in de voorafgaande drie jaar. Deze veranderingen gingen niet gepaard met merkbare verschillen in opbrengsten of nitraatuitspoeling, wat deze veranderingen uitermate onwaarschijnlijk maakt. Dit maakt het aannemelijk dat de gevonden waarden geen weerspiegeling zijn van de werkelijk aanwezige hoeveelheid Ntotaal, maar dat de verschillen veroorzaakt zijn door afwijkingen bij de meting in het laboratorium. Dit geeft aan dat voorzichtigheid geboden is bij het vaststellen van trends. Het gemiddelde gehalte aan Ntotaal vertoonde een licht stijgende trend, maar deze is niet significant door de grote schommelingen in de waarden.



Figuur 6.13. Verloop van de gemiddelde Ntotaal waarde in de periode 1989 tot 2002.



Figuur 6.14. Verloop van de gemiddelde waarde van de C/N verhouding in de periode 1989 tot 2002.



Figuur 6.15. Verband tussen gevonden Ntotaal waarden in 1989 (x-as) en in de jaren 1994, 1998 en 2002.

De uitgangssituatie heeft wel effect op de verandering: er vindt enige nivellering plaats, zowel van het gehalte aan Ntotaal als van de C/N verhouding (zie Tabel 5 van de bijlage).

De grondgebruiksvorm lijkt een duidelijk effect te hebben. In 1989 werd voor de drie kavels een vrijwel gelijke waarde gevonden, in de loop van de tijd werden steeds grotere verschillen gevonden in de volgorde blijvend grasland > huiskavel > veldkavel. Hierbij worden meer jaren grasland, ook tijdelijk, vertaald in een hoger gehalte aan

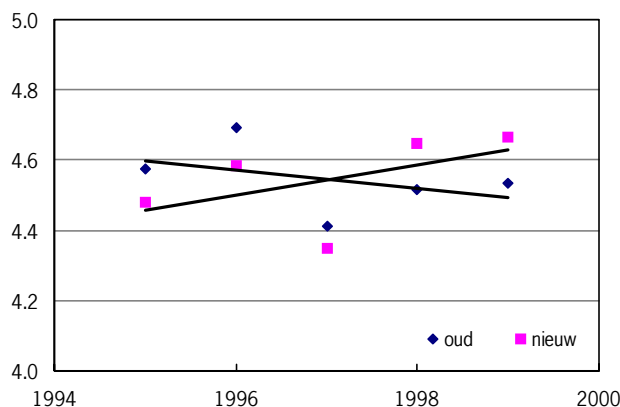
Ntotaal in de bodem. In tegenstelling tot de bedrijfsgemiddelde ontwikkeling in de tijd zijn de verschillen tussen de kavels significant. Dit is verklaarbaar. Het probleem van pseudo-verschuivingen in de tijd door instabiliteit in laboratoriumanalyses per jaar speelt geen rol bij het vergelijken van kavels wanneer de laboratoriumafwijkingen vooral optreden tussen jaren. De afwijkingen *binnen* een in een jaar aangeboden groep van monsters zal dan veel beperkter blijven en verschillen tussen de monsters in die groep zullen ook reëel zijn.

Samenvattend kan vastgesteld worden dat een deel van de veranderingen in de gehalten aan organische stof en totaal-stikstof en vooral in de hieruit resulterende C/N verhouding niet consistent zijn. Hierdoor wordt ten minste de schijn gewekt dat de gevonden verschillen geen afspiegeling zijn van de werkelijkheid en is besloten de nog beschikbare monsters opnieuw te laten analyseren.

6.2.3. Analyse van een jaarreeks

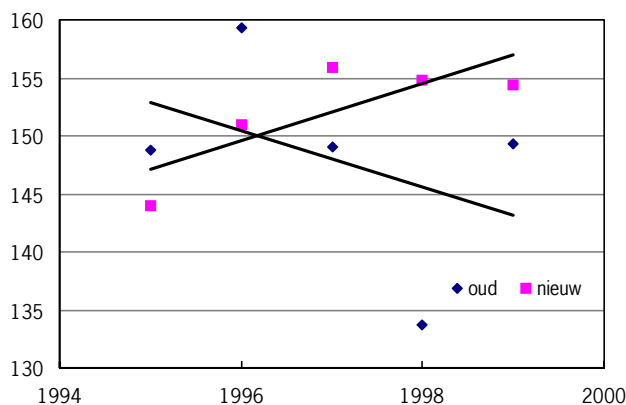
De Figuren 6.16 en 6.17 geven een vergelijking van de gemiddelde waarden van de gehalten aan organische stof en Ntotaal in de oorspronkelijke jaarlijkse analyses en in de hernieuwde, gelijktijdige analyse in 2003.

Heranalyse van het gehalte aan organische stof gaf bevredigende resultaten. Het verschil in gemiddelde waarde tussen de oude en de nieuwe analyse bedroeg voor alle jaren ongeveer 0,1%, dit is ook het onderscheidend vermogen van deze analyse. Doordat het van jaar tot jaar gevonden verschil in gehalte aan organische stof klein is, had de gemiddelde waarde voor een jaar in de oude analyse toch maar weinig voorspellende waarde voor de uitkomst van de gemiddelde jaarwaarde in de nieuwe analyse ($r^2 = 0,23$). Een afwijking van 0,1% bij heranalyse betekent ook dat de van jaar tot jaar gevonden verschillen, die zelden groter zijn dan 0,2% niet betrouwbaar zijn. Wel lijkt er sprake te zijn van een consistent verschil tussen de jaren 1989/1995 en de jaren 1996/2002.



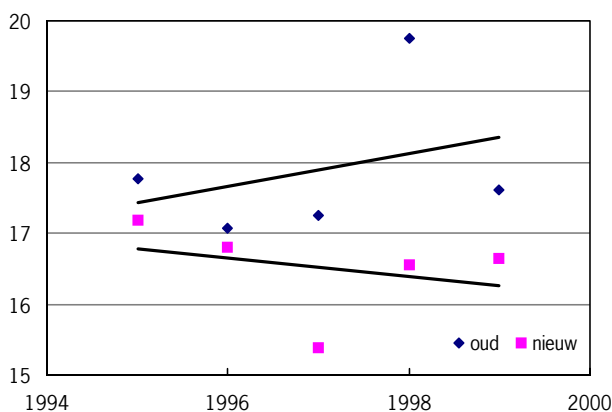
Figuur 6.16. Gemiddelde waarden van het gehalte aan organische stof bij oorspronkelijke analyse en bij herhaalde analyse in 2003.

Heranalyse van het gehalte aan Ntotaal gaf veel grotere verschillen te zien, het verschil in jaargemiddelde varieerde van 5 tot 21 mg N per 100 gram grond, ofwel ongeveer 3 tot 15% van de oorspronkelijk gevonden waarde. Bovendien had het oorspronkelijk gevonden jaargemiddelde geen enkele voorspellende waarde voor het gevonden jaargemiddelde bij hernieuwde analyse (negatieve correlatie). Dit betekent dat de in Figuur 6.12 weergegeven jaargemiddelden niet reproduceerbaar zijn en dat subtiele stijgende of dalende trends in deze cijfers niet van elkaar kunnen worden onderscheiden. De hernieuwde analyse gaf wel kleinere verschillen van jaar tot jaar te zien, wat bevestigt dat de oorspronkelijke grote verschillen niet werkelijk aanwezig waren maar het gevolg van laboratoriumafwijkingen waren. Voor de hernieuwde analyse waren nog maar vijf jaargangen beschikbaar, dat is te weinig om uit deze analyses een betrouwbare trendmatige verandering in gehalte af te leiden. Het meest waarschijnlijke is dat het gehalte van Ntotaal het gehalte van organische stof volgt (gelijk blijvende C/N verhouding; zie onder). Dit betekent dat het gehalte aan Ntotaal in de periode van 1989 tot 2002 waarschijnlijk iets gedaald zal zijn.



Figuur 6.17. Gemiddelde waarden van Ntotaal bij oorspronkelijke analyse en bij herhaalde analyse in 2003.

De C/N verhouding was volgens de heranalyse duidelijk meer constant dan volgens de oorspronkelijke analyse; 15,4 tot 17,2 in plaats van 17,1 tot 19,8. Bovendien was de waarde van 15,4 een uitschieter, de één na laagste waarde was 16,6. De waarde van 15,4 was gebaseerd op een onverwacht lagere waarde voor het gehalte aan organische stof; 4,3 bij een waarde van 4,6 in het voorafgaande en in het opvolgende jaar. Deze uitschieter is niet verklaarbaar, bij afwijkingen in de monsternamen zou naast een afwijkend gehalte aan organische stof ook een afwijkend gehalte aan Ntotaal gevonden moeten zijn. Een afwijkende monsternamen kan geen gevolgen hebben voor de C/N verhouding van de monsters.



Figuur 6.18. Gemiddelde waarden van de C/N verhouding bij oorspronkelijke analyse en bij herhaalde analyse in 2003.

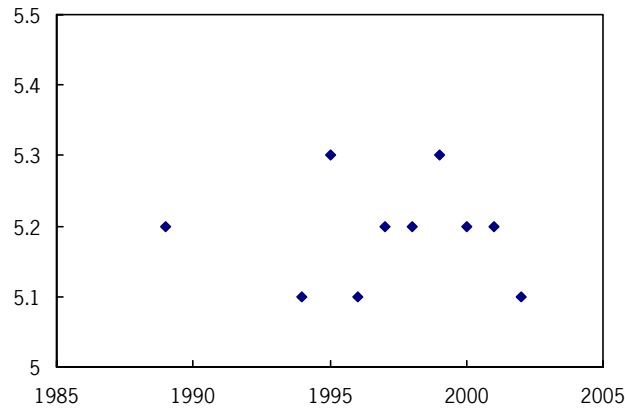
6.3 Overige bodemvruchtbaarheidsindicatoren

De resultaten van de analyses op niveau van blokken zijn gemiddeld voor het hele bedrijf weergegeven in Tabel 7 van de bijlage. In Tabel 8 van de bijlage zijn de resultaten onderverdeeld naar blokken met relatief lage pH waarden en gehalten aan K-HCl en MgO (26 blokken; pH in 1989/90 < 4,8, K-HCl in 1989/90 < 10 of MgO in 1989/90 < 134 mg/100 g) en blokken met relatief hoge pH waarden en gehalten aan K-HCl en MgO (25 blokken; pH in 1989 > 4,8, K-HCl in 1989 > 10 of MgO in 1989 > 133 mg/100 g). In Tabel 9 van de bijlage zijn de resultaten onderverdeeld naar de drie vruchtwisselingsvarianten: blijvend grasland, huiskavel en veldkavel.

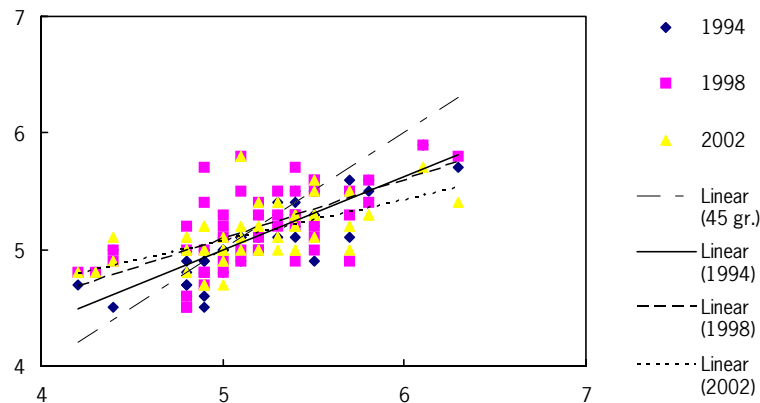
In de Figuren 6.19 en 6.21 is het verloop van de gemiddelde waarden van de pH-KCl en K-HCl in de tijd weergegeven. De verbanden tussen de gehalten per blok in 1989 enerzijds en 1994, 1998 en 2002 anderzijds zijn weergegeven in Figuur 6.20 (pH-KCl), Figuur 6.22 (K-HCl) en Figuur 6.23 (MgO), MgO is alleen bepaald in 1989 en in 1994.

6.3.1 pH-KCl

De pH-KCl (Tabel 7 van de bijlage, Figuur 6.18) is gemiddeld ongeveer gelijk gebleven en de standaardafwijking is wat kleiner geworden. Er treedt enige nivellering op als gevolg van een meer gelijkvormige bedrijfsvoering ten aanzien van bekalking. Wel is duidelijk dat de uitgangssituatie nog steeds van grote invloed is (zie Figuur 6.20 en Tabel 8 van de bijlage). Tussen de drie grondgebruiksvormen zijn geen consistente verschillen gevonden (zie Tabel 9 van de bijlage).



Figuur 6.19. Verloop van de gemiddelde pH-KCl waarde in de periode 1989 tot 2002.



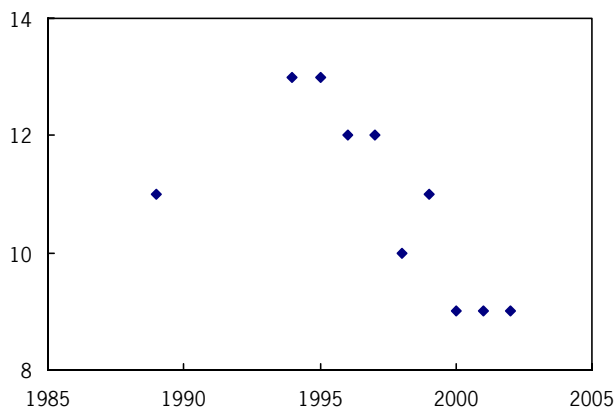
Figuur 6.20. Verband tussen gevonden pH-KCl waarden in 1989 (x-as) en in de jaren 1994, 1998 en 2002.

6.3.2 Kalium

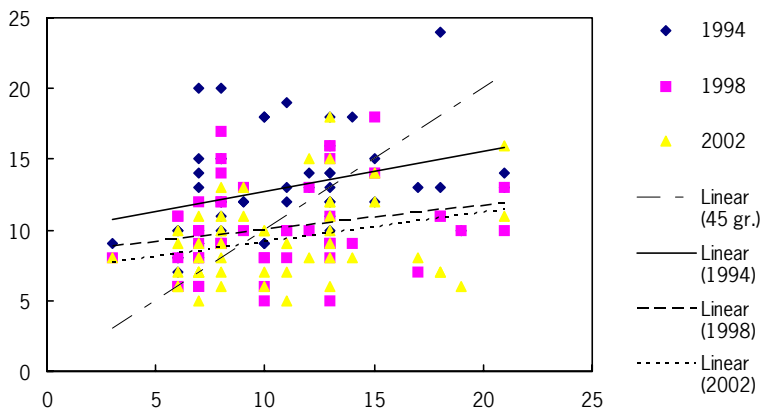
Het gemiddelde gehalte aan beschikbaar kalium (K-HCl) van de grond (Tabel 7 van de bijlage, Figuur 6.15) is in de eerste jaren iets gestegen en later juist gedaald. De cijfers van 1989 zijn nauwelijks tot niet meer gecorreleerd met die van 1994, 1998 of 2002 ($r^2 = 0.11, 0.05$ en 0.09) en de standaardafwijking is veel kleiner geworden. De uitgangssituatie is dus ook niet of nauwelijks meer van invloed op de in latere jaren gevonden waarden (zie Tabel 8 van de bijlage). Alles wijst er op dat de kaliumvoorziening in evenwicht is met de bedrijfsvoering en het kalium overschot op de balans zal dan overeen komen met de uitspoeling.

De streefwaarde van K-HCl voor de bodem van de Marke bedraagt ongeveer 11, in 1989 was de gevonden waarde in ruim de helft van de blokken lager, in 1996 was dit nog maar bij 9 blokken het geval, maar in 2002 lag het gehalte in 34 blokken onder de streefwaarde. Dat betekent dat aandacht gegeven moet worden aan de kaliumvoorziening van het bedrijf.

Er is wel enig verschil tussen de vruchtwisselingsvarianten, het K-HCl gehalte is sinds 1994 vrij consistent iets hoger op de huiskavel dan op de veldkavel en het blijvend grasland.



Figuur 6.21. Verloop van de gemiddelde K-HCl waarde in de periode 1989 tot 2002.

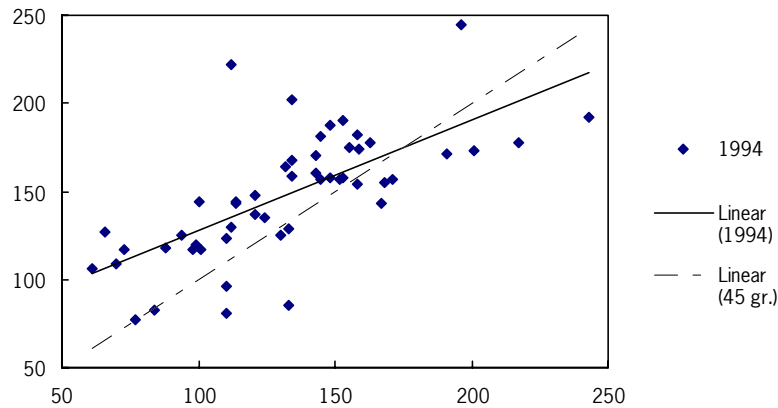


Figuur 6.22. Verband tussen gevonden K-HCl waarden in 1989 (x-as) en in de jaren 1994, 1998 en 2002.

6.3.3 Magnesium

Het gehalte aan magnesium (MgO, Tabel 7 van de bijlage) lag in 1994 11 procent hoger dan in 1989 en is niet meer bepaald in latere jaren. Ook hier trad enige nivellering op, de variatiecoëfficiënt daalde van 29% naar 24% en bij lagere waarden was de stijging gemiddeld groter dan bij hogere waarden (zie Tabel 8 van de bijlage).

Voor gebruik als grasland valt de gemiddelde waarde net onder de ondergrens van de waarderingsklasse voldoende (150). Ook het in 1989 nog aanzienlijke verschil tussen de drie vruchtwisselingsvarianten was in 1994 duidelijk kleiner geworden (zie Tabel 9 van de bijlage).



Figuur 6.23. Verband tussen gevonden MgO waarden in 1989 (x-as) en in de jaren 1994, 1998 en 2002.

6.4 Overzicht statistische analyse

Voor de gemiddelde waarden van de bodemvruchtbaarheidsindicatoren zijn steeds de significante verschillen tussen jaren weergegeven in Tabel 10 van de bijlage. Door de herhaalde waarneming binnen blokken zijn de waarnemingen afhankelijk en moet voor het bepalen van de significantie van verschillen de 'T toets' gebruikt worden. Dit houdt in dat per blok het verschil tussen twee waarnemingen berekend wordt en getoetst wordt of het gemiddelde verschil significant verschilt van nul. Bij toetsing op deze wijze kunnen kleine verschuivingen al snel significant zijn. Dit houdt wel het gevaar in dat wanneer de bepaling in een jaar om enige reden systematisch afwijkt van de bepaling in een ander jaar het hierdoor ontstane verschil vaak wel significant is. Zo is bij voorbeeld gevonden dat de waarde voor Pal tussen 1997 en 1998 significant gedaald is, tussen 1998 en 1999 significant gestegen, tussen 1999 en 2000 weer significant gedaald is en vervolgens tussen 2000 en 2001 weer significant gestegen is. Deze significanties zijn niet relevant voor het verloop op langere termijn en bleken bij hernieuwde analyse van de monsters ook niet reproduceerbaar te zijn.

Om na te gaan in hoeverre er werkelijk sprake is van relevante veranderingen in de bodemvruchtbaarheid lijkt het dus beter trendmatige veranderingen over de gehele periode te analyseren. Dit is gedaan door lineaire regressie van de gemiddelde waarden van 1989, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001 en 2002 tegen de tijd. Dit, zowel voor alle blokken samen ($n=51$) als voor de blokken met relatief lage ($n=26$) en met relatief hoge waarden ($n=25$) apart. De resultaten zijn samengevat in Tabel 11 van de bijlage.

Een significante daling is waargenomen bij Pw (voor alle blokken en voor de blokken met hoge waarden, maar niet voor de blokken met lage waarden), bij Pal (voor alle blokken en voor de blokken met lage en met hoge waarden) en bij Ptotaal (voor alle blokken en voor de blokken met lage en met hoge waarden). De daling van Ptotaal voor de blokken met lage waarden was alleen significant als de opvallend lage waarde voor 2002 werd meegerekend, de daling voor alle blokken en voor de blokken met hoge waarden bleef ook significant wanneer deze waarde niet werd meegerekend. Tevens is een significante daling waargenomen bij het gehalte aan organische stof en KHCl, in beide gevallen voor alle blokken en voor de blokken met de hoge waarden.

Een significante stijging is waargenomen bij pHKCl (alleen voor de blokken met lage waarden, bij de blokken met hoge waarden was juist sprake van een significante daling) en bij MgO (voor alle blokken en voor de blokken met lage en met hoge waarden).

Bij Ntotaal was een stijgende trend waarneembaar, maar deze was door de grote schommelingen in Ntotaal niet significant. De onderlinge verschillen waarop de trend gebaseerd is bleken bij heranalyse ook niet reproduceerbaar te zijn.

6.5 Verwachte ontwikkelingen op langere termijn

Voor de fosfaattoestand is een verder gaande daling bij voortdurende evenwichtsbemesting het meest waarschijnlijk. Deze daling gaat echter zeer langzaam bij hoge fosfaattoestand en is praktisch afwezig bij een voldoende tot goede fosfaattoestand. Of evenwichtsbemesting op De Marke uiteindelijk tot een landbouwkundig gewenst evenwichtsniveau van de fosfaattoestand zal, leiden zal naar verwachting dan ook pas over vele tientallen jaren geconstateerd kunnen worden, voor dit moment is er zeker geen reden om de bedrijfsvoering op dit punt aan te passen.

Het gehalte aan organische stof lijkt zich na een kleine daling in de beginperiode van De Marke gestabiliseerd te hebben. Voor het gehalte aan totaal-stikstof is een zelfde ontwikkeling het meest waarschijnlijk, dit kon echter niet cijfermatig onderbouwd worden. Bij een ongewijzigde bedrijfsvoering is ook op langere termijn geen grote verandering te verwachten.

pH, kalivoorziening en magnesiumgehalte liggen op een voldoende en stabiel niveau. Ook voor deze indicatoren zijn in de toekomst bij een ongewijzigde bedrijfsvoering geen belangrijke veranderingen te verwachten.

7. Discussie

7.1 Fosfaat

Bij de aanvang van het onderzoek in 1989 was de fosfaattoestand (Pw en Pal) gemiddeld hoog tot zeer hoog en een daling was dan ook te verwachten bij een bemestingsstrategie met een zo gering overschot. Gezien de snellere daling van Pal dan van Ptotaal in de beginfase van het onderzoek is deze daling gedeeltelijk veroorzaakt door het minder beschikbaar worden van het aanwezige fosfaat. Dit is verklaarbaar door zeer hoge giften organische mest in de jaren voor de eerste monsternamen. Gedeeltelijk wordt deze daling ook veroorzaakt door verliezen uit de bouwvoor (daling van Ptotaal). Deze zijn waarschijnlijk gedeeltelijk veroorzaakt door het opploegen van armere ondergrond naar de bouwvoor, waardoor het in de bouwvoor aanwezige fosfaat over meer grond verdeeld wordt, en verder door uitspoeling naar diepere bodemlagen. Uitspoeling betekent in dit geval maar zeer gedeeltelijk uitspoeling naar het grondwater, het grootste deel van de uit de bouwvoor verplaatste fosfaat zal in de bodemlaag direct onder de bouwvoor vastgehouden worden en niet verder uitspoelen.

Opvallend is dat de oorspronkelijk snel verlopende daling van de fosfaattoestand al snel afgenomen is. Vanaf ongeveer 1995 vindt geen (Pw) of bijna geen (Pal) daling meer plaats. De Pal waarde daalde in die periode ook alleen nog in de blokken met hogere waarden.

Er leek aanvankelijk een evenwicht te ontstaan bij een voldoende hoge waarde, in de orde van 25 voor Pw en 40 voor Pal, maar de laatste jaren is een verdere verschuiving richting dit evenwicht sterk vertraagd of helemaal gestopt. Dit zou veroorzaakt kunnen zijn door een kort durende sterke daling bij vooral de hogere waarden als reactie op een abrupte overgang van hoge tot zeer hoge mestgiften naar een zeer matige bemesting. Op termijn is wel een verdere daling van de fosfaatbeschikbaarheid te verwachten als gevolg van een ook nu nog langzaam doorgaande daling van Ptotaal. Voorlopig zijn echter door de zeer trage daling van de in het algemeen nog hoge fosfaattoestand geen problemen met de fosfaatvoorziening te verwachten.

7.2 Organische stof en totaal-stikstof

Het gehalte aan organische stof lijkt in de beginfase van De Marke iets gedaald te zijn, maar inmiddels al een aantal jaren niet verder te dalen. Er is een significant dalende trend in het gehalte waarneembaar, maar de snelheid van de daling blijft zeer onzeker.

In het gehalte aan Ntotaal lijkt een stijgende trend aanwezig te zijn. Dit gehalte was echter zo variabel dat de waargenomen trend zeker niet significant is. De door de variatie in Ntotaal veroorzaakte ongeloofwaardige veranderingen in de C/N verhouding geven ook aan dat de waargenomen variatie niet betrouwbaar is en waarschijnlijk ook geen gevolg was van werkelijke schommelingen in de bodem. Bij heranalyse is dan ook gebleken dat de schommelingen in het gehalte aan Ntotaal niet reproduceerbaar zijn, zodat er in feite geen betrouwbare gegevens over het verloop van Ntotaal in de tijd beschikbaar zijn.

Normaal is het verloop van het gehalte aan Ntotaal sterk gekoppeld aan het verloop van het gehalte aan organische stof, zodanig dat de C/N verhouding niet meer dan een zeer geleidelijke verandering laat zien. Dat betekent dat een kleine daling van het gehalte aan Ntotaal het meest waarschijnlijk is en dat een stijging in de orde van 40 kg per hectare per jaar, zoals gepubliceerd in Aarts *et al.* (2000) en Aarts *et al.* (2002) uitgesloten geacht mag worden. Voor de stikstofbalans van De Marke betekent dat het ontstaan van een onverklaard gat van 40 kg ha⁻¹ jaar⁻¹. Een dergelijk gat is niet ongewoon en de meest waarschijnlijke verklaring is een onderschatting van de denitrificatie.

7.3 Overige bodemvruchtbaarheidsindicatoren

Sinds 1990 is de gemiddelde pH waarde niet veranderd en zijn de K-HCl en de MgO waarden gestegen, alle waarden liggen op een goed niveau. Door een eenvormiger beheer binnen het nieuwe bedrijf heeft voor K-HCl en MgO een vergaande nivellering plaats gevonden en bij voortzetting van het huidige bemestingsbeleid zijn voor deze indicatoren geen problemen te verwachten. De waarde van de pH lag in 1990 voor alle percelen binnen het gewenste traject en wordt door regelmatige bekalking binnen dit traject gehouden. De gemiddelde waarde blijft zo gelijk, maar er vindt geen nivellering plaats.

7.4 Statistiek

De gevolgde bemonsteringsstrategie met afhankelijke waarnemingen maakt nauwkeurige statistische toetsing mogelijk. Gebleken is echter dat kleine verschillen tussen jaren vaak wel significant zijn, maar niet relevant voor het verloop over langere termijn. Vaak berusten deze verschillen ook niet op in werkelijkheid bestaande verschillen, maar op afwijkingen bij de analyse. Over het verloop van indicatoren in de tijd is dan ook alleen iets te zeggen bij een groter aantal jaren, dan kan gekeken worden of een trendmatige verandering al dan niet significant is. Door het grote aantal jaren met waarnemingen kan ook een lichte trend al significant zijn, mits de afwijkingen van de trend niet te groot zijn. Op deze wijze zijn voor alle indicatoren significante trends gevonden, behalve voor het gehalte aan N-totaal.

7.5 Herhaalde analyse

Omdat in de oorspronkelijke analyses schommelingen in de gemiddelde waarde van indicatoren zijn gevonden die wezen op systematische verschuiving door afwijkende laboratoriumuitkomsten is besloten tot herhaalde analyse. Door monsters van verschillende jaren direct na elkaar te analyseren kan er geen sprake zijn van in de loop van te tijd verschillende laboratoriuminstellingen.

Slechts van vijf jaren waren nog voldoende monsters beschikbaar voor heranalyse, de jaren 1995, 1996, 1997, 1998 en 1999. Dat betekent dat van de jaren dat de grootste dalingen in Pw, Pal en organische stof plaatsgevonden hebben geen monsters meer beschikbaar waren. Omdat voor deze drie indicatoren in de genoemde vijf jaren nauwelijks meer trendmatige verandering optrad is het op zich niet vreemd dat de in de oorspronkelijke analyses gevonden verschillen in gemiddelde waarden niet reproduceerbaar waren. Deze verschillen zijn kennelijk niet terug te voeren op werkelijk in de bodem aanwezige verschillen, maar op de laboratoriumanalyse. Voor N-totaal lagen de maximale onderlinge verschillen tussen jaren in de orde van 25%, maar ook deze verschillen waren niet reproduceerbaar. Dit bevestigde de hypothese dat de in N-totaal gevonden schommelingen niet op werkelijke verschillen berustten maar op afwijkingen in het laboratorium. Ook bleek dat de in de oorspronkelijke analyse gevonden (niet significante) trend niet reproduceerbaar was.

Uit de herhaalde analyses kan geconcludeerd worden dat voor de geanalyseerde jaren gevonden verschillen in gemiddelde waarden voor Pw, Pal, organische stof en N-totaal niet werkelijk in de monsters aanwezig zijn, maar berusten op afwijkingen die zijn ontstaan in het laboratorium. Deze afwijkingen zijn het voornaamste negatieve kenmerk van de kwaliteit van de gegevens.

7.6 Kwaliteit van data

Doel van dit verslag is veranderingen in de bodemvruchtbaarheid op de Marke in kaart te brengen. Hiervoor waren uitgebreide bemonsteringsgegevens van een reeks van negen opeenvolgende jaren beschikbaar. Deze gegevens werden verkregen door bemonstering en analyse met een standaardmethode die bedoeld is voor het opstellen van bemestingsadviezen. Voor deze methode is gekozen om redenen van kosten en van vergelijkbaarheid met uit de praktijk bekende cijfers, maar de methode is onvoldoende nauwkeurig voor het exact volgen van het verloop van

bodemvruchtbaarheidsindicatoren in de tijd. Dit wordt goed geïllustreerd door de herhaalde significante afwisselende daling en stijging van de Pal waarde in de periode van 1997 tot 2001. Er zijn geen bijzondere omstandigheden aan te wijzen die dit zouden kunnen verklaren en bovendien waren deze veranderingen bij heranalyse niet reproduceerbaar. Dit betekent dat systematische afwijking van de analyseresultaten een belangrijke oorzaak was van gevonden verschillen. Deze verschillen waren soms ook statistisch significant, maar zeker niet landbouwkundig relevant.

Vastgesteld kan worden dat de betrouwbaarheid van de gevonden gemiddelde waarden in een aantal gevallen onvoldoende was om onderbouwde conclusies over het verloop van bodemvruchtbaarheidsindicatoren te trekken. Dit was grotendeels het gevolg van systematisch afwijkende uitkomsten en niet reproduceerbare verschillen in de laboratoriumanalyse.

7.7 Monsterdiepte

Naast de analyse is ook de bemonstering een bron van onnauwkeurigheid. Bemonsterd is steeds over een standaarddiepte van 20 cm, alleen in 1989 is over een diepte van 25 cm bemonsterd. In een niet bewerkte bodem daalt de bodemvruchtbaarheidstoestand meestal snel met de diepte en zou bemonstering tot 25 cm tot lagere waarden leiden dan bemonstering tot 20 cm. Na 1989 zijn alle percelen nog bewerkt tot een diepte van minimaal 25 cm, zodat het verschil in bemonsteringsdiepte geen verschil in de analyseresultaten kan hebben veroorzaakt.

Grondbewerking kan ook leiden tot het mengen van armere ondergrond in de bouwvoor, waardoor de bodemvruchtbaarheidstoestand, uitgedrukt in gehalten, daalt. Een dergelijke daling is echter discutabel, omdat de aanwezige hoeveelheid nutriënten niet gedaald is, maar alleen verdeeld is over een grotere diepte en voor de meeste gewassen onverminderd beschikbaar zal zijn. Dit is een algemeen voorkomend en direct na ploegen goed zichtbaar verschijnsel. Dit heeft waarschijnlijk een klein deel van de daling van de fosfaattoestand op De Marke veroorzaakt, naast uitspoeling naar de onder de bouwvoor gelegen bodemlaag.

Bemonstering van grasland tot een diepte van 20 cm is niet gebruikelijk, de standaard was hier 5 cm. Om reden van vergelijkbaarheid en omdat een belangrijk deel van het grasland in wisselbouw geteeld wordt is gekozen voor een uniforme bemonsteringsdiepte voor het hele bedrijf. In blijvend grasland ontstaat in de loop van de tijd echter een gelaagdheid en bemonstering tot een diepte van 20 cm kan dan leiden tot een onderschatting van de bodemvruchtbaarheidstoestand in vergelijking met bemonstering tot een diepte van 5 cm. In het blijvend grasland van de Marke is tot nu toe alleen voor organische stof en N totaal een relatieve verrijking van de bovenste 5 cm gevonden, voor de overige cijfers is nog geen duidelijk verschil tussen bemonsteringsdiepten van 5 en van 20 cm gevonden. Dit is goed verklaarbaar, organische stof en N totaal worden grotendeels aangevuld met afgestorven plantenresten die op de bodem terecht komen en de overige nutriënten worden meer aangevuld met organische bemesting. Bij inwerken van de organische mest in grasland, ook bij ondiepe inwerking met een zodebemester, komt een deel van de nutriënten dieper dan 5 cm in de bodem. Een bemonsteringsdiepte van 5 cm lijkt dan niet meer representatief en in de praktijk is de standaard monsterdiepte voor grasland inmiddels veranderd naar 10 cm. De keuze voor een uniforme bemonsteringsdiepte van 20 cm is voor het onderzoek op de Marke logisch, directe vergelijking met cijfers uit de praktijk is voor het blijvend grasland echter moeilijk. Dit wordt opgevangen door de periodieke bemonstering van meer lagen, waarbij ook de lagen 0 tot 5 cm en 5 tot 10 cm apart bemonsterd worden.

8. Bodemgebruik en organische stofdynamiek

8.1 Inleiding

Op De Marke wordt de bodem op drie verschillende manieren gebruikt. Een deel van het areaal is in gebruik als blijvend grasland. Daarnaast worden twee varianten van vruchtwisseling toegepast met tijdelijk gras, maïs en triticale (zie hoofdstuk 4 voor een uitvoerige beschrijving). Het geteelde gewas en de daarmee gepaard gaande bodembewerking hebben veel invloed op de dynamiek van organische stof in de bodem (Hoogerkamp, 1974). In dit hoofdstuk onderzoeken we de relatie tussen het bodemgebruik en de organische stofontwikkeling.

8.2 Hypothese

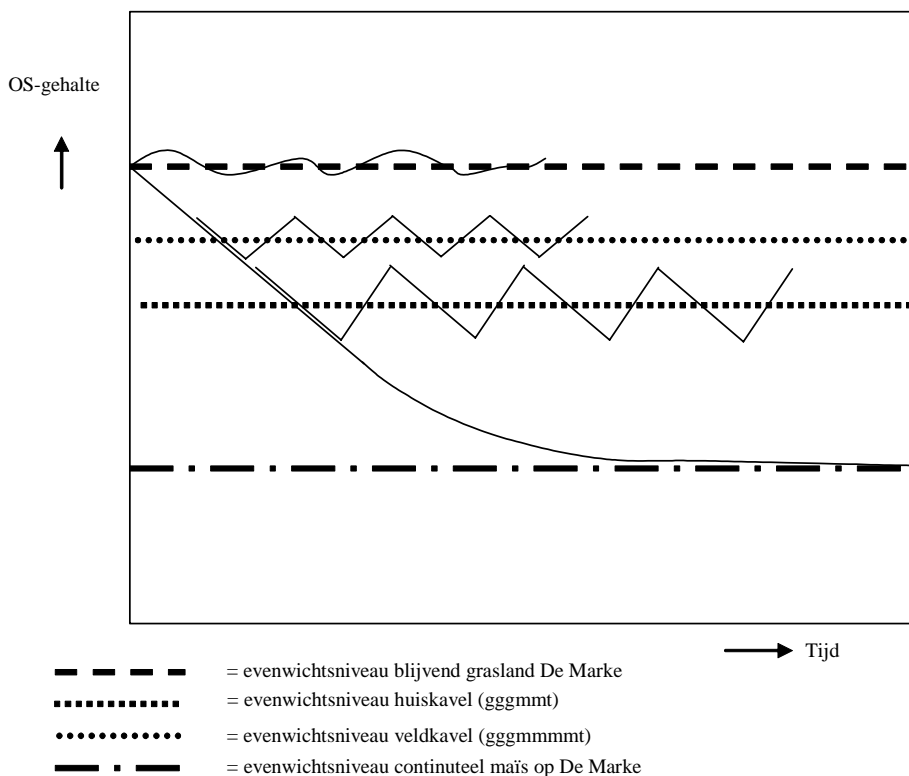
In landbouwbodems stelt het organische stofgehalte zich op de lange termijn in op een niveau waarop aanvoer en afbraak met elkaar in evenwicht zijn. Dit niveau is afhankelijk van:

- de aanvoersnelheid van organische stof (dit hangt af van het geteelde gewas en de bemesting);
- bodemeigenschappen zoals het lutumgehalte (mede bepalend voor de afbraaksnelheid);
- hydrologische omstandigheden (is de grond vochtig of droog, mede bepalend voor de afbraaksnelheid);
- de soort organische stof (mede bepalend voor de afbraaksnelheid) en
- de bodembewerking (mede bepalend voor de afbraaksnelheid).

Gras laat meer organische stof en stikstof achter in de bodem dan maïs en andere akkerbouwgewassen (De Ruijter & Postma, 2004; Biewinga *et al.*, 1991). Bij akkerbouwmatige teelt wordt organische stof bovendien sneller omgezet dan in grasland door intensievere bodembewerking (Hoogerkamp, 1974). Daarom is te verwachten dat het evenwichtsniveau van organische stof in de bouwvoor van blijvend grasland hoger is dan bij continue teelt van maïs. Te verwachten is dat het organische stofgehalte in de vruchtwisselingssystemen een tussenpositie inneemt tussen het evenwichtsniveau van permanent gras en van continu maïs. In de grasfase van de vruchtwisseling zal een beweging plaatsvinden in de richting van het evenwichtsniveau van grasland: accumulatie. In de akkerbouwfase zal een beweging plaatsvinden in de richting van het (lagere) evenwichtsniveau dat hoort bij continue teelt van maïs: netto afbraak.

De verandering van het organische stofgehalte verloopt sneller naarmate de afwijking van het evenwichtsniveau groter is ('t Hart, 1950). Dit zouden we terug kunnen zien in de invloed van gewassen op het organische stofgehalte in de veldkavel vergeleken met de huiskavel. Op de veldkavel duurt de akkerbouwfase, waarin netto organische stofafbraak plaatsvindt, twee jaar langer dan op de huiskavel. Op de veldkavel wordt het organische stofgehalte gedurende de akkerbouwfase daardoor telkens verder teruggezet dan op de huiskavel. Te verwachten is daarom dat de organische stofopbouw in een graslandjaar op de veldkavel sneller verloopt dan in een graslandjaar op de huiskavel. In het blijvend grasland is een duidelijk tragere organische stofopbouw te verwachten omdat het evenwichtsniveau daar al veel dichterbij benaderd wordt.

Kortom: te verwachten is dat de organische stofdynamiek een zaagtandpatroon volgt, waarbij de accumulatie sneller verloopt naarmate het aandeel akkerbouw in het bodemgebruik groter is. Deze verwachtingen zijn geïllustreerd in Figuur 8.1 in de vorm van steilere opgaande lijnen voor de veldkavel.



Figuur 8.1. Schematische weergave van de verwachting ten aanzien van de dynamiek van organische in op De Marke.

8.3 Werkwijze

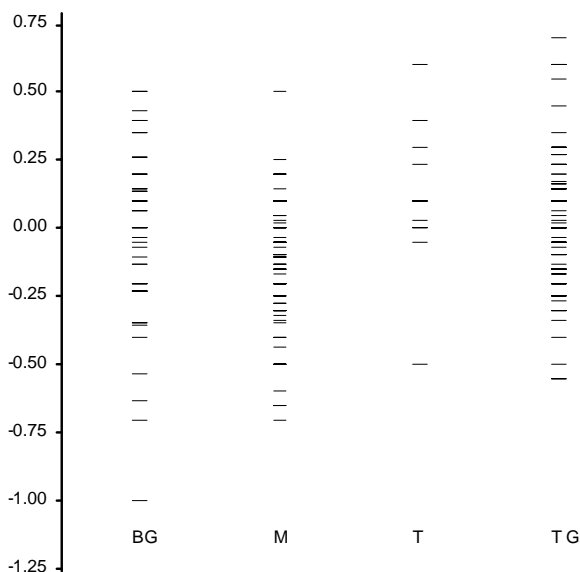
Van elk perceel is het organische stofgehalte, OS_0 , dat is gemeten in de winter voor de teelt van een gewas (t_0) vergeleken met het gehalte na de teelt, OS_1 . Per perceel kon zo de toe- of afname, ΔOS , worden gekwantificeerd. Deze data zijn gegroepeerd op gewas zodat geanalyseerd kan worden of ΔOS verschillende waarden aanneemt voor de verschillende teelten. Ook werd nagegaan of het initieel organische stofniveau, OS_0 , invloed heeft op ΔOS . Omdat de meetomgeving ongebalanceerd is, is statistische analyse met behulp van de zogenoemde REML techniek in Genstat uitgevoerd (in hoofdstuk 9.2 wordt toegelicht wat een ongebalanceerde meetomgeving is en waarom hiervoor gecorrigeerd moet worden).

8.4 Resultaten

De waarden van ΔOS voor maïs zijn significant lager dan die voor de overige gewassen. De verschillen tussen de overige gewassen zijn niet significant. ΔOS was lager bij hoge waarden van OS_0 wat in overeenstemming is met het nivellerende effect dat is beschreven in hoofdstuk 6. De gemiddelde waarde van ΔOS was voor triticale veel hoger dan verwacht. Triticale is een graangewas dat weliswaar meer organische stof achterlaat in de bodem dan maïs, maar veel minder dan gras. De oorzaak van de hoge waarde kon niet achterhaald worden. De mogelijkheid van een jaareffect kan worden uitgesloten. Triticale is slechts in een beperkt aantal jaren toegepast, maar ook in die jaren was de ΔOS van maïs nog laag vergeleken met triticale. Niettemin lijkt de waarde voor triticale een *artefact*. Tabel 8.1 geeft de geschatte effecten van de teelt van gewassen op het organische stofgehalte. Figuur 8.2 geeft de waarden weer, zonder onderscheid naar OS_0 . De gemiddelde waarden van ΔOS zijn niet verschillend in de verschillende jaren in de rotatie. De waarden van ΔOS in eerstejaarsmaïs wijken dus niet af van die in tweede-, derde-, vierde- of vijfdejaarsmaïs. Ook voor gras werd geen verschil tussen eerste, tweede en derde jaar gevonden.

Tabel 8.1. *Het effect van verschillende gewassen op het organische stofgehalte in de bouwvoor en de significantie van de verschillen van de effect tussen gewassen.*

	ΔOS	Maïs	Triticale	Blijvend gras	Tijdelijk gras
Maïs	-0,12	*****	significant	significant	significant
Triticale	0,04		*****	niet significant	niet significant
Blijvend gras	0,00			*****	niet significant
Tijdelijk gras	0,02				*****



Figuur 8.2. *Waargenomen veranderingen van het organische stofgehalte bij de teelt van blijvend gras (BG), maïs (M), triticale (T) en tijdelijk gras (TG).*

8.5 Discussie

Het schema van Figuur 8.1 wordt op een aantal punten ondersteund door de gevonden resultaten. We zagen in hoofdstuk 6 al dat het organische stofgehalte toeneemt in de volgorde veldkavel < huiskavel < blijvend grasland. Tabel 8.1 geeft ook aan dat de zaagtandbeweging in de vruchtwisselingssystemen inderdaad optreedt. In tijdelijk grasland nam het organische stofgehalte toe met gemiddeld $0,02\% \text{ jr}^{-1}$, in maïs nam het organische stofgehalte af met gemiddeld $0,1\% \text{ jr}^{-1}$.

Dat de dynamiek in tijdelijk gras verschilt van die in blijvend grasland kan niet opgemaakt worden uit Tabel 8.1 omdat de waarden van ΔOS in tijdelijk gras en blijvend gras niet significant verschillend zijn. Het verschil tussen de waarden is echter wel consistent met de verwachting. Dit geldt ook voor de verschillen tussen ΔOS in tijdelijk gras op de huiskavel en ΔOS in tijdelijk gras op de veldkavel. Volgens de hypothese die schematisch is weergegeven in Figuur 8.1 zou de ΔOS -waarde van tijdelijk gras in de veldkavel hoger moeten zijn dan in de huiskavel. De gemiddelde waarden verschillen niet significant van elkaar, maar het verschil is wel consistent met de hypothese. Dat de verschillen niet significant zijn, betekent niet dat de verschillen klein of triviaal zijn: het maakt immers voor de lange termijn zeer veel uit of in tijdelijk gras een ΔOS -waarde bereikt wordt van 0,00 of van 0,02%. We hebben echter te maken met een zeer grote spreiding in de waarden, waardoor alleen zeer grote verschillen significant zijn.

De resultaten komen overeen met de verwachtingen over de invloed van gewasteelt op de dynamiek van organisch stof in de bodem (Aarts, 2003). Op grond van deze verwachtingen werd in het ontwerp van De Marke gekozen voor een vruchtwisselingssysteem teneinde te voorkomen dat in continu-maispercelen zeer lage organisch stofgehalte ontstaan. Het ultieme bewijs dat een dergelijke ontwikkeling zou optreden in continue teelt en dat die ontwikkeling kan worden verhinderd door vruchtwisseling, zou geleverd kunnen worden in een proef met continue maïs, naast wisselbouw. Een dergelijke proef is niet uitgevoerd. De resultaten van de in dit hoofdstuk uitgevoerde analyse geven echter wel duidelijk aanwijzingen dat de veronderstellingen op grond waarvan gekozen is voor vruchtwisseling kloppen en dat de keuze voor vruchtwisseling vanuit de optiek van bodemvruchtbaarheid juist was.

8.6 Conclusies

De invloed van het geteelde gewas op het organisch stof gehalte kan in beeld gebracht worden door het organische stofgehalte voor de teelt van een gewas en na de teelt van dat gewas uit te drukken in een waarde van ΔOS . Door de grote spreiding in ΔOS zijn echter veel waarnemingen nodig.

De waarden voor ΔOS in tijdelijk gras (+0,02%) en maïs (-0,1%) geven aan dat de graslandfase in de vruchtwisseling van groot belang is om te voorkomen dat percelen ontstaan met erg lage organische stofniveaus door langdurige teelt van maïs.

Er zijn lichte, maar niet significante, aanwijzingen dat het OS verhogend effect van één jaar gras groter is naarmate er meer maïs in de vruchtwisseling voorkomt: dit effect nam toe in de volgorde blijvend gras < huiskavel < veldkavel.

9. Relaties tussen bodemvruchtbaarheid en productiefuncties

9.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken hebben we de ontwikkeling van de bodemvruchtbaarheid onderzocht aan de hand van trendanalyse en analyse van de dynamiek van een aantal indicatoren van bodemvruchtbaarheid. Deze indicatoren zijn weliswaar een maat voor de ontwikkeling van het systeem, maar het belang van de indicatoren wordt uiteindelijk bepaald door eventuele effecten op de opbrengst of op de emissies van nutriënten uit het systeem. Daarom wordt in dit hoofdstuk het verband onderzocht tussen enerzijds bodemparameters en anderzijds opbrengsten en emissies.

9.2 Werkwijze bij de analyse

De observationele eenheden van de analyse in dit hoofdstuk zijn percelen. De blokgegevens van bodemparameters zijn daarom geaggregeerd naar het niveau van percelen. De perceelsgegevens van bodemparameters zijn de ongewogen gemiddelden van de blokgegevens.

In een goed opgezette veldproef zouden de verklarende variabelen (de bodemparameters) opgelegd worden met een zodanige verdeling dat lage, hoge en gemiddelde waarden in een relevant traject in gelijke mate vertegenwoordigd zijn. In het bedrijfssysteem De Marke wordt gestuurd op bedrijfsniveau en worden bodemeigenschappen niet volgens een veldproefopzet opgelegd of aangestuurd. Ook zouden in een veldproef behandelingen verloot worden over plots. Bij herhaling van de experimenten zou die verloting telkens opnieuw plaatsvinden. Dit voorkomt verstrengelingen van verklarende variabelen met het effect van andere perceelseigenschappen. Ook daarvan is op De Marke geen sprake. De meetomgeving is dan ook zogenoemd ongebalanceerd. Dit heeft gevolgen voor het soort analyses dat kan worden uitgevoerd en het soort uitspraken dat kan worden gedaan. In principe kunnen geen responsen worden onderzocht (van bodemparameters op gewasopbrengsten bijvoorbeeld) maar alleen samenhangen. Hiertoe worden regressietechnieken toegepast. Met behulp van kennis over oorzaak-gevolg relaties kan vaak wel plausibel gemaakt worden dat een waargenomen samenhang niet toevallig is maar berust op een respons. Als er geen reden is om aan de causaliteit te twifelen, duiden we in dit hoofdstuk omwille van de leesbaarheid waargenomen samenhangen aan als effecten of invloeden. We besteden echter veel aandacht aan controle op mogelijke verstrengelingen. In Genstat is de methode REML beschikbaar om regressieanalyses uit te voeren in ongebalanceerde meetomgevingen. Deze methode is hier toegepast.

9.3 Resultaten

9.3.1 Maïs

De grootte van de jaar heeft een duidelijk significante invloed op de opbrengst ($P < 0,01$). Deze grootte omvat impliciet alle factoren die veroorzaken dat de opbrengst het ene jaar afwijkt van die in een ander jaar. Dit kunnen zeer uiteenlopende factoren zijn, variërend van beheer, het zich voordoen van ziekten en plagen tot weer. Op De Marke is het weer in de vorm van de benutbare hoeveelheid neerslag de belangrijkste opbrengstbepalende factor (Aarts, 2000; Habekotté, 1997). Dit werd vastgesteld in analyses die betrekking hadden op de periode tot 1997. Ook over de gegevensreeks tot 2002 blijkt de hoeveelheid benutbaar vocht, die berekend is uit neerslaggegevens en een simpel waterbalansmodel redelijk gecorreleerd te zijn met de opbrengsten in de verschillende jaren ($R^2 = 65\%$) (zie Tabel 9.1). Het waterbalansmodel berekent per dag de beschikbare hoeveelheid vocht op grond van gegevens van de neerslag en gemodelleerde gewasverdamping. Bij de berekening worden aannames gemaakt over de start en het eind van het groeiseizoen en wordt geen rekening gehouden met beregening; meer verfijnde watermodellering zou vermoedelijk een nog groter deel van de variatie in opbrengst per jaar kunnen verklaren.

Tabel 9.1. De berekende hoeveelheid benutbaar vocht en de opbrengst van maïs op De Marke.

Jaar	Benutbaar vocht (mm)*	Opbrengst
1994	328	8284
1995	246	10870
1996	345	11155
1997	252	9548
1998	340	12824
1999	434	12982
2000	371	13295
2001	390	13671
Gemiddeld	338	11579

* Berekend voor een bouwvoor met een vochtbergend vermogen van 25 mm.

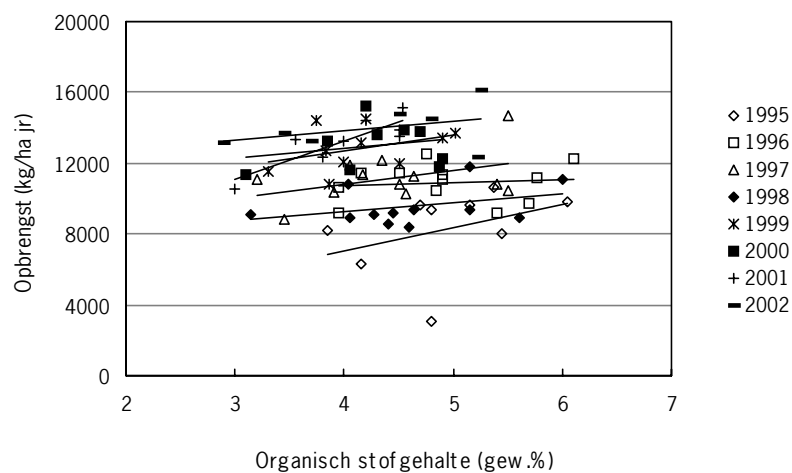
Als de metingen worden gegroepeerd op jaar heeft ook het organische stofgehalte een significante samenhang met de opbrengst. Het hoofdeffect van de Pw is niet significant. In interactie met jaar heeft de Pw wel een significante invloed op de opbrengst. Het beste model voor de verklaring van de maïsopbrengst is:

$$\text{Opbrengst} = 7967 + \alpha_{(\text{jaar})} + 719 * \text{OS (gew. \%)} + \chi_{(\text{jaar})} * \text{Pw}$$

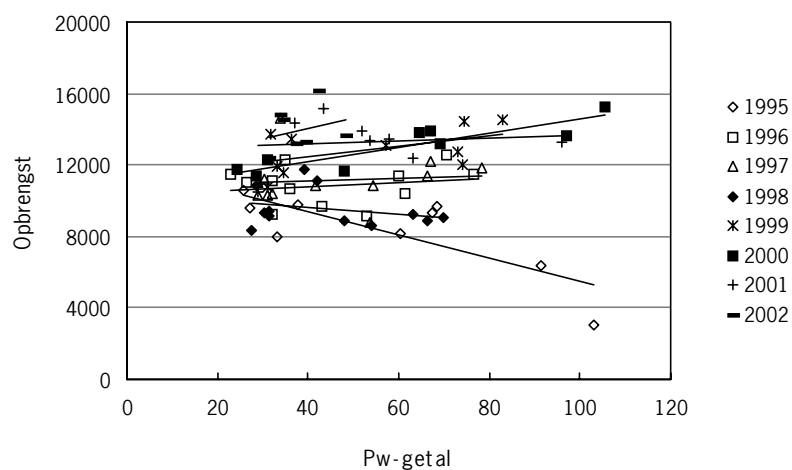
waarbij het subscript jaar aangeeft dat de regressiecoëfficiënt voor elk jaar verschillend is. Omwille van de leesbaarheid zijn de regressiecoëfficiënten voor de Pw weergegeven in Tabel 9.2.

Dit model verklaarde 74% van de opbrengstverschillen van maïs.

In Figuur 9.1 is de opbrengst uitgezet tegen het organische stofgehalte. De regressiecoëfficiënt van 719 kg/% OS in het model komt overeen met de gemiddelde waarde van de regressielijnen per jaar. In Figuur 9.2 is de opbrengst uitgezet tegen de Pw. De opbrengsten zijn ook hier naar jaar gegroepeerd vanwege het effect van jaarverschillen. De opbrengstrespons op de Pw is duidelijk verschillend voor verschillende jaren, vandaar de interactie tussen Pw en jaar. Uit de figuur wordt duidelijk dat het hoofdeffect van Pw (dus zonder rekening te houden met verschillende reacties per jaar) niet significant is. Zonder interactie wordt het gemiddelde van de regressielijnen per jaar berekend. Deze lijnen hebben een tegengestelde richting en middelen elkaar dus uit (de gemiddelde regressielijn van alle jaren, wijkt niet duidelijk af van nul). Uit de figuur kan worden opgemaakt dat de opbrengstrespons op de Pw in jaren met een hoge opbrengst positief is en wel duidelijker positief naarmate de opbrengst hoger is. De opbrengstrespons op de Pw lijkt afwezig of soms zelfs negatief te zijn in jaren met een lage opbrengst. Omdat de opbrengst sterk gerelateerd is aan de vochtbeschikbaarheid, kan deze waarneming doorvertaald worden naar natte dan wel droge jaren. In jaren met een grote hoeveelheid benutbaar vocht manifesteert het Pw-effect zich duidelijk. In de jaren met een lagere hoeveelheid benutbaar vocht heeft de Pw (binnen het Pw- meetbereik op De Marke) geen effect meer op de opbrengst of gaat een hoge Pw zelfs samen met een lagere opbrengst. Eerder werd op De Marke vastgesteld dat maïs bij een lage Pw in het begin van de ontwikkeling vertraagd is ten opzichten van maïs op percelen met een hoge Pw, maar dat de vertraagde maïs die achterstand inhaalt bij droogte (Habekotté & Hilhorst, 1997). In Tabel 9.2 zijn de regressiecoëfficiënten die zijn afgeleid voor afzonderlijke jaren en de opbrengsten weergegeven. De waarde van de regressiecoëfficiënt correleert duidelijk met het opbrengstniveau ($R^2 = 82\%$).



Figuur 9.1. De opbrengst van maïs (gemeten op percelen) gegroepeerd naar jaar, uitgezet tegen het organische stofgehalte op de percelen van De Marke.



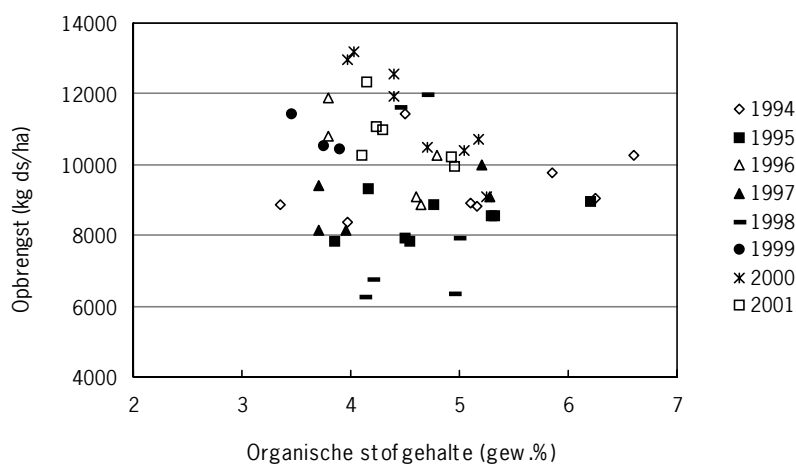
Figuur 9.2. De opbrengst van maïs (gemeten op percelen) gegroepeerd naar jaar, uitgezet tegen het Pw-getal op de percelen van De Marke.

Tabel 9.2. De samenhang tussen de Pw op de opbrengst van maïs bij verschillende opbrengstniveaus.

Jaar	Regr. coëff. PW	Opbrengst
1995	-65	8284
1996	11	10870
1997	-7.5	11155
1998	-18	9548
1999	30	12824
2000	38	12982
2001	7.3	13295
2002	57	13671
Gem	6.6	11579

9.3.2 Grasland

De analyse die voor maïs is uitgevoerd, is ook toegepast op graslandpercelen. In eerste instantie zijn alle graslandpercelen bij de analyse als één groep meegenomen. Omdat blijvend gras qua dynamiek verschilt van tijdelijk gras, is de analyse voor deze groepen vervolgens ook apart uitgevoerd. Geen van de bekende bodemparameters had een significante invloed op de graslandopbrengst in het totale graslandbestand. De grootte van het jaar had net als bij maïs wel een significant effect evenals de beweidingsdruk. Het onderscheid in blijvend grasland en tijdelijk grasland verhoogde het percentage verklaarde variantie, vooral door de term fase in rotatie. Deze term geeft aan of sprake is van eerste-, tweede- of derdejaars gras in tijdelijk grasland. Eerstejaars gras brengt minder op omdat in het voorjaar gezaaid wordt hetgeen twee snedes opbrengst kost. Echter, ook in de deelbestanden kwamen geen significante effecten van bodemparameters naar voren. Het is plausibel te veronderstellen dat een effect van het organische stofgehalte afhankelijk is van de vochtbeschikbaarheid in een jaar. Daarom werd de interactie met jaar onderzocht. Ook dit leverde geen significante effecten op.



Figuur 9.3. De opbrengst van grasland uitgezet tegen het organische stofgehalte.

9.3.3 Nitraatuitspoeling

Geen van de in beschouwing genomen bodemparameters had een significant effect op de nitraatuitspoeling. Dit is bekeken door te controleren of statistische regressiemodellen die de nitraatuitspoeling het beste verklaren nog verbeterd worden door het toevoegen van de bodemparameters. Het basismodel dat gebruikt werd bevat een indexfactor voor verdunning van N die verloren gaat met regenwater, de DOC (de concentratie van in het bemonsterde grondwater opgeloste organische stof), de grondwaterstand en de gewassen die in de vier voorgaande jaren zijn geteeld op een perceel. Hierover zal in een nog uit te brengen rapport uitvoerig verslag gedaan worden.

9.4 Controle op verstregelingen

Percelen met een hoge grondwaterstand op zandgrond hebben veelal een hoog organische stofgehalte. Daarom is bekeken of het opbrengsteffect van organische stof ook toegeschreven kan worden aan een grondwaterstandeffect. Hierbij werd gebruik gemaakt van dieptemetingen van de grondwaterspiegel in de winter (er zijn geen metingen beschikbaar van de grondwaterstand in de zomerperiode). De wintergrondwaterstand was niet gecorreleerd met het organische stofgehalte. Ook werd de grondwaterstand betrokken bij de regressieanalyse met betrekking tot de opbrengst. Een effect van de grondwaterstand werd niet aangetoond. Ook was het organische stofgehalte niet gecorreleerd met het lutumgehalte in de bodem, zodat ook verstregeling met het lutumgehalte niet aan de orde is.

Het De Marke beheer evolueert. Enkele tussen 1993 en 2002 ingevoerde veranderingen zijn: verkorting van de beweidingduur en het beweidingseizoen, verlaging van de N-giften en er wordt geen kunstmest-N meer gegeven. Bovendien werd in het verleden de veldkavel beweide met pinken, maar momenteel niet meer. Met dergelijke wijzigingen is rekening gehouden door de grootheid Jaar gedwongen in de modellen op te nemen. Hierdoor worden de verbanden steeds onderzocht in alle percelen in een jaar waarin het beheer gelijk was.

In een aantal opzichten is het beheer van De Marke perceelsspecifiek. Dat wil zeggen dat bij bemesting en bodemgebruik rekening gehouden wordt met perceelseigenschappen. Bekeken is of de bemesting met P en N verstrengeld zijn met de variatie van de Pw en met de variatie van het organische stofgehalte in de bodem. Voor P blijkt de gift niet dermate te variëren met Pw en jaar dat er twijfel kan ontstaan over de causaliteit tussen Pw in interactie met jaar en opbrengstvorming. Er is verder geen enkel verband tussen de N-gift en het organische stofgehalte.

We hebben geconstateerd dat er een negatieve samenhang is tussen de Pw en de opbrengst in droge jaren. Er is een positieve samenhang tussen het organische stofgehalte en de opbrengst die vermoedelijk veroorzaakt wordt door een hogere vochtbeschikbaarheid (hier gaan we in de onderstaande discussie op in). Een controle op het samenvallen van percelen met een hoge Pw-waarden met percelen met een laag organische stofgehalte is nodig om uit te sluiten dat beide factoren met elkaar verstrengeld zijn en het effect van Pw slechts schijnbaar is en in werkelijkheid door verschillen in organisch stofgehalte veroorzaakt wordt. Controle op de correlatie tussen de Pw en het organische stofgehalte gaf aan dat deze verstrengeling niet optreedt.

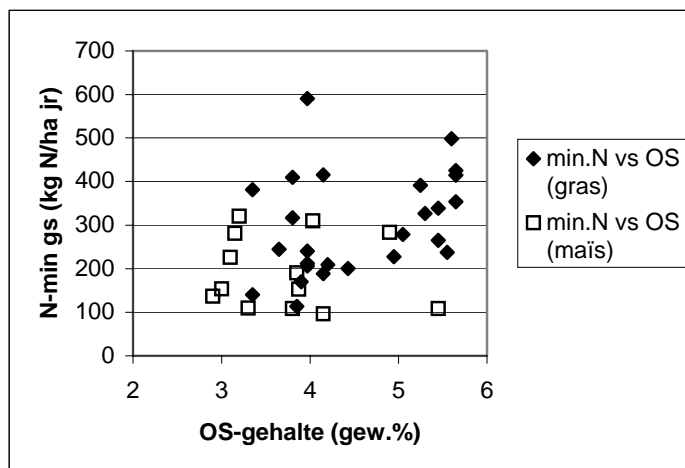
Bovendien werden de analyses als extra controle ook toegepast op de huiskavel en de veldkavel. Dit had als doel om te controleren op moeilijk grijpbare verstrengelingen. De hierboven beschreven waarnemingen herhaalden zich in afzonderlijke analyses voor de huiskavel en de veldkavel.

9.5 Discussie

9.5.1 Het effect van organische stof op de opbrengst van maïs

De weergegeven resultaten geven aan dat de opbrengst van maïs op percelen met een hoger organisch stofgehalte hoger is; de samenhang tussen organische stof in de bodem en de opbrengst is berekend op $719 \text{ kg ds ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ per % toename van het organische stofgehalte in de bodem. Het is de vraag waar dit effect aan toe te schrijven is. In een overzichtsartikel van Loveland & Webb (2003) worden de volgende effecten van organische stof genoemd in relatie tot gewasopbrengsten: een bemestingseffect door het vrijkomen van mineralen uit jong organisch materiaal, een effect op de beschikbaarheid van water door de invloed op het poriënvolume en een bufferende werking (met name het gelijkmatig afgeven van stoffen in ruimte en in tijd).

Hieronder volgt een analyse van de mogelijke effecten van de N-mineralisatie en van het vochtbergend vermogen. Op zes zogenoemde vaste waarnemingsplekken wordt de N-mineralisatie gemeten in het veld. De waarnemingsplekken liggen op percelen waarvan de organische stofgehalten bekend zijn. De N-mineralisatie is met name gecorreleerd met de aanvoer van vers organisch materiaal en veel minder met het organische stofgehalte ($R^2 = 0,39$). Figuur 9.4 illustreert dit. Deze correlatie geeft geen bevestiging van de mogelijkheid dat het organische stofgehalte de maïsopbrengst beïnvloedt wordt door een verhoogde N-mineralisatie. Uit te sluiten valt dit mechanisme echter niet omdat N-mineralisatiemetingen met veel onzekerheden gepaard gaan en het aantal meetplekken relatief beperkt is.



Figuur 9.4. De N-mineralisatie uitgezet tegen het organische stofgehalte in de bodem op De Marke (met onderscheid naar gewas).

Is de meeropbrengst bij een hoger organisch stofgehalte dan te verklaren door de vochtbeschikbaarheid? De transpiratiecoëfficiënt van maïs is 200 l/kg droge stof. Voor een meeropbrengst van 719 kg maïs is dus 143800 liter water nodig. Een toename van het organische stofgehalte in de bodem met 1% organische stof verhoogt het vochtleverend vermogen met 18 mm ofwel 180.000 liter ha⁻¹. Dat komt overeen met een oogstbare hoeveelheid organische stof van 900 kg; een redelijke benadering van de 719 kg die uit de regressieanalyse naar voren kwam. Het is dus plausibel om het opbrengsteffect van droge stof toe te schrijven aan een toename van het vochtleverend vermogen.

9.5.2 De interactie tussen Pw en (de vochtbeschikbaarheid in een) jaar

De volgorde van de veranderingen die op De Marke hebben plaatsgevonden is van belang om de causaliteit tussen opbrengst, vochtbeschikbaarheid en het effect van de Pw goed aan te geven. Gegeven is dat de Pw heel langzaam lager wordt in de tijd. Gegeven is dat geen samenhang is gevonden tussen lage opbrengsten en lage Pw-waarden. Eerder was al aangetoond dat de vochtbeschikbaarheid op De Marke een dominante limiterende factor is voor maïsoopbrengsten (Habekotté & Hilhorst, 1997). In de latere jaren is de vochtbeschikbaarheid relatief hoog geweest. In deze natte jaren is wel een opbrengstrespons op Pw te zien, niet door depressies bij lage Pw, maar juist door het samengaan van hoge opbrengsten bij de hogere Pw-waarden. Het Pw-effect is dus een gevolg van het weer en de opbrengst die daarbij gerealiseerd kan worden.

9.5.3 Gras versus maïs

In gras werden geen significante verbanden gevonden tussen bodemparameters en opbrengsten terwijl dit in maïs wel het geval was. Dit is te verklaren doordat er in gras meer aspecten zijn die de opbrengst beïnvloeden, juist ook op verschillende percelen binnen een groeiseizoen, dan bij maïs. Bij maïs zijn de randen van het groeiseizoen altijd heel duidelijk: de opbrengst komt tot stand tussen het moment van zaaien en oogsten. Bij gras hebben verschillen in opwarmingssnelheid en ontwatering van de bodem veel invloed op het startmoment van de groei. Vervolgens worden percelen vaker of minder vaak gebruikt voor beweiding. Het modelleren van de beweidingsintensiteit heft die verstoring niet helemaal op, doordat een beweiding gedurende een tweede snede op een perceel een heel ander effect heeft dan een beweiding in een vierde of vijfde snede. Dit soort invloeden bepaalt mede of interacties met bodemparameters zichtbaar kunnen worden.

9.6 Conclusies

Het organische stofgehalte in de percelen van De Marke heeft een significant effect op de opbrengst van maïs. Het waargenomen effect bedroeg $719 \text{ kg ds ha}^{-1}$ per procent organische stof. Dit effect kan redelijk verklaard worden door op grond van vuistregels te berekenen hoeveel vocht meer beschikbaar komt voor de maïs bij toename van het organische stofgehalte en deze waarde om te rekenen in een geschatte meeropbrengst. Gegevens van de N-mineralisatie gaven geen aanwijzing van het optreden van een bemestingseffect ten gevolge van een verondersteld hogere N-mineralisatie bij een hoger organische stof gehalte.

In maïs bleek de Pw-waarde een verwaarloosbaar effect te hebben op de opbrengst als geen onderscheid wordt gemaakt in jaren. Wanneer dit onderscheid wel wordt gemaakt blijkt de Pw in natte jaren een opbrengstverhogend effect te hebben.

Geen van de bodemvruchtbaarheidsindicatoren had een waarneembaar effect op de opbrengst van grasland en op de uitspoeling van nitraat.

10. Conclusies en aanbevelingen

10.1 Trends

Tijdens een dertien jaar durende periode met een bemestingsbeleid gericht op het voldoen aan zeer stringente milieunormen is de gemiddelde fosfaattoestand van de bodem duidelijk lager geworden. In de eerste jaren vond daling plaats op alle percelen, later alleen nog op de rijkere percelen met fosfaattoestand 'hoog'tot 'zeer hoog'. Op de percelen met fosfaattoestand 'voldoende' en 'goed' vond toen geen verdere daling meer plaats.

In de waarnemingsperiode is het gehalte aan organische stof eerst iets afgenomen en vervolgens gestabiliseerd. Gekoppeld aan het gehalte aan organische stof, is het gehalte aan Ntotaal waarschijnlijk ook iets afgenomen, maar deze conclusie kan door grote, niet reproduceerbare, schommelingen in de resultaten niet cijfermatig onderbouwd worden. Eerder werd op grond van de bemonstering tot 1998 verondersteld dat er in die periode $40 \text{ kg ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ N in de bouwvoor geaccumuleerd was. Gezien de resultaten is accumulatie van stikstof op De Marke echter zeer onwaarschijnlijk.

Het gehalte aan kalium is iets afgenomen, het gehalte aan magnesium is toegenomen (tussen 1989 en 1994, later is dit niet meer bepaald) en de pH is onveranderd gebleven.

De ontwikkeling van de bodemvruchtbaarheidstoestand was duidelijk afhankelijk van de uitgangstoestand; bij alle indicatoren, behalve de pH, vond nivellering binnen het bedrijf plaats.

Tussen de drie verschillende grondgebruiksvormen - blijvend grasland, huiskavel, veldkavel - werden slechts kleine verschillen in de ontwikkeling van de bodemvruchtbaarheid waargenomen.

Voortzetting van het huidige bemestingsbeleid zal uiteindelijk leiden tot (nieuwe) evenwichtswaarden voor alle indicatoren. K-HCl en pH zijn al in evenwicht, voor MgO mag nog een stijging verwacht worden en voor organische stof en Ntotaal zijn geen belangrijke veranderingen te verwachten. De gemiddelde fosfaattoestand (Pw, Pal en Ptotaal) zal nog dalen. Met de nu bekende informatie lijkt een evenwichtswaarde te verwachten op een vermoedelijk net voldoende niveau. Door de zeer langzame daling in de afgelopen jaren is duidelijkheid hierover echter pas op een langere termijn van minimaal enkele tientallen jaren te verwachten.

10.2 De bedrijfsvoering

Het op efficiënt nutriëntengebruik gericht beheer in het bedrijfssysteem De Marke functioneert zonder het productievermogen van de bodem te verminderen. De waarde van een aantal indicatoren voor bodemvruchtbaarheid is wel beïnvloed, maar niet zodanig dat de productiviteit is afgenomen.

Op grond van de waargenomen N-gehalten en de ontwikkeling van het organische stofgehalte lijkt er een nul-accumulatie of een zeer geringe afname van Ntotaal plaats te hebben gevonden in de gehele periode. Dat houdt in dat de aanzienlijk lagere N-aanvoer naar de bodem geheel is opgevangen door een lager verlies door uitspoeling en denitrificatie en niet heeft geleid tot uitputting van de bodem.

Er zijn duidelijke aanwijzingen dat de vruchtwisseling een grote rol speelt bij het instandhouden van het organische stofgehalte op niveaus van 3-5%. De samenhang tussen het organische stofgehalte in de bodem en de opbrengsten van maïs geeft aan dat de stabilisatie van het organische stofgehalte op deze niveaus van groot belang is. Dit betekent dat het aan te bevelen is de vruchtwisseling in het systeem De Marke voort te zetten.

Gezien de huidige ontwikkelingen in de fosfaatbeschikbaarheid, is de meest plausibele verwachting dat bij het huidige bemestingsregiem op de lange termijn een stabilisatie zal plaatsvinden bij waarden voor Pw en Pal op een

voldoende hoog niveau. Afgaande op de waarnemingen in de laatste vijf jaar, lijkt stabilisatie ook op te treden op hogere niveaus van fosfaatbeschikbaarheid. Evenwichtsbemesting is dus voor langere tijd een verantwoorde strategie met het oog op behoud van productievermogen op De Marke.

De opbrengst van maïs is positief gecorreleerd met de fosfaatbeschikbaarheid bij een hoge vochtbeschikbaarheid; bij lage vochtbeschikbaarheid is er geen samenhang gevonden tussen de opbrengst en de Pw.

10.3 Betrouwbaarheid en meetstrategie

Schommelingen in de gevonden waarden maken het moeilijk goed onderbouwde trends te onderkennen. Door het grote aantal waarnemingsjaren kunnen wel conclusies getrokken worden over het globale verloop van de bodemvruchtbaarheid, goede voorspellingen voor het verdere verloop in de toekomst zijn echter moeilijk te geven.

Schommelingen in de gevonden gemiddelde waarden voor Pw, Pal, organische stof en Ntotaal bleken bij heranalyse van bewaarde monsters slecht tot helemaal niet reproduceerbaar te zijn. Gevonden korte termijn schommelingen zijn meestal het gevolg van afwijkingen in de laboratoriumanalyse geweest, langere termijn trends moeten ook met de nodige voorzichtigheid op consistentie bekeken worden. Bij voortzetting van het onderzoek is het van belang grondig na te gaan hoe de betrouwbaarheid van de analyses vergroot kan worden.

De uniforme monsterdiepte van 20 cm geeft een goede vergelijkbaarheid binnen het bedrijf. Vergelijkingen met blijvend grasland buiten het bedrijf kunnen toch gemaakt worden door de weliswaar veel minder frequente maar toch nog regelmatige bemonstering van meerdere bodemlagen.

11. Literatuur

- Aarts, H.F.M., B. Habekotté & H. van Keulen, 2000.
Efficiency of nitrogen management in dairy farming system 'De Marke'. *Nutrient cycling in Agroecosystems* 56: 231-240
- Aarts, H.F.M., B. Habekotté & H. van Keulen, 2000.
Efficiency of phosphorus management in dairy farming system 'De Marke'. *Nutrient cycling in Agroecosystems* 56: 219-229.
- Aarts, H.F.M., J.G. Conijn & W.J. Corré, 2002.
Nitrogen fluxes in the plant component of the 'De Marke' farming system, related to the groundwater nitrate content. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 49: 153-162.
- Aarts, H.F.M., G.J. Hilhorst, F. Nevens & J.J. Schröder, 2003.
Betekenis wisselbouw voor melkveebedrijf op lichte zandgrond; analyse van resultaten proefbedrijf 'De Marke', De Marke rapport 36, PRI-rapport 46, Wageningen UR, CLM.
- Biewinga, E.E., H.F.M. Aarts & R.A. Donker, 1992.
Melkveehouderij bij stringente milieunormen. 'De Marke' rapport nr. 1, Hengelo.
- De Ruijter, F.J. & R. Postma, 2004.
Afvoer van gewasresten ter beperking van stikstofverliezen. Rapport Telen met toekomst OV 0412. 26 pp.
- Ehler, P.A.I., 1993.
Vergelijking landbouwkundige betekenis Pw-getal en P-CaCl₂. 1. Heranalyse op Pw-getal. Notitie, DLO-Instituut voor Bodemvruchtbaarheid.
- Habekotté, B., H.F.M. Aarts, W.J. Corré, G.J. Hilhorst, H. van Keulen, J.J. Schröder, O.F. Schoumans & F.C. van der Schans, 1998.
Duurzame melkveehouderij en fosfaatmanagement. AB-DLO Rapport 92. AB-DLO, Wageningen. 143 pp.
- Habekotté, B & G.J. Hilhorst, 1997.
Maïsofbrengst en -fosfaatgehalte in relatie tot de fosfaattoestand van de bodem van De Marke. In: Duurzame melkveehouderij en fosfaatmanagement. 'De Marke' verslag 22, AB-DLO rapport 92, Wageningen.
- Hart, M.L. 't, 1950.
Organische stof in grasland. *Landbouwkundig Tijdschrift* 62: 532-542.
- Hassink, J., 1995.
Organic matter dynamics and N mineralization in grassland soils. Thesis, 250 pp.
- Hoogerkamp, M., 1974.
De ophoping van organische stof onder grasland en de invloed hiervan op de opbrengst van grasland en akkerbouwgewassen. Wageningen, Instituut voor Biologisch en Scheikundig onderzoek van landbouwgewassen. 235 pp.

Bijlage I.

Tabellen

Tabel 1. Resultaten van analyses van de fosfaatbeschikbaarheid (Pw en Pal) en de fosfaatvoorraad (Ptotaal) voor 51 blokken.

	1989	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Pw										
min. waarde	26	20	21	22	24	27	21	20	20	21
mediaan	42	36	31	34	37	39	37	31	36	40
max. waarde	141	124	99	102	88	93	98	79	120	89
gem. waarde	57	49	42	44	44	48	45	38	46	47
st. afwijking	31	25	22	20	19	18	21	16	23	20
var. coëff.	0,54	0,52	0,52	0,45	0,42	0,39	0,46	0,42	0,49	0,43
Pal										
min. waarde	38	35	31	37	33	36	32	33	36	36
mediaan	64	58	55	56	56	54	58	49	58	55
max. waarde	142	118	115	104	107	110	106	93	101	105
gem. waarde	75	69	64	65	65	61	65	57	63	63
st. afwijking	24	20	20	19	19	17	18	16	18	17
var. coëff.	0,31	0,29	0,30	0,25	0,29	0,28	0,27	0,28	0,28	0,28
Ptotaal										
min. waarde	116	115	116	108	110	99	111	116	112	102
mediaan	160	152	155	151	150	147	148	151	146	142
max. waarde	289	284	276	257	267	261	264	253	260	242
gem. waarde	169	165	166	162	164	160	161	162	158	152
st. afwijking	42	38	38	38	39	37	36	36	34	35
var. coëff.	0,25	0,23	0,23	0,23	0,24	0,23	0,22	0,22	0,22	0,23

Tabel 2. Resultaten van analyses van de fosfaatbeschikbaarheid (Pw en Pal) en de fosfaatvoorraad (Ptotaal), onderverdeeld naar lagere (26 blokken) en hogere (25 blokken) Pw waarden.

	1989	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Pw										
lagere Pw	34	30	26	29	30	34	29	25	30	31
% verandering		-10	-22	-13	-10	-0	-12	-25	-10	-8
hogere Pw	82	69	60	59	59	62	62	51	63	63
% verandering		-16	-27	-28	-27	-23	-23	-38	-23	-23
Pal										
lagere Pal	56	52	48	49	49	48	51	44	48	49
% verandering		-6	-13	-11	-11	-14	-9	-21	-13	-12
hogere Pal	95	86	81	82	81	75	80	71	77	77
% verandering		-10	-15	-14	-15	-21	-17	-26	-19	-19
Ptotaal										
lagere Ptotaal	137	138	140	135	135	136	136	136	134	128
% verandering		+1	+2	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-8
hogere Ptotaal	206	196	197	193	197	188	190	192	186	181
% verandering		-5	-4	-6	-4	-9	-8	-7	-10	-12

Tabel 3. Resultaten van analyses van de fosfaatbeschikbaarheid (Pw en Pal) en de fosfaatvoorraad (Ptotaal), onderverdeeld naar grondgebruiksvorm.

	1989	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Pw										
bl. grasland gem.	36	32	26	32	31	33	31	25	28	33
% verandering		-11	-28	-12	-15	-8	-13	-32	-22	-9
huiskavel gem.	51	43	37	39	42	44	42	36	42	42
% verandering		-15	-27	-23	-19	-13	-17	-30	-17	-17
veldkavel gem.	57	51	45	43	43	49	43	39	52	50
% verandering		-11	-21	-24	-24	-13	-25	-32	-8	-11
Pal										
bl. grasland gem.	63	59	52	55	53	51	51	47	50	51
% verandering		-7	-18	-13	-15	-19	-19	-26	-20	-19
huiskavel gem.	70	65	61	62	62	58	63	55	60	61
% verandering		-7	-13	-12	-12	-18	-10	-22	-15	-14
veldkavel gem.	72	67	62	64	62	60	63	58	64	64
% verandering		-8	-15	-11	-14	-17	-13	-20	-12	-12
Ptotaal										
bl. grasland gem.	153	151	148	145	147	141	143	142	142	139
% verandering		-1	-3	-5	-3	-8	-6	-7	-7	-9
huiskavel gem.	160	159	161	155	159	155	156	156	152	147
% verandering		-1	+1	-3	-1	-3	-2	-2	-5	-8
veldkavel gem.	164	157	160	158	157	150	156	159	154	149
% verandering		-4	-3	-3	-4	-9	-5	-3	-6	-9

Tabel 4. Resultaten van analyses van de gehalten aan organische stof en totaal-stikstof en de C/N verhouding voor 51 blokken.

	1989	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Organische stof										
min. Waarde	3,0	3,2	3,3	3,2	3,1	3,2	3,1	3,0	2,9	3,0
mediaan	4,9	5,0	4,8	4,6	4,6	4,4	4,4	4,6	4,5	4,7
max. waarde	6,8	6,8	6,9	6,4	6,4	5,8	6,4	5,8	5,6	6,1
gem. waarde	4,8	4,9	4,8	4,6	4,7	4,4	4,5	4,5	4,5	4,7
st. afwijking	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
var. coëff.	0,17	0,16	0,17	0,16	0,15	0,15	0,16	0,15	0,15	0,14
Ntotaal										
min. waarde	97	99	100	114	115	108	90	106	109	107
mediaan	142	142	135	145	158	146	126	145	165	158
max. waarde	192	193	178	190	200	195	192	203	253	217
gem. waarde	142	144	138	149	157	147	132	147	167	157
st. afwijking	19	21	19	19	21	23	25	20	31	26
var. coëff.	0,14	0,14	0,13	0,13	0,14	0,16	0,19	0,14	0,18	0,17
C/N verhouding										
min. waarde	14,9	15,2	15,4	13,4	13,5	14,8	16,3	14,2	10,5	11,2
mediaan	20,1	20,1	20,0	18,1	17,2	17,4	19,8	17,9	16,1	17,8
max. waarde	22,1	23,2	25,2	20,4	19,9	22,1	22,8	21,3	19,7	23,7
gem. waarde	19,7	19,8	20,1	17,8	17,2	17,6	19,8	17,8	15,7	17,5
st. afwijking	1,6	1,7	1,9	1,4	1,2	1,9	1,7	1,6	2,2	2,6
var. coëff.	0,08	0,09	0,10	0,08	0,07	0,11	0,09	0,09	0,14	0,15

Tabel 5. Resultaten van analyses van de gehalten aan organische stof, totaal-stikstof en de C/N verhouding, onderverdeeld naar lagere (26 blokken) en hogere (25 blokken) waarden.

	1989	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Organische stof										
lagere gehalten	4,2	4,4	4,2	4,0	4,1	4,0	4,0	4,0	4,1	4,2
% verandering		+4	0	-4	-2	-6	-5	-4	-4	0
hogere gehalten	5,5	5,5	5,4	5,1	5,2	4,9	5,0	5,0	4,9	5,1
% verandering		+1	-1	-7	-5	-10	-8	-9	-10	-6
Ntotaal										
lagere gehalten	127	132	127	136	143	132	117	135	160	148
% verandering		+4	0	+7	+13	+4	-8	+7	+26	+16
hogere gehalten	157	157	151	161	171	162	148	158	179	197
% verandering		0	-4	+2	+9	+3	-6	+1	+14	+6
C/N verhouding										
lagere waarden	18,6	19,0	19,2	17,3	16,8	17,1	19,4	17,3	15,0	16,7
% verandering		+3	+3	-7	-9	-8	+5	-7	-19	-10
hogere waarden	20,9	20,6	21,0	18,2	17,6	18,2	20,2	18,3	16,3	18,4
% verandering		-1	+1	-13	-16	-13	-3	-12	-22	-12

Tabel 6. Resultaten van analyses van de gehalten aan organische stof en totaal-stikstof en van de C/N verhouding, onderverdeeld naar grondgebruiksvorm.

	1989	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Organische stof										
bl. grasland gem.	4,9	5,4	5,1	4,9	5,1	4,9	5,2	4,8	4,9	5,1
% verandering		+10	+3	-1	+3	0	+6	-2	0	+3
huiskavel gem.	5,0	5,0	4,9	4,7	4,8	4,5	4,5	4,6	4,6	4,8
% verandering		0	-1	-6	-4	-10	-9	-9	-8	-4
veldkavel gem.	4,6	4,9	4,7	4,5	4,4	4,2	4,2	4,2	4,3	4,4
% verandering		+5	+1	-3	-6	-8	-9	-8	-8	-4
Ntotaal										
bl. grasland gem.	148	155	153	160	174	162	156	163	188	184
% verandering		+5	+3	+8	+17	+9	+5	+10	+27	+24
huiskavel gem.	141	142	138	149	160	149	133	148	168	155
% verandering		+1	-2	+5	+13	+6	-6	+4	+19	+10
veldkavel gem.	143	142	137	148	146	133	128	140	165	148
% verandering		0	-4	+4	+2	-7	-11	-2	+16	+4
C/N verhouding										
bl. grasland gem.	19,8	19,9	19,9	18,1	17,6	18,2	18,2	17,9	15,6	19,1
% verandering		+1	+1	-8	-11	-8	-8	-9	-21	-3
huiskavel gem.	20,1	20,3	20,5	18,0	17,2	17,6	20,2	17,9	16,0	17,1
% verandering		+1	+2	-11	-14	-13	0	-11	-20	-15
veldkavel gem.	18,9	19,6	19,7	17,6	17,2	18,0	19,3	17,7	15,2	17,7
% verandering		+4	+4	-7	-9	-4	+3	-6	-19	-5

Tabel 9. Resultaten van analyses van de zuurgraad (pH-KCl), de kaliumbeschikbaarheid (K-HCl) en het gehalte aan magnesium (MgO), onderverdeeld naar grondgebruiksvorm.

	1989	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
pH-KCl										
bl. grasland gem.	5,0	5,0	5,2	5,0	5,1	5,2	5,2	5,1	5,1	5,1
% verandering		-1	+3	-1	+1	+3	+3	+1	+1	+1
huiskavel gem.	5,2	5,2	5,4	5,2	5,3	5,2	5,3	5,2	5,2	5,1
% verandering		+1	+3	-1	+2	+1	+2	0	0	-1
veldkavel gem.	5,3	5,0	5,0	5,1	5,1	5,1	5,4	5,2	5,2	5,2
% verandering		-7	-5	-5	-5	-4	0	-3	-3	-3
K-HCl										
bl. grasland gem.	8	12	12	12	13	10	12	9	7	9
% verandering		+44	+46	+47	+49	+17	+46	+3	-14	+2
huiskavel gem.	10	13	13	13	13	11	14	10	9	10
% verandering		+32	+36	+33	+26	+9	+42	-4	-8	-3
veldkavel gem.	11	11	11	12	10	10	12	9	9	9
% verandering		-8	-7	+7	-11	-12	+2	-23	-18	-23
MgO										
bl. grasland gem.	126	145								
% verandering		+15								
huiskavel gem.	137	155								
% verandering		+12								
veldkavel gem.	145	137								
% verandering		-6								

Tabel 10. Gemiddelde waarden en statistische analyse van veranderingen van bodemvruchtbaarheids-indicatoren voor 51 blokken in de periode van 1989/90 tot 1997/98.

	1989	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Pw	57 ^a	49 ^b	42 ^c	44 ^{cd}	44 ^{de}	48 ^b	45 ^{de}	38 ^f	46 ^{de}	47 ^{be}
Pal	75 ^a	69 ^b	64 ^{cd}	65 ^c	65 ^c	61 ^e	65 ^c	57 ^f	63 ^e	63 ^{de}
Ptotaal	169 ^a	165 ^{ab}	166 ^a	162 ^{bcd}	164 ^{bc}	160 ^c	161 ^c	162 ^c	158 ^d	152 ^e
% org. stof	4,8 ^{ab}	4,9 ^a	4,8 ^b	4,6 ^c	4,7 ^{de}	4,4 ^f	4,5 ^f	4,5 ^{df}	4,5 ^{df}	4,7 ^{de}
Ntotaal	142 ^a	144 ^a	138 ^b	149 ^c	157 ^d	147 ^{ac}	132 ^e	147 ^{ac}	167 ^d	157 ^{cd}
pH-KCl	5,2 ^{acdefg}	5,1 ^{bdefg}	5,3 ^a	5,1 ^{bdefg}	5,2 ^{bcefg}	5,2 ^d	5,3 ^{abcd}	5,2 ^e	5,2 ^f	5,1 ^g
K-HCl	11 ^a	13 ^b	13 ^{bc}	12 ^{bcd}	12 ^{acd}	10 ^{ae}	11 ^{ad}	9 ^{ef}	9 ^{ef}	9 ^f
MgO	133 ^a	148 ^b	-	-	-	-	-	-	-	-

Bij ontbreken van eenzelfde letter verschillen de gemiddelde waarden significant ($p < 0,05$).

Tabel 11. Statistische analyse van trendmatige veranderingen van bodemvruchtbaarheidsindicatoren in de periode van 1989 tot 2002.

	Aantal blokken	Regressiewaarde 1989/90	Jaarlijkse verandering	Significantie	R ²
Pw	51	52,2	-0,8	P < 0,05	0,38
Laag	26	31,5	-0,2	-	0,09
Hoog	25	74,7	-1,5	P < 0,025	0,49
Pal	51	73,0	-1,0	P < 0,01	0,68
Laag	26	54,1	-0,6	P < 0,01	0,55
Hoog	25	92,2	-1,5	P < 0,01	0,78
Ptotaal	51	171	-1,1	P < 0,01	0,77
Laag	26	139	-0,5	P < 0,05	0,37
Hoog	25	206	-1,7	P < 0,01	0,86
% org. stof	51	4,9	-0,03	P < 0,05	0,39
Laag	26	4,2	-0,02	-	0,20
Hoog	25	5,5	-0,05	P < 0,01	0,57
Ntotaal	51	138	+1,2	-	0,22
Laag	26	123	+1,6	-	0,26
Hoog	25	153	+1,0	-	0,17
PHKCl	51	5,2	-0,00	-	0,00
Laag	26	4,9	+0,02	P < 0,025	0,47
Hoog	25	5,5	-0,02	P < 0,01	0,57
K-HCl	51	13,1	-0,27	P < 0,025	0,42
Laag	26	10,5	-0,03	-	0,00
Hoog	25	15,1	-0,39	P < 0,025	0,48
MgO *	51	133	+3	P < 0,01	-
Laag	26	103	+4	P < 0,01	-
Hoog	25	161	+2	P < 0,025	-

*: MgO is alleen bepaald in 1989 en in 1994, de stijging was steeds significant.

Wat is De Marke?

Praktijkcentrum De Marke onderzoekt sinds 1992 hoe melkveehouders het milieu kunnen beschermen en ruimte kunnen geven aan natuur. Beheersing van mineralenverliezen en vermindering van het gebruik van milieubelastende stoffen staan centraal. De Marke staat voor samen. Het bedrijf ontleent zijn naam aan een rechtsvorm voor beheer van gemeenschappelijke gronden in de regio.

Project De Marke wordt uitgevoerd door



ANIMAL SCIENCES GROUP
WAGENINGEN UR

Praktijkonderzoek

Postbus 2176, 8203 AD Lelystad - Tel: (0320) 29 32 11



PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN UR

Plant Research International

Postbus 16, 6700 AA Wageningen - Tel: (0317) 47 70 01



Centrum voor Landbouw en Milieu

Centrum voor Landbouw en Milieu

Postbus 10015, 3505 AA Utrecht - Tel: (030) 244 13 01

Projectleiding en secretariaat

ASG, divisie Praktijkonderzoek
Postbus 2176, 8203 AD Lelystad
Telefoon 0320 - 293 211
Fax 0320 - 241 584
E-mail info.po.asg@wur.nl
Internet www.asg.wur.nl/po

Bestellen

ISSN 0169-3689
Eerste druk 2004/oplage 180
Prijs € 17,50 incl. BTW
Losse nummers zijn schriftelijk, telefonisch,
per E-mail of via de website te bestellen bij het
secretariaat.

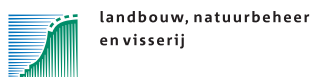
Aansprakelijkheid

De auteurs aanvaarden geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

© Project De Marke

Het is verboden zonder schriftelijke toestemming van de uitgever deze uitgave of delen van deze uitgave te kopiëren, te vermenigvuldigen, digitaal om te zetten of op een andere wijze beschikbaar te stellen.

Financiers



landbouw, natuurbeheer
en visserij



Ministerie van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer