

## 4. De stikstofhuishouding van bodem en gewas en de invloed daarvan op het nitraatgehalte van het grondwater van 'De Marke'

*H.F.M. Aarts, J.G. Conijn & W.J. Corré (Plant Research International)*

### 4.1 Inleiding

Hoewel de zandgronden in het midden, oosten en zuiden van Nederland vooral worden gebruikt voor de melkveehouderij zijn ze ook belangrijk voor de winning van grondwater (voor drinkwater), voor natuur en voor recreatie. Deze functies stellen eisen aan de beschikbaarheid van water van goede kwaliteit. Daarom is het belangrijk om het waterverbruik en de nitraatuitspoeling te beperken. De bedrijfsoppervlakte in de zandgebieden is in de regel gering, gemiddeld 28 ha. Op 25% van de cultuurgrond wordt maïs geteeld, de rest is grasland. De jaarlijkse melkproductie is gemiddeld 12.400 kg ha<sup>-1</sup>, ongeveer 500 kg ha<sup>-1</sup> meer dan landelijk.

Sinds het midden van de jaren tachtig wordt algemeen geaccepteerd dat een 'gebruikelijke' bedrijfsvoering tot milieuproblemen leidt. Een groot deel van de stikstof die als dierlijke mest of kunstmest op het land wordt gebracht verdwijnt in het milieu, onder meer door uitspoeling in de vorm van nitraat. De geringere grondwateraanvulling als gevolg van hogere gewasproducties (zwaardere bemesting) en de grondwateronttrekking voor beregening veroorzaken lagere grondwaterstanden en schade aan kwelafhankelijke natuurgebieden. Door het anti-verdrogingsbeleid van de overheid ontstond een tekort aan grondwater voor drinkwaterbereiding, zodat meer oppervlaktewater moet worden gebruikt, met extra kosten voor zuivering.

Om de milieuprestaties drastisch te verbeteren zal een melkveebedrijf a) moeten extensiveren, door grond aan te kopen of melkquotum te verkopen, b) dierlijke mest moeten afvoeren of c) mest, voer en water veel efficiënter moeten gaan benutten. Het beleid van de Europese Unie (Henkens, 2001) is gericht op de eerste twee opties, door in de 'Nitraatrichtlijn' een maximum te stellen aan het gebruik van N in dierlijke mest (170 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>, inclusief 'weidemest', de excretie tijdens beweiding). Ze zijn voor een Nederlandse veehouder economisch weinig aantrekkelijk, omdat grond duur is en de kosten van mestafzet hoog. Het project 'De Marke' heeft zich sinds 1987 gericht op de laatste optie: het verbeteren van de benutting van meststoffen, water en voer door verbeterd management. Een belangrijk element van het project is een proefbedrijf op droogtegevoelige zandgrond, met een bedrijfssysteem dat moet voldoen aan stringente milieunormen. Dat houdt onder andere in dat het bovenste grondwater niet meer dan 50 mg nitraat per liter mag bevatten. Hilhorst & Oenema (2001) behandelen doelen en bedrijfsvoering op hoofdlijnen. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de stikstofstromen van het bodem/gewassysteem van het bedrijf, in relatie tot de kwaliteit van het grondwater. De betekenis van de resultaten voor de verdere ontwikkeling van het proefbedrijf worden besproken.

### 4.2 Opzet bodem/gewassysteem

Proefbedrijf 'De Marke' is zodanig opgezet dat zo weinig mogelijk voer nodig is om het quotum van 12.000 kg ha<sup>-1</sup> vol te melken, waarbij in de voederbehoefte zo veel mogelijk wordt voorzien door gewassen die op het bedrijf zelf worden geteeld. Bij de keuze van gewassen wordt rekening gehouden met de behoeften aan meststoffen en water. Bij de teelt wordt de aankoop van (kunst)mest zoveel mogelijk vermeden door een zo goed mogelijke benutting van de dierlijke mest van de eigen veestapel

en relatief lage bemestingsniveaus (Aarts *et al.*, 1999a). De uitwerking van deze strategie leidt tot een aantal kenmerkende verschillen met hedendaagse gangbare bedrijven op zandgrond met een vergelijkbaar melkquotum (Tabel 4.1).

Tabel 4.1. Kenmerken bodem/gewassysteem van proefbedrijf 'De Marke' (gemiddelde periode 1993-1998; Hilhorst & Oenema, 2001) en van een gangbaar bedrijf met dezelfde melkproductie per ha (1994-1997; Aarts, 2000).

	'De Marke'	Gangbaar
Koeien ha <sup>-1</sup>	1,4	1,6
Jongvee ha <sup>-1</sup>	1,0	1,5
Weideseizoen	1 mei – 1 okt.	1 mei – 1 nov.
Weidegang melkvee (uren per dag)	8	14
Areaal gras – areaal maïs (% totaal)	55 – 45	75 - 25
(Her)inzaai grasland	voorjaar/zomer	herfst
Periode uitrijden mest	1 mrt. – 15 aug.	1 febr. – 1 sept.
Afwisseling bouwland en grasland	ja	nee
Vanggewas, geteeld in maïsstoppel	ja	nee

Proefbedrijf 'De Marke' teelt relatief veel maïs. Maïs heeft een geringe behoefte aan meststoffen en (beregenings)water. Bovendien kan maïs in het rantsoen het hoge eiwitgehalte van gras compenseren en daarmee de uitscheiding van N in mest beperken. Tussen de rijen maïs wordt Italiaans raaigras gezaaid. Dat gebeurt in juni tegelijk met de laatste mechanische onkruidbestrijding. Het gras moet voorkómen dat het nitraat dat niet door de maïs is opgenomen, of na de maïs oogst door afbraak van organische stof vrijkomt (mineralisatie), naar het grondwater spoelt.

De grond is verdeeld in blijvend grasland (11 ha) en twee rotaties van drie jaar gras, gevolgd door drie jaar (rotatie huiskavel, 30 ha) of vijf jaar maïs (rotatie veldkavel, 14 ha). Maïs wordt in wisselbouw met gras geteeld om het organische-stofgehalte van de bodem op peil te kunnen houden, waardoor een afname van de maïsopbrengsten door bodemgerelateerde problemen (waaronder de vochtvoorziening) vermeden wordt. De bemestingsniveaus, als som van drijfmest en kunstmest, zijn voor N gemiddeld 40% lager dan gangbaar. De bemesting is perceelsspecifiek en mede gericht op het realiseren van een nitraatgehalte in het bovenste grondwater van maximaal 50 mg l<sup>-1</sup>. Er wordt bij de bemesting niet alleen rekening gehouden met het soort gewas, maar ook met het vocht- en stikstofleverend vermogen van de bodem. Het eerste jaar wordt maïs niet bemest, omdat voldoende nutriënten vrijkomen uit de ondergeploegde graszode, de jaren daarna uitsluitend met drijfmest. Gemiddeld wordt op maïsland per ha 25 m<sup>3</sup> drijfmest uitgereden, op blijvend grasland 50 m<sup>3</sup> en op tijdelijk grasland 73 m<sup>3</sup> (1 m<sup>3</sup> mest bevat gemiddeld 3,54 kg N en 0,48 kg P). Grasland krijgt bovendien 126 kg N ha<sup>-1</sup> in de vorm van kunstmest. De periode waarin geen meststoffen worden uitgereden is langer dan gebruikelijk. Het blijvend grasland en de gewassen van de huiskavel worden alleen beregend als dat nodig is om te voorkomen dat gewassen door droogte afsterven, of om voldoende vers gras te kunnen produceren om in beperkte mate te kunnen blijven beweiden. De veldkavel, 25% van het areaal, wordt nooit beregend. (Her)inzaaien van grasland gebeurt in het voorjaar of de zomer om ervoor te zorgen dat er in de herfst en winter een gewas staat dat voldoende ontwikkeld is om vrijkomende minerale stikstof op te nemen.

De jaarlijkse melkproductie per koe (8.359 kg) is beduidend hoger dan op gangbare bedrijven (7.250 kg), waardoor het aantal koeien per ha kleiner is dan gebruikelijk. Het melkvee wordt alleen in de ochtend en avond geweid (siësta-systeem), waardoor de uitscheiding van urine en mest in het weiland sterk wordt beperkt. In de herfst wordt om dezelfde reden één maand eerder opgesteld. Door de zeer

hoge concentratie nitraat in urine- en mestplekken is de kans op verlies door denitrificatie en uitspoeling uit deze 'hot spots' bijzonder groot. Door minder te beweiden dan gebruikelijk, wordt bovendien een groter deel van de mest op stal uitgescheiden, waardoor meer bedrijfseigen mest kan worden uitgereden en minder kunstmest hoeft te worden aangekocht.

Uit berekeningen vooraf bleek dat een dergelijke bedrijfsopzet het N-overschot op de bodembalans gemiddeld zou kunnen beperken tot  $79 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  (Aarts *et al.*, 2000a; Biewinga *et al.*, 1992). Daarbij werd verondersteld dat de voorraad organische N in de bodem niet zou wijzigen. Van het overschot zou 47 kg verloren gaan door denitrificatie (waarvan 13 kg in urineplekken), zodat 32 kg het grondwater zou bereiken. Bij een neerslagoverschot (= grondwateraanvulling) van 300 mm, de gebruikelijke aanname voor grasland over een lange periode, zou het nitraatgehalte van het bovenste grondwater iets lager zijn dan  $50 \text{ mg l}^{-1}$  ( $34 \text{ kg N ha}^{-1}$  komt bij 300 mm neerslagoverschot overeen met  $50 \text{ mg nitraat l}^{-1}$ ).

## 4.3 N-huishouding bodem en gewas

### 4.3.1 De stikstofbalans van het bodem/gewassysteem

In Tabel 4.2 zijn de verwachte en gerealiseerde N-balansen weergegeven van het totale bodem/gewassysteem van 'De Marke'. Opvallend is dat de gemiddeld gerealiseerde aanvoer slechts  $12 \text{ kg ha}^{-1}$  (3%) hoger is dan de prognose. Er is wel veel meer organische mest ('stal'mest) uitgereden dan verwacht, maar deze extra bedrijfseigen aanvoer werd grotendeels gecompenseerd door minder binding van N door klaver. De stikstofopbrengst als oogstbaar gewas is duidelijk lager dan de prognose ( $38 \text{ kg ha}^{-1} = 14\%$ ), en veel lager dan de opbrengst van een gangbaar bedrijf. Dat laatste is het gevolg van een groter aandeel maïs en lagere bemestingsniveaus (10% lagere drogestofopbrengsten en 10% lagere N-gehalten in de drogestof; Aarts *et al.*, 2000a). Het overschot van 'De Marke' ( $128 \text{ kg ha}^{-1}$ ) is door de grotere aanvoer en lagere afvoer,  $49 \text{ kg}$  (48%) hoger dan verwacht. Het overschot op gangbare bedrijven was met  $337 \text{ kg ha}^{-1}$  veel hoger, met name door meer aanvoer van kunstmest en weidemest en door veel hogere maai- en beweidingsverliezen.

Hoe is de teleurstellende stikstofopbrengst van de gewassen van het bedrijf te verklaren? In de loop der jaren zijn voederbieten, als eerste gewas na de grasperiode, vervangen door maïs. De N-opbrengst van bieten (inclusief blad  $190 \text{ kg ha}^{-1}$ ) is gemiddeld ongeveer  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  hoger dan die van eerstejaars maïs, maar de bemesting is gelijk. De vervanging van 6 ha bieten door maïs heeft dus geleid tot een lagere N-afvoer ( $-4,5 \text{ kg ha}^{-1}$  op bedrijfsniveau) en dus indirect tot een hoger N-overschot. Een belangrijker oorzaak is echter het vaak voorkomen van droge periodes in de groeiseizoenen in het midden van de jaren negentig, waardoor regelmatig droogteschade optrad. De gewasopbrengsten op de lichte zandgrond van 'De Marke' blijken vooral te worden bepaald door de hoeveelheid neerslag en de verdeling ervan over het groeiseizoen (Habekotté *et al.*, 1999). In de meeste jaren werd de opbrengst meer beperkt door de beschikbare hoeveelheid vocht dan door het bemestingsniveau. Uit experimenteel onderzoek op andere locaties blijkt dat in relatief neerslagrijke zomers de N-opbrengst van grasland op lichte zandgrond 15% ( $43 \text{ kg ha}^{-1}$ ) hoger is dan in relatief droge zomers, bij bemestingsniveaus als die van 'De Marke' (Aarts, 2000). Omdat bij de prognoses van 'De Marke' is uitgegaan van 'gemiddeld' weer zal de grasopbrengst door de relatief droge zomers ruwweg  $20 \text{ kg N ha}^{-1}$  minder hebben bedragen. Wellicht is bij de prognose ook te weinig rekening gehouden met droogteschade, in de zin dat door een droogteperiode het gewas zodanige schade kan oplopen dat de groei ook bij voldoende vocht daarna geremd blijft.

Tabel 4.2. Stikstofbalans bodem/gewassysteem ( $\text{kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ ) van 'De Marke' als geheel, gemiddeld over de periode 1993-1998 (naar Hilhorst & Oenema, 2001) en van een gangbaar bedrijf met een gelijke melkproductie per ha (1994-1997; Aarts, 2000).

	'De Marke'			Gangbaar
	prognose	gemiddeld gerealiseerd	spreiding	
<b>Aanvoer naar bodem:</b>				
- weidemest <sup>1</sup>	51	48	35-59	114
- 'stal'mest <sup>1</sup>	137	177	154-182	206 <sup>4</sup>
- kunstmest	67	70	52-96	242
- depositie <sup>2</sup>	49	49		49
- maai- en beweidingsverliezen	21	17	14-20	112
- klaver	30	6	3-12	0
<i>Som</i>	<i>355</i>	<i>367</i>	<i>316-454</i>	<i>723</i>
<b>Afvoer van bodem:</b>				
- bruto gewas	276	238	216-275	386
Overschot bodem <sup>3</sup>	79	128	86-184	337

<sup>1</sup> Na vervluchtiging van ammoniak; uit urine en faeces gaat op 'De Marke' in totaal  $20 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  als ammoniak verloren

<sup>2</sup> Niet gemeten, aanname op basis van literatuurgegevens

<sup>3</sup> Aanvoer – afvoer = ophoping, denitrificatie en uitspoeling

<sup>4</sup> Waarvan 45 kg aanvoer van andere bedrijven

#### 4.3.2 De stikstofbalans van onderdelen van het bodem/gewassysteem

In Tabel 4.2 is de N-balans gegeven voor het bodem/gewassysteem als geheel, maar het is aannemelijk dat er binnen het systeem verschillen bestaan als gevolg van verschillen in bodemgebruik. Daarom is in Tabel 4.3 het overschot gegeven van de afzonderlijke kavels (blijvend grasland, de huiskavel met een rotatie van 3 jaar gras en 3 jaar maïs, en de veldkavel met een rotatie van 3 jaar gras en 5 jaar maïs) en van de afzonderlijke gewassen, naar hun plaats in de rotatie (Conijn, 2000). Het gemiddelde overschot in Tabel 4.3 is hoger dan het overschot in Tabel 4.2, omdat de waarden niet gecorrigeerd zijn voor ammoniakvervluchtiging uit de dierlijke mest. Duidelijk is dat blijvend grasland een lager overschot heeft dan tijdelijk grasland (eerste- tot derdejaars gras in Tabel 4.3). Dat komt omdat tijdelijk grasland bij de bemesting het eerste jaar een toeslag krijgt voor zodevorming ( $70 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) en omdat er op tijdelijk grasland meer drijfmest wordt uitgereden (lagere werkingscoëfficiënt dan kunstmest). Gemiddeld ontvangt tijdelijk grasland  $53 \text{ kg N ha}^{-1}$  meer aan meststof dan blijvend grasland. De stikstofopbrengst van tijdelijk grasland is 2% hoger ( $6 \text{ kg ha}^{-1}$ ) dan die van blijvend grasland, de drogestofopbrengst 6% ( $518 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

Na scheuren van tijdelijk grasland wordt bij de bemesting van maïs rekening gehouden met het vrijkomen van N uit de ondergewerkte graszode. Gerekend over de hele bouwlandfase wordt  $200 \text{ kg}$  werkzame stikstof minder toegediend dan bij continueelt van maïs gebeurd zou zijn (som van de veronderstelde nawerking van grasland over de hele bouwlandperiode). Gerekend over een wisselbouwsysteem van 3 jaar gras en 3 jaar maïs wordt  $41 \text{ kg N ha}^{-1}$  minder bemest (200- 3x53) bij een hogere N-opbrengst. Duidelijk is dat het overschot van maïspcelen hoger is naarmate de graslandperiode langer voorbij is, omdat meer moet worden bemest (nawerking graszode neemt af) maar ook omdat de opbrengsten dalen. Als maïs direct na grasland wordt geteeld is het overschot zelfs negatief door het

achterwege laten van bemesting en een uitzonderlijk hoge N-opbrengst. Maïs heeft echter ook aan het einde van de bouwlandfase nog een veel lager overschot dan gras.

Gemiddeld over een complete vruchtwisseling, hebben percelen van de huiskavel en de veldkavel met een wisselbouwsysteem een veel lager N-overschot dan blijvend grasland. Het overschot van de huiskavel is jaarlijks gemiddeld per ha 46 kg lager, dat van de veldkavel zelfs 91 kg. De verschillen kunnen voor een belangrijk deel verklaard worden door verschillen in hoeveelheden weidemest (tijdens de bouwlandfase vindt geen beweiding plaats), waarvan de N slecht wordt benut. De benutting van N in de wisselbouwsituaties en bij continu gras zijn vrijwel gelijk (afvoer/aanvoer = 60-65%). Bij blijvend grasland is de aanvoer veel groter, waardoor de niet benutte hoeveelheid ook veel groter is.

Tabel 4.3. Het stikstofoverschot ( $\text{kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ ), opgesplitst naar kavels en gewassen.

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	93/98
Blijvend grasland	120	219	213	193	190	213	193
Huiskavel	127	197	151	94	153	145	146
Veldkavel	24	167	94	104	88	132	102
Gras, 1 <sup>e</sup> jaar	248	284	256	318	294	236	271
Gras, 2 <sup>e</sup> jaar	210	275	213	216	283	232	239
Gras, 3 <sup>e</sup> jaar	163	296	184	206	249	261	221
Maïs, 1 <sup>e</sup> jaar	-87 <sup>1</sup>	-109 <sup>1</sup>	34 <sup>1</sup>	-65	-15	-30	-43
Maïs, 2 <sup>e</sup> jaar	8	35	17	14	45	54	32
Maïs, >2 <sup>e</sup> jaar	-13	145	70	29	88	72	66

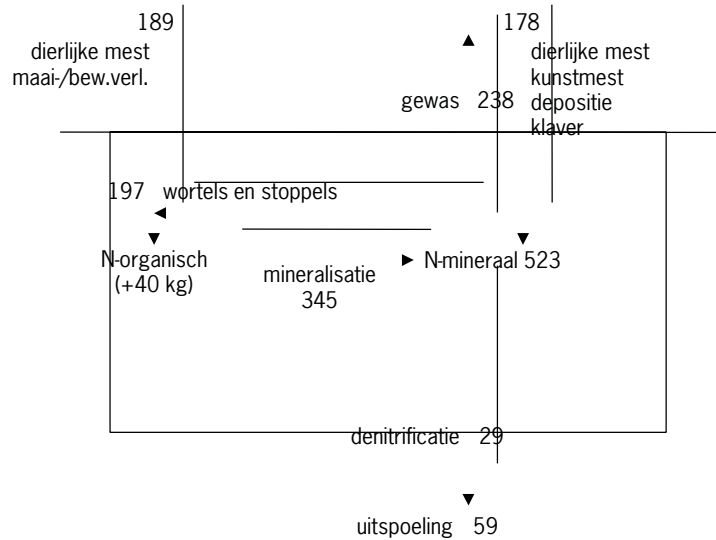
<sup>1</sup> Slechts één perceel.

In dit verband zijn de resultaten van onderzoek van de Universiteit van Gent interessant (Nevens & Reheul, 2001). Sinds 1967 worden continueelt en wisselbouw van maïs en gras op een zandgrond met elkaar vergeleken. In de wisselbouwsituatie werd dezelfde drogestofopbrengst verkregen bij een bemesting die gemiddeld jaarlijks 43 kg N ha<sup>-1</sup> lager was dan bij continueelt van gras of maïs. Beter functionerende wortelstelsels in een wisselbouwsituatie, waardoor minerale stikstof gemakkelijker wordt opgenomen, worden als meest aannemelijke verklaring gegeven. De wisselbouwmaïs is mogelijk ook om die reden minder gevoelig voor stress-situaties (waaronder droogte) en gemiddeld van betere kwaliteit (meer kolf). Visuele waarnemingen wijzen uit dat de vitaliteit van maïs van 'De Marke' afneemt naarmate de bouwlandfase vordert (Hilhorst, 'De Marke', pers. med.). Het blijvend grasland van 'De Marke' is gevoeliger voor droogte dan tijdelijk grasland, en moet ongeveer één keer in de zes jaar opnieuw worden ingezaaid omdat de zodekwaliteit dan te sterk is afgenomen. Ook dat wijst op bodemgerelateerde problemen, waaronder beperkingen voor diepere beworteling. In de tijd dat tekortkomingen van de bodem nog niet door bemesten en beregenen konden worden gecorrigeerd, was vruchtwisseling een belangrijk element in de bedrijfsvoering op droge zandgrond (Crijns, 1954). Vruchtwisseling kan daarom aan betekenis winnen als het gebruik van meststoffen en water moet worden beperkt.

### 4.3.3 Bodemprocessen

De voorraad organische N in de bodem van 'De Marke' (ongeveer 6000 kg ha<sup>-1</sup>) is niet stabiel. Door mineralisatie wordt continu een deel omgezet in minerale stikstof. Voor mineralisatie is het nodig dat de grond vochtig is en voldoende zuurstof bevat, er moeten afbreekbare organische verbindingen

aanwezig zijn (vooral jong organisch materiaal is gemakkelijk afbreekbaar) en de temperatuur mag niet te laag zijn. De bodemvoorraad organische N wordt weer aangevuld door oogst- en beweidingsverliezen en door dierlijke mest (gemiddeld 189 kg N ha<sup>-1</sup>, Figuur 4.1), en door afgestorven stoppels en wortels (gemiddeld 197 kg N ha<sup>-1</sup>). Bij grasland is die aanvulling veel groter dan bij maïsland.



Figuur 4.1. Stikstofstromen, gemiddeld over alle percelen van het bodem/gewassysteem (kg N ha<sup>-1</sup>).

Resultaten van bodemanalyses geven aan dat in de periode 1989-1997 de voorraad jaarlijks per saldo met gemiddeld 40 kg N ha<sup>-1</sup> is toegenomen (Aarts, 2000). De toename van de voorraad op blijvend grasland was ongeveer 10 kg hoger dan die op de huis- en veldkavel. Het N-verlies uit de bodem was daardoor in werkelijkheid geen 128 kg (overschot in Tabel 4.2) maar 128-40 = 88 kg ha<sup>-1</sup>.

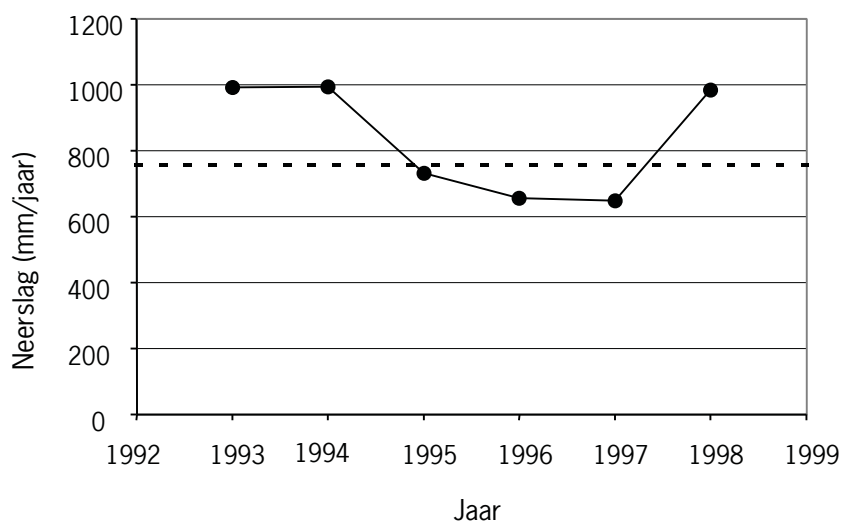
Uit metingen, die vanaf 1992 op 6 plekken continu worden uitgevoerd, blijkt dat er in de periode 1992-1998 jaarlijks gemiddeld 345 kg N ha<sup>-1</sup> gemineraliseerd is, met 120 kg en 750 kg als uiterste waarden voor individuele percelen (Corré, 2000). Aangetekend moet worden dat de onzekerheden rond de gemeten waarden groot zijn als gevolg van de complexiteit van bemonstering en heterogeniteit binnen percelen. Mineralisatie zorgt voor een aanzienlijke hoeveelheid minerale stikstof. De bijdrage is zelfs groter dan de gezamenlijke bijdrage van bemesting, N-binding door klaver en depositie (178 kg N ha<sup>-1</sup>). De hoeveelheid gemineraliseerde N van een perceel in een specifiek jaar blijkt sterk afhankelijk van de plaats in de rotatie (Tabel 4.4).

Tabel 4.4. Mineralisatie, ingedeeld naar gewas (kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>, n = aantal waarnemingen).

	N	Gem.	Standaardafwijking
Blijvend grasland	11	414	143
Gras, 1 <sup>e</sup> jaar	4	356	160
Gras, 2 <sup>e</sup> jaar	4	497	66
Gras, 3 <sup>e</sup> jaar	2	626	177
Voedergewas, 1 <sup>e</sup> jaar	4	372	42
Voedergewas, 2 <sup>e</sup> jaar	4	242	98
Voedergewas > 2 <sup>e</sup> jaar	9	158	36

Mineralisatie is een grillig verlopend proces, waardoor minerale N onregelmatig beschikbaar komt. Deze N kan opgenomen worden door het gewas, maar kan ook verloren gaan door uitspoeling of denitrificatie. Binnen het groeiseizoen is de kans op verlies gering: gunstige omstandigheden voor mineralisatie zijn in de regel ook gunstige omstandigheden voor opname, tenminste als een goed ontwikkeld gewas aanwezig is. Ook buiten het groeiseizoen lijken grasland (na vroeg stoppen met bemesting) en onbemest Italiaans raaigras (na maïs) voldoende in staat de gemineraliseerde stikstof op te nemen. Uit onderzoek op 'De Marke' bleek dat de in de herfst en (zachte) winter in maïsland gemineraliseerde N in maart vrijwel volledig terug te vinden was in de boven- en ondergrondse delen van het Italiaanse raaigras (Aarts, 1994).

Ondanks de relatief droge zomers was de jaarlijkse neerslag 78 mm hoger dan het gemiddelde over 30 jaar (758 mm), zoals blijkt uit Figuur 4.2. Het waterverbruik door de gewassen bleek gemiddeld 361 mm  $\text{jr}^{-1}$  te bedragen, 55 mm minder dan op gangbare bedrijven. Daardoor was het neerslagoverschot 475 mm  $\text{jr}^{-1}$  (Aarts, 2000; Aarts *et al.*, 2000b), en dat is veel meer dan de oorspronkelijke 'standaard' aanname van 300 mm. Bij een gemeten gemiddelde nitraatconcentratie van 55 mg per liter (waarover meer in Sectie 4.4) komt dit overeen met een gemiddelde nitraatuitspoeling van 59 kg  $\text{ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ .



Figuur 4.2. De jaarlijkse hoeveelheden neerslag, gemeten op proefbedrijf 'De Marke' gedurende de periode 1993–1998. De stippellijn heeft betrekking op de gemiddelde hoeveelheid neerslag, over 30 jaren, van het KNMI-weerstation te Doetinchem (= 758 mm  $\text{jr}^{-1}$ ).

In situaties met een lage zuurstofspanning ('anaëroob') kan nitraat worden gedenitrificeerd tot  $\text{N}_2$  en  $\text{N}_2\text{O}$  mits gemakkelijk afbrekbare koolstofverbindingen aanwezig zijn en de temperatuur voldoende hoog is. De oorspronkelijke aanname was dat door denitrificatie 47 kg N  $\text{ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$  verloren zou gaan. Op basis van het eerder genoemde overschot van 128 kg N  $\text{ha}^{-1}$ , een accumulatie van 40 kg en een uitspoeling in de vorm van nitraat van 59 kg kan berekend worden dat de denitrificatie ongeveer 29 kg moet hebben bedragen (Tabel 4.5), 18 kg minder dan oorspronkelijk werd aangenomen.

Tabel 4.5. *Het meest waarschijnlijke lot van het overschot op de stikstofbalans van het bodem-gewas/systeem van 'De Marke' (kg N ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>, 1993-1998).*

	Prognose	Gerealiseerd
Overschot N-balans bodem/gewassysteem	79	128
Accumulatie als organische N	0	40
Denitrificatie tot N <sub>2</sub> en N <sub>2</sub> O	47	29
Uitspoeling als nitraat	32	59

Het is aannemelijk dat de denitrificatie onder grasland hoger is dan onder bouwland. Door het zwaarder bemesten en de sterkere mineralisatie is veel meer minerale stikstof in omloop; door de intensieve beworteling en dichte bodem kunnen gemakkelijker zuurstofloze situaties ontstaan en er zijn volop gemakkelijk afbreekbare koolstofverbindingen aanwezig. Voor het verlies aan N door denitrificatie kan worden aangenomen dat de denitrificatie in grasland ruwweg het dubbele is van die in bouwland (Lippold *et al.*, 1981). Voor 'De Marke' betekent dat een verlies van 38 kg N ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> in grasland en 19 kg in bouwland. Metingen wijzen weliswaar op lagere waarden voor grasland van 'De Marke' (gemiddeld iets minder dan 25 kg N ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> in de bovenste 20 cm; Corré, 2000) maar ook in diepere lagen zal denitrificatie plaatsvinden en bekend is dat methodologische problemen bij de metingen tot onderschatting kunnen leiden.

#### 4.4 Nitraat in het bovenste grondwater

Elk najaar wordt het bovenste grondwater van 'De Marke' door het RIVM bemonsterd op een groot aantal vaste plekken (Boumans & Fraters, 1995). Het verloop van de nitraatgehalten in het grondwater is weergegeven in Tabel 4.6.

Tabel 4.6. *Nitraatgehalten (mg l<sup>-1</sup>) in het bovenste grondwater van de percelen van 'De Marke' die sinds 1989 in gebruik zijn. Het bedrijfsgemiddelde is het gemiddelde van deze percelen.*

	1990	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Blijvend grasland	159	80	50	43	60	52	96	43	66
Huiskavel	220	117	43	46	54	36	49	93	70
Veldkavel	181	104	53	35	35	20	47	97	50
Bedrijf gemiddeld	199	107	47	43	51	35	57	83	64

Opvallend is de snelle afname tussen 1990 en 1993. De verwachting was dat het veel langer zou duren voordat voldaan zou kunnen worden aan de nitraatnorm (50 mg l<sup>-1</sup>) omdat in de periode voor stichting van 'De Marke' grote hoeveelheden dierlijke mest werden gebruikt en verwacht werd dat daaruit nog aanzienlijke hoeveelheden nitraat langzaam zouden vrijkomen (Oenema *et al.*, 1998). Tussen 1993 en 1996 bleven de nitraatgehalten vrij constant. In 1997 is het bedrijfsgemiddelde weer tot iets en in 1998 tot vrij ver boven de norm gestegen. Het laatste jaar namen de gehalten weer af.

Vanaf 1993 functioneert het bedrijf volgens plan. Tot 1992 was er geen veestapel aanwezig (er werd dus ook niet beweid) en werden geen organische meststoffen gebruikt. In 1992 was de veestapel nog incompleet. In vrijwel alle jaren na 1993 heeft de veldkavel het laagste nitraatgehalte. Gemiddeld over de periode 1993-1999 was het bedrijfsgemiddelde 55 mg l<sup>-1</sup>.



Bestaan er heldere verbanden tussen enerzijds gewassoort en plek in de vruchtwisseling en anderzijds het in hetzelfde jaar gemeten nitraatgehalte? Uit Tabel 4.7 blijkt dat in ieder geval niet. De bovenste meter grondwater weerspiegelt weliswaar gemiddeld één jaar uitspoeling, maar het neerslagoverschot kan per jaar aanzienlijk verschillen (Boumans *et al.*, 2001). Vaak is bij de bemonstering in oktober of november de minerale stikstof in de bouwvoor nog niet uitgespoeld of nog onderweg naar het grondwater, dat zich tijdens de bemonstering op gemiddeld 2,1 m diepte bevond. In dat geval is er een betere relatie met het gewas van het voorgaande jaar (Conijn, 2000). Opvallend is dat het grondwater onder tijdelijk grasland in de regel minder nitraat bevat naarmate de leeftijd van het grasland toeneemt. Bij maïs lijkt het omgekeerde het geval: naarmate langer maïs wordt geteeld is het nitraatgehalte van het grondwater hoger. In een wisselbouwsituatie vertoont het nitraatgehalte daardoor een golfpatroon. In de periode 1993-1998 was het gehalte onder maïs 65 mg l<sup>-1</sup>, dat onder tijdelijk grasland met 41 mg l<sup>-1</sup> significant lager.

Tabel 4.7. De gemiddelde nitraatconcentraties (mg l<sup>-1</sup>) onder de gewassen, gemeten in de herfst. Afwijkingen van Tabel 4.6 kunnen het gevolg zijn van het feit dat in deze tabel alle percelen in de berekeningen zijn meegenomen.

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	93/98
Blijvend grasland	50	43	55	42	84	41	53
Gras, 1 <sup>e</sup> jaar	84	65	61	43	62	127	76
Gras, 2 <sup>e</sup> jaar	20	66	54	16	61	28	43
Gras, 3 <sup>e</sup> jaar	28	28	45	28	27	36	33
Maïs, 1 <sup>e</sup> jaar	177 <sup>1</sup>	30 <sup>1</sup>	9 <sup>1</sup>	24	16	132	47
Maïs, 2 <sup>e</sup> jaar	75	43	40	13	67	139	67
Maïs, >2 <sup>e</sup> jaar	51	39	56	30	72	115	63

<sup>1</sup> Slechts één perceel.

Het jaar 1998 is uitzonderlijk. Toen werden soms extreem hoge gemiddelde nitraatconcentraties vastgesteld. De groepen met de hoge nitraatconcentraties (1<sup>e</sup> jaar gras en maïs) hebben als gemeenschappelijk kenmerk dat ze in dat voorjaar zijn ingezaaid (Conijn, 2000). Het vroege voorjaar van 1998 was relatief warm, waardoor al vroeg in het seizoen minerale stikstof vrij kwam door mineralisatie. Die vroege beschikbaarheid van minerale stikstof werd bij 1<sup>e</sup> jaar grasland nog versterkt door de relatief vroege toediening van drijfmest ten opzichte van de datum van inzaai (verschil in datum drijfmestgift en grasinzaai: 17-27 dagen). Door overvloedige regenval kon er na bemesting niet meteen worden ingezaaid. Het vroege voorjaar was ook natter dan gemiddeld (70 mm boven het gemiddelde gedurende maart en april), waardoor er vermoedelijk veel minerale stikstof uit de bouwvoor is gespoeld. Deze stikstof en de stikstof uit drijfmest die kort voor het zaaien aan maïs is toegediend, is waarschijnlijk in de vroege zomer en in de herfst verder uitgespoeld richting grondwater (in juni, 100 mm meer neerslag dan gemiddeld en in september/oktober 250 mm meer). De lage stikstofgehalten van de maïs, bij de oogst, wijzen ook op uitspoeling van minerale stikstof. Ook blijvend grasland heeft te maken gehad met deze weersomstandigheden, maar dit gewas kent geen fase van braak in het voorjaar of van geringe opnamecapaciteit door een nog beperkt wortelstelsel. Bovendien is de stikstofgift meer gespreid. Nitraatconcentraties onder graslandpercelen vertonen daardoor mogelijk minder fluctuaties dan die onder bouwlandpercelen.

Er is een poging gedaan om met behulp van multiplere= lineaire regressie-analyse de verschillen tussen nitraatconcentraties van het bovenste grondwater onder percelen te verklaren vanuit verschillen in bodem, beheer en weer (Conijn, 2000). De nitraatconcentraties bleken niet of nauwelijks gecorreleerd te zijn met de stikstofbalanstermen genoemd in Tabel 4.2. Een belangrijke verklaring voor de geringe correlatie kan gevonden worden bij het management van het bedrijf dat gericht is op voorkómen van

uitschieters in het nitraatgehalte. Het beheer van 'De Marke' heeft een nivellerende werking: potentiële verschillen in hoeveelheden 'verliesbare' stikstof, tussen percelen en teelten, worden teruggebracht door gericht management. Een tweede verklaring voor de afwezigheid van heldere verbanden ligt bij de mineralisatie. Die vertegenwoordigt een grote stroom minerale stikstof en is niet voldoende nauwkeurig vast te stellen. Daardoor kunnen de effecten van andere stikstofstromen gemakkelijk worden overschaduwd. Bij bouwland kon een aanzienlijk deel (62%) van de variatie in nitraatconcentraties wel verklaard worden door aan het weer gerelateerde variabelen, zoals neerslag en temperatuur. Bij grasland speelden deze variabelen echter geen verklarende rol van betekenis.

## 4.5 Optimaliseren van het bodem/gewassysteem

De maatregelen die door 'De Marke' zijn genomen hebben geleid tot een aanzienlijke afname van het stikstofoverschot op bodemniveau, vergeleken met een gebruikelijke bedrijfsvoering, met als gevolg een flinke verbetering van de grondwaterkwaliteit. Er is echter geen zekerheid dat met de huidige bedrijfsvoering de 50 mg l<sup>-1</sup> nitraatnorm blijvend gerealiseerd kan worden. Omdat jaarlijks ongeveer 40 kg N ha<sup>-1</sup> in de bodem als organische N werd vastgelegd, was het werkelijke N-verlies uit de bodem geen 128 kg (overschot in Tabel 4.2) maar 88 kg. Omdat ophoping eindig is, en het nitraatgehalte gemiddeld nog 10% te hoog, is het noodzakelijk om het overschot op de bodembalans van 'De Marke' te verlagen tot het oorspronkelijk gewenste niveau (79 kg). Op een themadag zijn de mogelijkheden met deskundigen besproken (Van Keulen, 2000) en dat heeft geleid tot een aantal aanpassingen (Tabel 4.8).

Het overschot op bodemniveau kan omlaag door de afvoer te verhogen of de aanvoer te verlagen. De zomers in het midden van de negentiger jaren waren relatief droog. Toch is het beter om geen rekening te houden met een mogelijk hogere N-opbrengst door betere weersomstandigheden in de toekomst. Daar komt bij dat algemeen verwacht wordt dat droge periodes vaker en heftiger gaan voorkomen, als gevolg van klimaatsveranderingen. Verhogen van de N-opbrengst kan door meer gras te telen ten koste van maïs, of door zwaarder te bemesten. Echter, vervangen van één ha maïs door gras leidt ertoe dat de meststofbehoefte met 150 kg N toeneemt, omdat het bemestingsniveau van grasland 150 kg hoger ligt dan dat van maïs. Omdat de hoeveelheid beschikbare N in drijfmest niet zal toenemen, stijgt de behoefte aan kunstmest-N ook met 150 kg ha<sup>-1</sup>. Omzetten van maïsland in grasland is alleen maar gunstig als de aanvoer van N met aangekocht voer daardoor per omgezette ha afneemt met meer dan 150 kg (compensatie extra kunstmestaankoop). Dat is niet realistisch, zodat omzetten van maïsland in grasland geen verbetering betekent. Bovendien is het nadelig voor de energie- (kunstmestproductie) en waterdoelstelling (gras verbruikt veel meer water dan maïs) en de ammoniakemissie bij mesttoediening neemt toe. De gedachte dat bij meer grasland de denitrificatie sterk toeneemt, en daardoor het N-overschot veel hoger mag zijn, is niet realistisch: het eerder berekende verschil tussen grasland en maïsland bleek op 'De Marke' slechts 19 kg ha<sup>-1</sup>. De veel hogere MINAS-eindnorm in de mestwetgeving voor grasland (+80 kg ha<sup>-1</sup>), vergeleken met die voor maïsland, is vooral het gevolg van het feit dat grasland in Nederland gemiddeld op nattere grond ligt, waardoor de denitrificatie vooral om die reden hoger is ingeschat. Het is daardoor vooral een bodemgerelateerde factor in plaats van een gewasgerelateerde. Omdat de bodem van 'De Marke' niet verandert leidt een (wettelijk toegestane) verhoging van het MINAS-overschot bij meer grasland tot meer nitraatuitspoeling.

Ook verhogen van het bemestingsniveau, om daardoor een hogere N-opname te bewerkstelligen, vergroot het overschot per saldo omdat de opname-efficiëntie van meststoffen altijd lager is dan 100% en daalt bij een oplopend bemestingsniveau.

Tabel 4.8. *Aanvullende maatregelen die op 'De Marke' recent zijn genomen om het stikstofoverschot verder terug te dringen.*

Maatregel	Beoogd effect
Weiden melkvee van 8 naar 5 uur per dag	Betere benutting dierlijke mest
Jongvee grootste deel van de zomerperiode op stal	Betere benutting dierlijke mest
Veestapel vanaf 15 september op stal (in plaats van vanaf 1 oktober)	Betere benutting dierlijke mest
Grasland vanaf 15 maart bemesten (in plaats van 1 maart)	Betere benutting van N in mest, geringere kans op uitspoeling
Minder bemesten van weidesnede	Minder meststof nodig
Geen extra N-bemesting 1 <sup>e</sup> jaar gras	Geringere kans op uitspoeling
Triticale als laatste akkerbouwgewas voor grasland	Grasland kan beter ontwikkeld de winter in, waardoor minder uitspoeling

De oplossing moet dus worden gevonden in het beperken van de aanvoer, met zoveel mogelijk behoud van de opbrengst. Vooral aanvoerposten die slecht worden benut (dus relatief weinig opbrengst leveren) of waarvan het rendement sterk afhangt van toevallige weersomstandigheden (grote kans op verliezen) moeten worden beperkt. Weidemest wordt door gras slecht benut door de slechte verdeling (urine- en mestplekken). Bovendien vindt excretie ook plaats als de opnamecapaciteit van gras laag is door trage groei, met name in de nazomer. De hoeveelheid weidemest op 'De Marke' kan worden beperkt door het verder beperken van de veestapel (aantal dieren), het verder beperken van de beweidingduur (uren per dag en lengte seizoen) en het verder beperken van N in het rantsoen. De beweiding van melkvee is op 'De Marke' teruggebracht van 8 tot 5 uur per dag, het jongvee staat nu ook in de zomer meestal op stal en al het vee wordt op 15 september opgesteld in plaats van op 1 oktober.

De opname-efficiëntie van meststoffen op grasland (de mate van terugwinning in het gewas) kan worden verbeterd door meststoffen pas toe te dienen als het gewas actiever is en de kans op een neerslagoverschot geringer. Om die reden is besloten op 'De Marke', het grasland niet meer voor 15 maart te bemesten (in plaats van voor 1 maart). De N-bemesting ten behoeve van weidegras zal worden beperkt.

Er is een aantal momenten in het jaar dat het aannemelijk is dat er aanzienlijke hoeveelheden N door mineralisatie vrijkomen, zonder dat die door een gewas kunnen worden opgenomen. Veel neerslag kan dan fataal zijn. Het bedrijfssysteem rijdt dan als het ware door oranje licht: neemt voor een korte periode grote risico's ten aanzien van de grondwaterkwaliteit. Het herinzaaien van blijvend grasland (versterkte mineralisatie) wordt door 'De Marke' tot een minimum beperkt maar blijkt op lichte zandgrond niet helemaal te voorkomen (in systeem 'De Marke' blijkt herinzaaien ongeveer één keer per 6 jaar noodzakelijk). Om risico's te beperken heeft 'De Marke' besloten na inzaai de extra N-gift voor zodevorming achterwege te laten. Gemiddeld over de bedrijfsoppervlakte levert dat een kunstmestbesparing op van ongeveer 10 kg N ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>. Een ander gevaarlijk moment is de wisseling van bouwland naar grasland. Bij inzaai van gras, direct na de oogst van de maïs, is het jonge gras door het late tijdstip onvoldoende in staat de N, die door mineralisatie in herfst en winter vrij komt, op te nemen (lichtgebrek beperkt groei). Daarom is het laatste jaar maïs in de rotatie vervangen door het graangewas triticale. Inzaai van grasland kan dan in het graangewas (herfst of voorjaar) of direct na de graanoogst plaatsvinden, zodat in het najaar een goed ontwikkelde grasmat aanwezig is.

De genomen extra maatregelen zijn mogelijk nog niet afdoende, maar verkenningen leren dat de gewenste verlaging van het overschot zonder veel ingrijpender maatregelen, zoals het beperken van de melkproductie per ha of het uitbesteden van de opfok van jongvee, haalbaar moet zijn (Aarts & Van Keulen, 2000).

## 4.6 Betekenis van de resultaten voor de melkveehouderij op zandgrond

De resultaten van 'De Marke' maken duidelijk dat het overschot op de bodembalans sterk kan afnemen door een aantal vrij eenvoudige maatregelen, die passen bij de strategie: de aanvoer op bedrijfsniveau verlagen door het beperken van de behoeften aan meststoffen en voer en door het maximaal benutten van eigen mest en voer. De resultaten laten ook zien dat dit op lichte zandgrond leidt tot een sterke afname van het nitraatgehalte in het bovenste grondwater.

Een gangbaar bedrijf op zandgrond produceerde in het midden van de jaren negentig 275 kg N ha<sup>-1</sup> in dierlijke mest (na aftrek ammoniakverliezen; Aarts, 2000). Als geen maatregelen genomen worden zal een bedrijf haar oppervlak met 62% moeten uitbreiden, of quotum verkopen, om aan de norm van de Europese Unie te kunnen voldoen (maximaal 170 kg N ha<sup>-1</sup> als dierlijke mest). Zelfs 'De Marke' moet bij deze norm sterk extensiveren (32%). Het huidige mestgebruik is immers 225 kg N ha<sup>-1</sup>. Op grasland komt gemiddeld 345 kg N ha<sup>-1</sup> terecht, op maïsland 78 kg. Als het derogatieverzoek wordt ingewilligd (Henkens, 2001), waardoor het maximum niveau voor grasland op 250 kg N ha<sup>-1</sup> zou worden gebracht, betekent dat voor 'De Marke' een afzetmogelijkheid van 214 N ha<sup>-1</sup> op het eigen bedrijf, nog steeds minder dan de huidige hoeveelheid. Hoe groot de afzetmogelijkheden uiteindelijk zullen zijn, hangt echter ook af van de normatieve excretienormen en normatieve diergebonden verliezen, die nog moeten worden vastgesteld.

Zeer effectieve en gemakkelijk uitvoerbare maatregelen, binnen een 'De Marke'-strategie, zijn het verlagen van bemestingsniveaus en het telen van een vanggewas na maïs (zonder vanggewas is het realiseren van de nitraatnorm onmogelijk door de grote hoeveelheid minerale N die na de maïssoogst door mineralisatie nog vrij komt). Ook het beperken van het aantal uren weidegang per dag en het vroeg in het najaar opstallen van vee zijn effectieve maatregelen. Vervanging van gras door maïs is aantrekkelijk, zolang de mestafzet van het bedrijf verantwoord kan gebeuren. Het telen van gras en maïs in vruchtwisseling heeft tot gevolg dat stikstof beter wordt benut, waarschijnlijk door een gezonder wortelstelsel, waardoor met minder meststof kan worden volstaan, de opbrengsten hoger zijn en de stikstofverliezen dus afnemen. De duur van de graslandperiode moet kort zijn, omdat anders na scheuren te veel stikstof mineraliseert en vervolgens uitspoelt. Gedurende herfst en winter moet de grond bedekt zijn met een goed ontwikkeld gewas. Het (her)inzaaien van grasland hoort daarom in voorjaar of zomer te gebeuren en zeker niet in de herfst. Beregenen van grasland is effectief als daarmee voorkomen kan worden dat de zode door droogte afsterft. Omdat bij beregening in de regel meer wordt bemest (extra snede) wordt het stikstofoverschot van perceel en bedrijf zeker niet verlaagd.

Volgens de eindnormen van MINAS zou het werkelijke overschot op de bodembalans van 'De Marke' ongeveer 160 kg N ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> mogen zijn (dus inclusief depositie en binding door klaver). Dat is ongeveer het dubbele van het overschot dat het proefbedrijf zichzelf als doel heeft gesteld (79 kg) en ook beduidend hoger dan het proefbedrijf nu realiseert (128 kg). Het is niet aannemelijk dat een dergelijk hoog overschot op lichte grond als die van 'De Marke' tot de beoogde kwaliteit van het grondwater zal leiden, wel tot een sterke verbetering ervan. Berekeningen (Aarts *et al.*, 1999a) wijzen uit dat bedrijven op lichte zandgrond, als die van 'De Marke', 13.800 kg melk ha<sup>-1</sup> kunnen produceren binnen de eindnormen van MINAS, als het managementniveau overeen komt met dat van 'De Marke'. De resultaten van sommige deelnemers aan het project 'Koeien & Kansen' bewijzen dat aanzienlijk hogere productieniveaus (tot 20.000 kg melk ha<sup>-1</sup>) mogelijk zijn (Koskamp *et al.*, 2001b). Voor hun collega-melkveehouders is dat hoopgevend.