



Stikstof mineralisatie op melkveebedrijf 'De Marke'

Analyse van waarnemingen en van
hun betekenis voor het management



April 2007

Rapport 36

Rapport Plant Research International nr. 132



Colofon

Uitgever

Animal Sciences Group
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 – 238 238
Fax 0320 – 238 022
E-mail : info@koeienenkansen.nl
Internet <http://www.koeienenkansen.nl>

Redactie

Koeien & Kansen

Aansprakelijkheid

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

Bestellen

ISSN 0169-3689
Eerste druk 2007/oplage 80
Prijs € 20,-

De rapporten zijn op de website te bekijken en te downloaden.

'Koeien & Kansen'

is een samenwerkingsproject van 16 melkveehouders, Proefbedrijf De Marke, ASG Veehouderij, PRI, LEI, NMI, CLM en DLV.

Doel is het in de praktijk ontwikkelen, onderzoeken en demonstreren van duurzame melkveehouderij onder uiteenlopende omstandigheden op diverse grondsoorten.



Stikstof mineralisatie op melkveebedrijf 'De Marke'

Analyse van waarnemingen en van
hun betekenis voor het management

J. Verloop, G.J. Hilhorst & J. Oenema

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1 Inleiding	5
1.1 Dit rapport	5
1.2 N mineralisatie en mineralenbeheer	5
1.3 Onderzoeksvragen	6
1.4 Opbouw	6
2 Materialen en methoden	7
2.1 De veldincubatiemethode	7
2.2 De metingen	7
2.3 De waarnemingsplekken	7
2.4 Weersgesteldheid	8
3 Resultaten	11
3.1 Inleiding	11
3.2 Overzicht	11
3.3 Weereffecten	16
3.4 Mineralisatie in 'droge en natte plekken'	17
3.5 Effecten van gewas en gewasrotatie	20
3.6 Lange termijn ontwikkelingen	22
3.7 Conclusies	26
4 Effecten van mineralisatie	29
4.1 Inleiding	29
4.2 Het Nmin gehalte	29
4.3 N opname, gewaskwaliteit en droge stofopbrengst	31
4.4 Nitraatuitspoeling	32
4.5 Conclusies	32
5 Interpretatie en verklaring	33
5.1 Inleiding	33
5.2 Hoeveel Nmin komt door mineralisatie vrij en hoe groot is de spreiding?	33
5.3 Weereffecten	34
5.4 Effecten van 'droge en natte plekken'	34
5.5 Effecten van gewas en gewasrotatie	35
5.6 Lange termijn ontwikkelingen en de aanvoer van Norg	36
5.7 Effecten van de mineralisatie op Nmin gehalte, N opname en nitraatuitspoeling	37
6 Betekenis voor het productiesysteem	39
6.1 Inleiding	39
6.2 Mogelijkheden voor teeltverbeteringen	39
6.3 Sturen op mineralisatie?	39
6.4 Mestvergisting	40
6.5 Hoe duurzaam is het productiesysteem?	41
6.4 N mineralisatie en nitraatuitspoeling	42

7	Conclusies en aanbevelingen	45
7.1	Omgaan met variatie	45
7.2	Omgaan met de verdeling over het jaar	45
7.3	Handhaving van de bodemvruchtbaarheid	45
7.4	Mestvergisting.....	45
7.5	Mineralisatie en nitraatuitspoeling	46
	Literatuurverwijzingen.....	47
Bijlage I	Locatie van waarnemingsplekken op 'De Marke'	49
Bijlage II	Het effect van weer op de voorjaars- en najaarsmineralisatie	51
Bijlage III	Het vochtgehalte in 'droge en natte plekken'	53
Bijlage IV	Het gebruik van blijvend grasland als referentiegewas voor het schatten van jaareffecten op de mineralisatie.....	57
Bijlage V	De verdeling van de mineralisatie in een jaar op 'De Marke'	59
Bijlage VI	Waarnemingen van het minerale N gehalte in de bodem.....	61
Bijlage VII	Correlatie tussen de N mineralisatie en Nmin gehalten	63
Bijlage VIII	Meetwaarden van de mineralisatie gerelateerd aan meetwaarden van de nitraatuitspoeling	65

Samenvatting

Achtergrond van het onderzoek

Op proefbedrijf 'De Marke' wordt een zo rendabel mogelijk bedrijfssysteem voor grondgebonden melkveehouderij op droog zand ontwikkeld en gedemonstreerd dat voldoet aan stringente milieunormen. Door een aangepaste bedrijfsvoering wordt ernaar gestreefd om, zonder afzet van dierlijke mest, een melkproductie van ongeveer 12.000 kg ha⁻¹ te realiseren zonder milieunormen zoals verwoord in het eerste Nationaal Milieuplan (NMP1) te overschrijden. Veel aandacht gaat uit naar de normen voor nitraat en fosfor in grondwater. De nitraatconcentratie in het bovenste grondwater mag niet hoger zijn dan 50 mg l⁻¹. De concentratie van fosfor in het bovenste grondwater mag niet hoger zijn dan 0,15 mg l⁻¹. Deze normen zijn 'terugerekend' naar een bij deze normen passende bedrijfsvoering. Deze bedrijfsvoering, het ontwerp voor duurzame melkveehouderij 'De Marke', is in 1992 in praktijk gebracht en wordt sindsdien geoptimaliseerd. Op 'De Marke' wordt gestreefd naar een efficiënt gebruik van stikstof (N) en fosfor (P). Om verliezen in de bodem te beperken, wordt zoveel mogelijk op maat bemest, rekening houdend met de droge omstandigheden. Om de aanvoer van N en P met voer van buiten het bedrijf te beperken, wordt gestreefd naar een zo hoog mogelijke productie van eigen geteeld voer, die aansluit bij de behoefte van de veestapel. Het maïsaandeel is hoger dan gangbaar is en er wordt gewasrotatie met als hoofdgewassen gras en maïs toegepast. Bovendien wordt sinds 2003 mestvergisting toegepast.

Door mineralisatie wordt aan organische stof gebonden N (Norg) omgezet in mineraal N (Nmin). Nmin is mobiel en kan worden opgenomen door gewassen, maar kan ook uitspoelen. Mineralisatie speelt daarvoor een sleutelrol bij de verdeling van stikstof in de bodem over opname en verliezen. Daarom wordt de mineralisatie op 'De Marke' in het veld gemeten. De resultaten daarvan worden in dit onderzoek geanalyseerd en de betekenis ervan voor de bedrijfsvoering wordt aangegeven.

Aanpak

De mineralisatie wordt op De Marke sinds 1992 gemeten op 6 vaste waarnemingsplekken van 20 bij 20 meter die zodanig verdeeld zijn over het areaal dat ze een representatief beeld geven van de situatie op De Marke. Buisjes worden in de grond gestoken en aan de bovenkant afgesloten met een deksel. Tijdens het inbrengen van de buisjes, vullen de buisjes zich met grond behorend tot het bodemprofiel. Zolang de buisjes aanwezig zijn, kan de N in de grond niet door uitspoeling met neerslag of opname door planten verplaatst worden, mineralisatie of immobilisatie kan echter wel optreden. De grond in de buisjes is dus als het ware 'in het veld geïncubeerd'. Verandering van het Nmin gehalte in de grond, kan dus worden toegeschreven aan mineralisatie (vorming van Nmin uit Norg) of immobilisatie (vorming van Norg uit Nmin). Na een maand worden de buisjes weggenomen en wordt het Nmin gehalte in de buisjes bepaald. Het verschil tussen het Nmin gehalte in de geïncubeerde grond in het buisje en het Nmin gehalte die tijdens het inbrengen bepaald is in de bodem rondom het buisje, is de netto mineralisatie.

Om verschillen in mineralisatiesnelheid gedurende een seizoen te onderzoeken, is de mineralisatie per maand geanalyseerd. Bovendien is de cumulatieve mineralisatie op jaarbasis en de variabiliteit daarvan onderzocht. Het onderzoek omvat de periode 1993-2005.

Niveau en variatie van mineralisatie op jaarbasis

De gemiddelde mineralisatie in 1993-2005 bedraagt 298 kg N ha⁻¹ jr⁻¹. De mineralisatie wordt sterk beïnvloed door de gewasrotatie. De mineralisatie is het hoogst in blijvend grasland. In tijdelijk grasland neemt de mineralisatie toe met de leeftijd van het gras. In bouwland neemt de mineralisatie juist af naarmate de bouwlandfase langer duurt (Tabel 1). Dit is verklaarbaar omdat in tijdelijk grasland een nieuwe graszode wordt opgebouwd, zodat er in de bodem jaarlijks veel te mineraliseren materiaal bijkomt. In het eerste jaar van de bouwlandfase wordt een deel van de zode min of meer verbruikt en is vervolgens de aanvoer van nieuw substraat voor mineralisatie lager.

De standaard afwijking van de mineralisatie is in alle fases van de gewasrotatie hoog (Tabel 1). Dit wijst op aanzienlijke jaar tot jaar verschillen en verschillen tussen plekken. De standaard deviatie tussen plekken bedroeg 96 kg N ha⁻¹ jr⁻¹. De standaard deviatie tussen jaren was 120 kg N ha⁻¹ jr⁻¹. De variatie van N mineralisatie kon niet verklaard worden door het vochtgehalte in de grond (verschillen tussen droge en natte plekken). De mineralisatiesnelheid was significant hoger in jaren die warm en nat waren, dan in jaren die koud en nat waren en jaren die warm en droog waren.

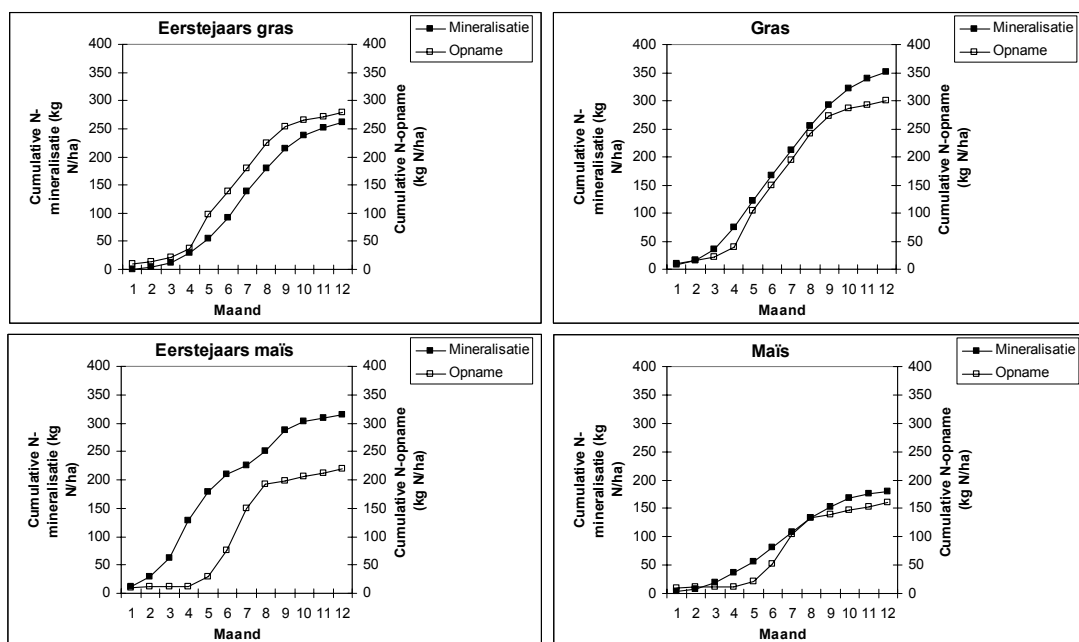
Tabel 1 Mineralisatie ($\text{kg N ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$) in blijvend grasland en verschillende fases in gewasrotatie

	Gemiddelde	Standaarddeviatie
Blijvend gras	381	133
Tijdelijk gras 1 ^e jrs	259	93
Tijdelijk gras 2 ^e jrs	348	87
Tijdelijk gras 3 ^e jrs	360	74
Bouwland 1 ^e jrs	328	93
Bouwland 2 ^e jrs	225	97
Bouwland 3 ^{et} jrs	182	84

Seizoenspatronen

De mineralisatie per maand neemt sterk toe in het voorjaar tot in het midden van de zomer. Daarna neemt de maandelijkse mineralisatie weer af naar lage waarden in de winter. In maïs is de toename van de mineralisatie in de zomer veel lager dan in gras. Dit is verklaarbaar doordat de retourstroom van organisch materiaal naar de bodem en de aanvoer van organisch gebonden N met mest in maïs veel lager is dan in gras. Gemiddeld vindt $77 \text{ kg N ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$, ongeveer een kwart van de jaarlijkse mineralisatie, plaats in de wintermaanden (oktober tot en met maart). Deze aanzienlijke wintermineralisatie neemt een hoog risico op excessieve nitraatuitspoeling met zich mee. Dit onderstreept de noodzaak van toepassing van vanggewassen.

De mineralisatie in het voorjaar is duidelijk hoger in eerstejaars maïs dan in tweede-, derde- en meerderejaars maïs. Dit is te verklaren door het onderploegen van de graszode. Vergelijking van de N mineralisatie met de gewasopname geeft aan dat de mineralisatie in eerstejaars maïs in het voorjaar een N aanbod oplevert, dat waarschijnlijk hoger is dan de opnamecapaciteit van het gewas. In andere fases van de rotatie zijn hier geen aanwijzingen voor (Figuur 1).

**Figuur 1** De verdeling van de mineralisatie en de gewasopname van stikstof over het jaar

Lange termijn ontwikkelingen

Omdat op 'De Marke' krap bemest wordt en omdat veldverliezen beperkt worden, is de aanvoer van organisch gebonden N lager dan op de meeste gangbare bedrijven. De vraag is of er uitmijning optreedt omdat de N benutting zoveel mogelijk wordt bevorderd. Een afnemende N mineralisatie zou hiervoor een indicatie kunnen zijn. Trendanalyse maakte duidelijk dat de mineralisatie (gecorrigeerd voor gewas- en weer-

effecten) afneemt met 2% per jaar, maar deze afname is niet significant. Overigens komt deze afname wel goed overeen met de ontwikkeling van de aanvoer van Norg met dierlijke mest. De aanvoer is iets afgenomen door een lagere verhouding van Norg en Nmin in mest (deels is dit het gevolg van mestvergisting). Er is al met al geen duidelijke aanwijzing voor verschraving van de bodem.

Betekenis voor de bedrijfsvoering

De analyse gaf aan dat in de eerstejaars maïs meer N door mineralisatie vrijkomt dan door het gewas opgenomen kan worden. Dit leidt tot een verhoogde kans op nitraatuitspoeling. De patronen van N mineralisatie en de ontwikkeling van de N behoefte in het jaar lopen bovendien niet synchroon. De kans op nitraatuitspoeling in eerstejaars maïs is daardoor vooral vroeg in het groeiseizoen aanwezig. Dit onderstreept het belang van de maatregel om geen mest toe te passen in eerstejaars maïs (dit is al praktijk op 'De Marke'). Bovendien lijkt het wenselijk te zoeken naar aanvullende verbeteringen zoals:

- Later in het voorjaar de graszode kapotfrezen.
- Lichter bemesten van het laatste jaar tijdelijk gras (om de mest te kunnen blijven plaatsen zal dan echter meer bemest moeten worden op jonger grasland of zal het graslandareaal moeten toenemen).
- Verkorting van de graslandfase (zodat minder Norg wordt opgebouwd en de mineralisatie in het begin van de bouwlandfase lager wordt).
- Ontwikkeling van methoden om gras en maïs gelijktijdig in te zaaien.
- Ontwikkeling van methoden om maïs bij te mesten gedurende het seizoen.

Een groot deel van de variatie in de mineralisatie is gerelateerd aan gewasrotatie. Daarmee kan rekening worden gehouden in de bedrijfsvoering. Er blijft echter ook een aanzienlijke onverklaarde restvariatie over. Er moet op gerekend worden dat de mineralisatie in een willekeurig jaar meer dan $100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ van het langjarig gemiddelde afwijkt. Het weer speelt hierbij een rol, maar bemesting gaat in de tijd 'voor het weer uit' zodat hier niet op ingespeeld kan worden. De ruimtelijke variatie is van dezelfde orde van grootte. Hierop kan slechts geanticipeerd worden door in de bedrijfsvoering zoveel mogelijk 'op veilig te spelen'. Bijvoorbeeld, door optimale aanwendingsstijdstippen voor mest te kiezen, zoveel mogelijk te bemesten op maat en grasland niet in het najaar te vernieuwen. Door mestvergisting wordt de aanvoer van organisch gebonden N naar de bodem iets lager. Hierdoor kan ook de variatie van de mineralisatie afnemen. Er zijn lichte aanwijzingen dat N uit vergiste mest iets vroeger gemineraliseerd wordt dan uit onbehandelde mest.

N mineralisatie en nitraatuitspoeling

Sinds 2000 is het bodemoverschot op 'De Marke' beperkt van $129 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ naar $74 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ om de nitraatuitspoeling te verlagen. De nitraatuitspoeling is echter precies constant gebleven op een niveau van iets meer dan 50 mg l^{-1} in grondwater. Verwacht werd dat dit veroorzaakt kon zijn door een hoge mineralisatie in de relatief warme winters na 2000. We vonden in de mineralisatiemetingen hiervoor geen aanwijzingen. De wintermineralisatie is praktisch gelijk gebleven. De afname van de nitraatuitspoeling kan ook uitgebleven zijn door de invloed van andere factoren (zoals de verdeling van neerslag over het jaar, het gehalte van opgeloste organische koolstofdeeltjes en de grondwaterstand). Bovendien kan er sprake zijn van langdurige nalevering uit de bodem. Vervolgonderzoek zal hierover duidelijkheid moeten geven.

1 Inleiding

1.1 Dit rapport

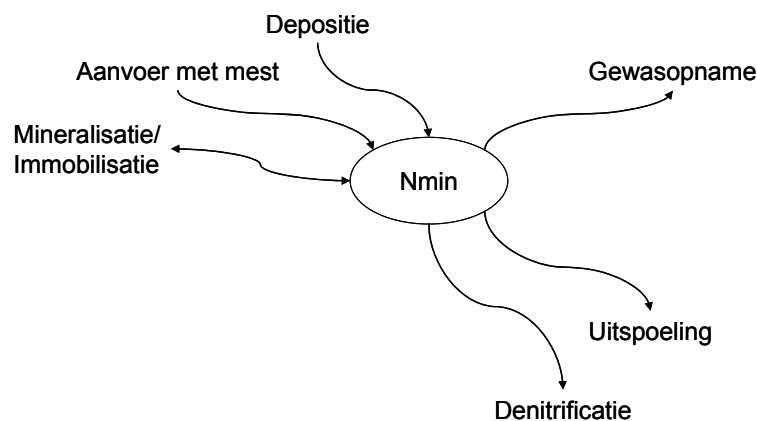
Op veel melkveebedrijven op lichte zandgrond wordt de norm voor de maximaal toelaatbare nitraatconcentratie van 50 mg l^{-1} in grondwater overschreden (EU richtlijn 91/676/EEC). Deze overmatige uitspoeling wordt veroorzaakt door een niet optimaal beheer van stikstof (N) op de melkveebedrijven in combinatie met uitspoelingsgevoelige omstandigheden (de kans op uitspoeling op lichte zandgrond is relatief groot). Om het N beheer te verbeteren, is inzicht nodig in het gedrag van N in de bodem. Mineralisatie, de omzetting van aan organische stof gebonden N naar mineraal N (ammoniak en nitraat) is een cruciaal aspect daarvan. Dit rapport gaat over mineralisatie van stikstof (N) in de bodem op het proefbedrijf voor duurzame melkveehouderij 'De Marke'. De analyse in dit rapport is gebaseerd op waarnemingen in 6 zogenoemde 'vaste waarnemingsplekken' op 'De Marke'. Waarnemingen van de N mineralisatie op deze plekken vormen een doorgaande meetreeks van 1992 tot nu. Resultaten van deze meetreeks zijn eerder beschreven in het rapport 'Integrale monitoring van stikstofstromen in boden en gewas' (Aarts, 1996) en in het rapport 'Duurzame melkveehouderij en stikstofmanagement' (Van Keulen, 2000). De analyse in dit rapport sluit aan op de voorgaande analyses.

1.2 N mineralisatie en mineralenbeheer

Planten moeten voor hun groei over N in minerale vorm (N_{min}) kunnen beschikken. N_{min} in de bodem is afkomstig van:

- aanvoer van N_{min} met kunstmest, atmosferische depositie en dierlijke mest (ongeveer de helft van de N in dierlijke mest is mineraal) en
- mineralisatie (zie Figuur 1.1).

N_{min} dat vrijkomt door mineralisatie en niet door gewassen wordt opgenomen zal veelal verloren gaan door denitrificatie of uitspoeling. Ontijdige mineralisatie (mineralisatie buiten het groeiseizoen) kan tot aanzienlijke nutriëntenverliezen leiden. Tijdige mineralisatie is dus van belang, vooral voor productiesystemen die, zoals melkveebedrijven, een deel van hun nutriënten betrekken uit dierlijke mest. Inzicht in N mineralisatie als onderdeel van de N omzettingen in de bodem, kan daarom bijdragen aan de ontwikkeling van productiesystemen waarin N in de bodem zo goed mogelijk benut wordt. Het gaat daarbij om hoeveel stikstof er jaarlijks mineraliseert en hoe die hoeveelheid verdeeld is over het jaar.



Figuur 1.1 Schematisch overzicht van stromen van minerale N in het bodem-/gewassysteem. Mineralisatie staat hier voor de netto mineralisatie (ofwel mineralisatie minus immobilisatie)

De optimalisatie van het productiesysteem 'De Marke' is gericht op het beperken van de nitraatuitspoeling tot een niveau van ten hoogste 50 mg l^{-1} (equivalent met $34 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$). De nitraatuitspoeling bedraagt tot op heden gemiddeld 55 mg l^{-1} en is dus nog te hoog (Verloop et al., 2006). Bij de verbetering van het productiesysteem zal rekening gehouden moeten worden met mineralisatie. Immers uit eerder onderzoek op 'De Marke' is gebleken dat de N mineralisatie (van gemiddeld meer dan $300 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$) zeer aanzienlijk is vergeleken met andere N stromen van en naar het bodem-/gewassysteem en vergeleken met de

nitraatuitspoeling. Bovendien is N mineralisatie sterk variabel. Deze probleemstelling geeft aanleiding tot een aantal onderzoeksvragen. Deze kunnen worden opgesplitst in vragen over:

- effecten van omgevingsfactoren op mineralisatie,
- effecten van mineralisatie op N stromen in het bodem-/gewassysteem en
- mineralisatie in relatie tot N beheer en. Hieronder worden deze vragen aangegeven.

1.3 Onderzoeksvragen

1.3.1 Effecten van omgevingsfactoren

Om patronen te ontdekken in de mineralisatie wordt onderzocht wat het effect is van omgevingsfactoren op de mineralisatie. De volgende vragen zijn gericht op de jaarmineralisatie en op de verdeling van de mineralisatie in een jaar:

- Hoeveel N_{min} komt gemiddeld door mineralisatie vrij?
- Hoe groot zijn verschillen tussen jaren en is er samenhang met weersomstandigheden?
- Welke verschillen zijn er tussen percelen?
- Wat is het effect van gewas en gewasfase?
- Verandert de mineralisatie op de langere termijn?

1.3.2 De gevolgen van mineralisatie

Wat zijn de gevolgen van variatie van N mineralisatie voor:

- het N_{min} gehalte in de bodem;
- de N opname door het gewas;
- de droge stofopbrengsten en gewaskwaliteit;
- nitraatuitspoeling?

1.3.3 Mineralisatie en stikstof beheer

Vragen over mineralisatie en stikstof beheer zijn:

- Kan de mineralisatie voorspeld worden? Daardoor zou in de bedrijfsvoering met de mineralisatie rekening gehouden kunnen worden?
- Kan de ontwikkeling van N opname door gewassen en N uitspoeling verklaard worden door patronen in de mineralisatie?
- Loopt de mineralisatie synchroon met de N behoefte van gewassen?
- Wat is het lange termijn effect op de mineralisatie van het beheer van 'De Marke' dat gekenmerkt wordt door een laag bodemoverschot (van 74 kg N ha⁻¹ jr⁻¹) en bemesting op maat?

1.4 Opbouw

In hoofdstuk 2 worden materialen en methoden met betrekking tot de mineralisatiemetingen beschreven. Tevens wordt ingegaan op de ligging van de waarnemingsplekken en de omstandigheden.

Hoofdstuk 3 gaat in op de resultaten met betrekking tot effecten van omgevingsfactoren op de mineralisatie. Deze resultaten hebben betrekking op de vragen die vermeld zijn in paragraaf 1.3.1.

In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op effecten van de mineralisatie op N stromen in het bodem-/gewassysteem. Het gaat hierbij om de resultaten die betrekking hebben op vragen die weergegeven zijn in paragraaf 1.3.2.

In hoofdstuk 5 wordt gezocht naar verklaringen van de resultaten uit hoofdstuk 3 en 4 en worden de resultaten vergeleken met ander onderzoek.

In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de betekenis voor het productiesysteem. Hierbij gaat het om de vraag: 'Wat zeggen de ontwikkelingen in de mineralisatie over de duurzaamheid van het 'De Marke'-beheer?' en 'Hoe kan bij de bedrijfsvoering rekening gehouden worden met variabele mineralisatie?' In dit hoofdstuk worden onderzoeksvragen behandeld die weergegeven zijn in paragraaf 1.3.3.

Hoofdstuk 7 bevat aanbevelingen en conclusies.

2 Materialen en methoden

2.1 De veldincubatiemethode

De mineralisatie wordt bepaald volgens de veldincubatiemethode. Een buis wordt in de grond geslagen tot een diepte van 20 cm (grasland) of 30 cm (bouwland). De buis is aan de bovenkant voorzien van een dop zodat er geen regen in kan vallen en transport van N uit de buis verwaarloosbaar is. Door een drietal gaatjes in de zijkant (die boven de grond blijven) is wel ventilatie mogelijk zodat de beschikbaarheid van zuurstof zo goed mogelijk overeenkomt met de omstandigheden in het veld. Bij het plaatsen wordt de bodem in de directe omgeving van de buis bemonsterd op N_{min} en het vochtgehalte. Na ongeveer een maand (in de winter langer) wordt het buisje uit de bodem verwijderd waarna het N_{min}-gehalte van de grond in het buisje na veldincubatie wordt bepaald. Het verschil tussen het N_{min} gehalte na incubatie en het N_{min} gehalte, bepaald bij inzetten, is de gemineraliseerde hoeveelheid.

In de incubatieperiode kan niet alleen mineralisatie plaatsvinden, maar ook het omgekeerde proces: immobilisatie (omzetting van N_{min} in Norg). Door de veldincubatiemethode wordt de som van deze twee processen gemeten: de netto mineralisatie. De netto mineralisatie kan negatief zijn als er per saldo meer N_{min} is geïmmobiliseerd dan dat er is vrijgekomen door mineralisatie.

2.2 De metingen

De metingen worden continue verricht op zes vaste waarnemingsplekken. Voor 2005 waren er per waarnemingsplek drie herhalingen met per herhaling 6 buisjes (waarvan de inhoud bij elkaar wordt gevoegd); dus totaal 18 buisjes; sinds 2005 is er nog maar één herhaling met 12 buisjes; voor de grondbemonstering worden bij het verwijderen van de buisjes rondom elk buisje drie steken genomen. Bepaald worden: het N_{min} gehalte, het organische stofgehalte en (van 1993 tot en met 2001) het vochtgehalte. De analyses werden tot en met 2001 verricht door het lab van CABO/AB-DLO en later door het BLGG te Oosterbeek.

2.3 De waarnemingsplekken

De waarnemingsplekken liggen alle zes op het proefbedrijf voor duurzame melkveehouderij 'De Marke'. Het bedrijf ligt op diep ontwaterde, lichte zandgrond. Het organische stofgehalte varieert van 3 tot 5%. Onder een eerdlaag van ongeveer 0,3 meter ligt zeer schraal zand (Dekkers, 1992). Door deze omstandigheden is de bodem extreem droogtegevoelig (Aarts et al., 2000). De ligging van de waarnemingsplekken zijn zo gekozen dat de plekken samen een representatief beeld geven van het areaal van 'De Marke'. De ligging van de plekken is in Tabel 2.1 weergegeven. In Bijlage I is de ligging op kaart weergegeven. Omdat de percelen waarin de plekken 2, 11, 19 en 21 liggen deel uitmaken van de gewasrotatie varieert het geteelde gewas per jaar op deze plekken (Tabel 2.2). In 1998 en 1999 zijn alleen metingen verricht op plekken 9, 19 en 11. gegevens van de andere plekken ontbreken dus voor deze jaren.

Tabel 2.3 geeft het bemestingsniveau weer in de gewassen. Dierlijke mest werd met ingang van 2003 vergist en was daarvoor onbehandeld. De vaste waarnemingsplekken werden niet afgeschermd van weidend vee, zodat de plekken gedurende weidesneden begraasd konden worden. Sturend voor de behandeling en het beheer is de optimalisatie van het volledige bedrijf 'De Marke'. De achtergronden daarvan zijn beschreven in rapport 1 van 'De Marke' (Biewinga et al., 1992).

Tabel 2.1 De verdeling van waarnemingsplekken over droge en natte delen van het areaal en het bodemgebruik

Plek	Kenmerken van de plekken	Teeltplan
2	'droog'	Rotatie I
9	'droog'	Permanent gras
11	'droog'	Rotatie I
17	'nat'	Permanent gras
19	'nat'	Rotatie II
21	'nat'	Rotatie II

Rotatie I = g (gras), g, g, bl (bouwland), bl, bl...

Rotatie II = g, g, g, bl, bl, bl, bl, bl...

Tabel 2.2 Gewassen geteeld op zes plekken op 'De Marke'

Plek \ Jaar	2	9	11	17	19	21
1993	Bl+	Bg	Bl1B	Bg	Bl2	Bl+
1994	Bl+	Bg	Bl2	Bg	Bl+	Bl+
1995	Bl+	Bg	Bl+	Bg	Tg1	Tg1
1996	Tg1	Bg	Tg1	Bg	Tg2	Tg2
1997	Tg2	Bg	Tg2	Bg	Tg+	Bl1
1998	Tg+	Bg	Tg+	Bg	Bl1	Bl2
1999	Bl1	Bg	Bl1	Bg	Bl2	Bl+
2000	Bl2	Bg	Bl2	Bg	Bl+T	Bl+
2001	Bl+	Bg	Bl+T	Bg	Tg1	Bl+
2002	Bl+T	Bg	Tg1	Bg	Tg2	Bl+
2003	Tg1	Bg	Tg2	Bg	Bl1	Bl+
2004	Tg2	Bg	Tg+	Bg	Bl2	Bl+G
2005	Tg+	Bg	Bl1	Bg	Tg1	Tg1

Bg: Blijvend grasland
 Tg1: 1^e jaars tijdelijk grasland
 Tg2: 2^e jaars tijdelijk grasland
 Tg+: 3^e jaars of meer tijdelijk grasland
 Bl1: 1^e jaars bouwland, maïs
 Bl2: 2^e jaars bouwland, maïs
 Bl+: 3^e jaars of meer bouwland, maïs
 Bl1B: 1^e jaars bouwland, bieten
 Bl+T: 3^e jaars bouwland, triticaal
 Bl+G: 3^e jaars, gerst-erwten of gerst

Tabel 2.3 De N bemesting van de gewassen in 1993-2005; kg N ha⁻¹jr⁻¹

Gewas	Fase in rotatie	Organische mest	Kunstmest*
Maïs	1 ^e jaars	43	-
	2 ^e jaars	92	-
	3 ^e jaars en meer	192	-
Tijdelijk gras	1 ^e jaars	290	108
	2 ^e jaars	307	80
	3 ^e jaars	320	80
Blijvend gras	-	275	105

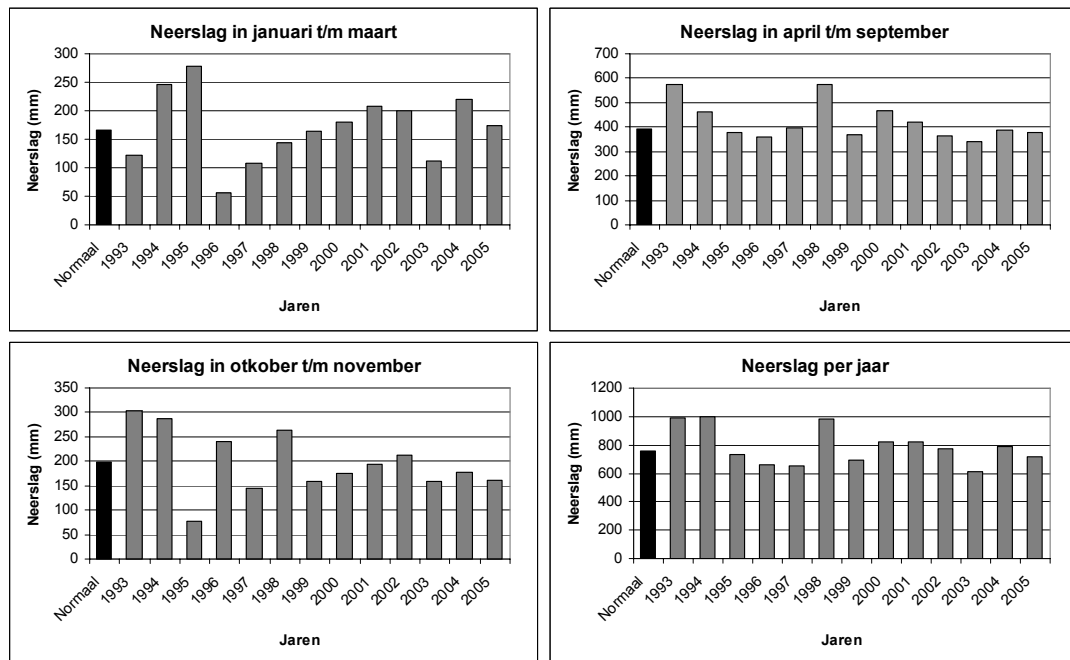
* Vanaf 2000 is de aanvoer van kunstmest-N afgebouwd; vanaf 2003 is er in het geheel geen kunstmest-N meer gebruikt op de waarnemingsplekken.

2.4 Weersgesteldheid

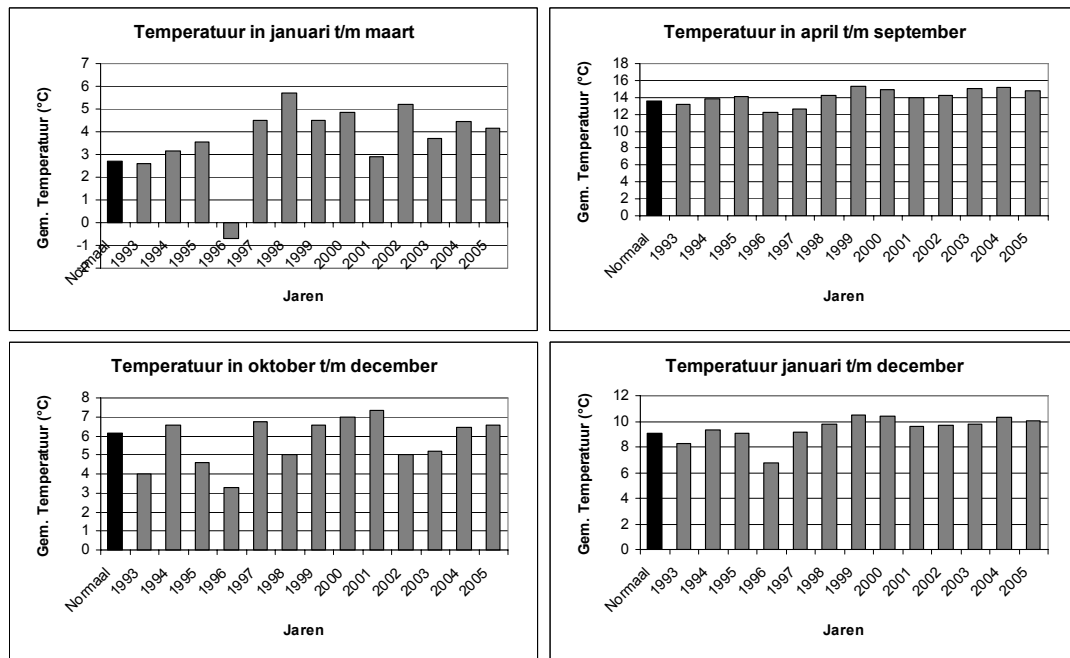
In Figuur 2.1 is hoeveelheid neerslag weergegeven die in verschillende periodes van het jaar gevallen is. De metingen zijn verricht op een weerstation op 'De Marke'. Door Aarts (1996) werden jaren beoordeeld (als droog, nat of gemiddeld) op grond van waarneming van verschijnselen aan gewassen die wezen op droogtestress zoals van verwelking. Deze methodiek is hier niet gebruikt omdat deze waarnemingen niet gestandaardiseerd zijn, zodat deze verschijnselen uit de eerste jaren niet objectief vergeleken kunnen worden met waarnemingen uit latere jaren. Een andere mogelijkheid, die de werkwijze van Aarts dicht benadert, is het berekenen van de hoeveelheid vocht die beschikbaar is geweest voor gewassen (zodat niet alleen rekening wordt gehouden met de neerslaghoeveelheid maar ook de verdeling in het seizoen). Omdat deze analyse gericht is op mineralisatie en niet op het gewas zelf, is hier volstaan met het vergelijken van de totale neerslaghoeveelheden.

De jaren 1995 en 1996 en 2003 waren over het geheel genomen relatief droog. De jaren 1993, 1994 en 1998 waren nat. Het voorjaar van 1996 was zeer droog en van 2003 was vrij droog. Het voorjaar van 1994 en 1995 waren nat. Figuur 2.2 geeft de temperatuur weer in de verschillende jaren. Het meest opvallend is het koude voorjaar en najaar van 1996. De temperatuur in de wintermaanden is gemiddeld hoger in de latere jaren dan in de eerste jaren. De eigenschappen nat/droog en koud/warm zijn als volgt over de jaren

verdeeld. Er zijn 4 koude, natte jaren (1993, 1994, 1997, 2001), 2 koude, droge jaren (1995, 1996) 4 warme, droge jaren (1999, 2002, 2003, 2005) en 3 warme, natte jaren (1998, 2000, 2004).



Figuur 2.1 Hoeveelheid neerslag (mm) in verschillende periodes in het jaar op 'De Marke' en de normale hoeveelheid, bepaald in 30 jaren



Figuur 2.2 Gemiddelde temperatuur in verschillende periodes in het jaar op 'De Marke' en de normaal bepaald in 30 jaren

3 Resultaten

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft de resultaten weer van de metingen van de N mineralisatie in de zes vaste waarnemingsplekken op 'De Marke'. Paragraaf 3.2 bevat een overzicht van de resultaten. Vervolgens wordt ingegaan op effecten van het weer (paragraaf 3.3), effecten van het vochtgehalte in de bodem (paragraaf 3.4), effecten van gewas en gewasfase (paragraaf 3.5) en lange termijn effecten van het beheer (paragraaf 3.6). Paragraaf 3.7 geeft de conclusies weer.

3.2 Overzicht

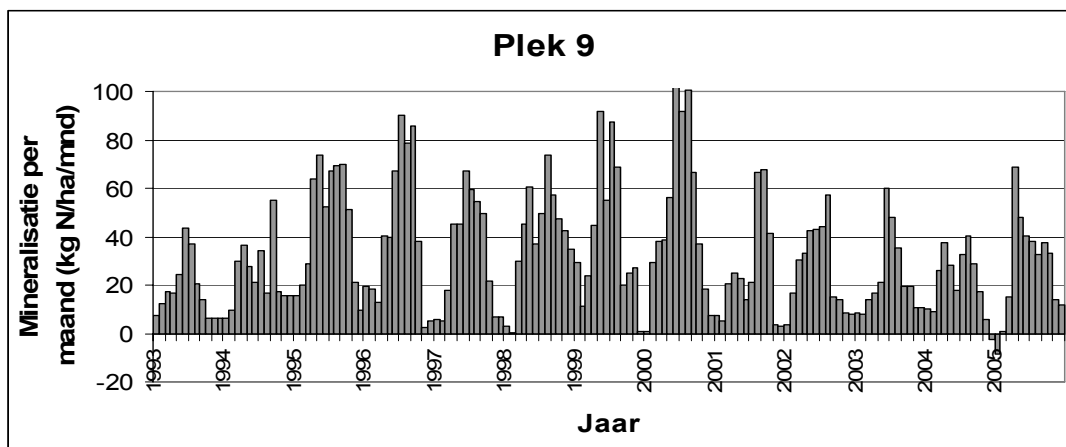
3.2.1 Tijdreeksen per plek

Figuren 3.1 tot en met 3.6 geven het verloop van de mineralisatie weer in de gehele onderzoeksperiode. Figuur 3.1 en 3.2 betreffen de plekken 9 en 17 (blijvend gras). Figuur 3.3 en 3.4 geven de ontwikkeling weer in respectievelijk plek 2 en 11 ('droge plekken', huiskavel). Op deze plekken vindt gewasrotatie plaats. Figuur 3.5 en 3.6 geven de ontwikkeling weer van respectievelijk plek 19 en 21 met eveneens gewasrotatie ('natte plekken', veldkavel). In Tabel 3.1 is de meetreeks voor afzonderlijke jaren en plekken uitgedrukt in de mineralisatie op jaarbasis (door optelling van de mineralisatie per maand).

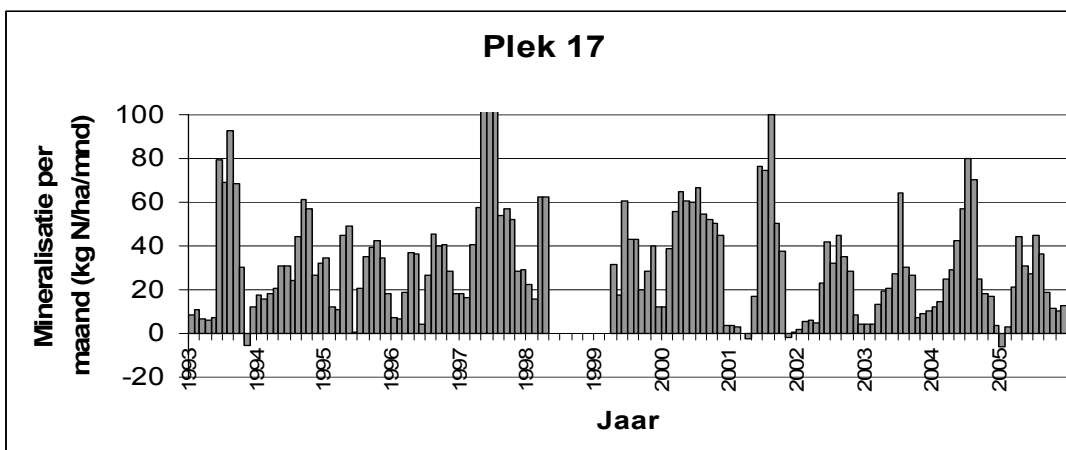
Op alle plekken is min of meer hetzelfde seizoensgebonden patroon te herkennen. De mineralisatie neemt in de loop van het jaar telkens toe tot in het midden van het groeiseizoen (rond juli) een maximale mineralisatiesnelheid wordt bereikt. Daarna neemt de mineralisatie weer af tot een lage waarde in de wintermaanden. In paragraaf 3.3 wordt verder ingegaan op de verdeling van de mineralisatie over het jaar.

Er zijn grote verschillen in de mineralisatie tussen plekken in hetzelfde jaar en tussen jaren op dezelfde plek. Op plek 9 in blijvend grasland was de mineralisatie in 1994 bijvoorbeeld duidelijk lager dan in plek 17, eveneens in blijvend grasland; terwijl de situatie het jaar erop precies omgekeerd was (Figuur 3.1 en 3.2). Periodes met een hoge mineralisatiesnelheid komen in plek 17 ook in andere jaren voor dan in plek 9. Uit de gegevens van plek 9 is ook te zien dat de mineralisatie op één plek van jaar tot jaar aanzienlijk varieert. De mineralisatie was relatief laag in 1993, 1994 en de jaren na 2000, terwijl de mineralisatie in de jaren 1995 tot 2000 hoog was (zie ook Tabel 3.1). In de winters van 1996/1997, 1997/1998, 1999/2000 was de mineralisatie duidelijk lager dan in de overige winters. In 2003/2004 trad netto immobilisatie op. De variabiliteit van de mineralisatie in de plekken in rotatie is niet in een oogopslag te doorgronden omdat behalve verschillen tussen plekken en jaren ook het geteelde gewas een deel van de variatie lijkt te veroorzaken. De volgende contouren komen echter naar voren:

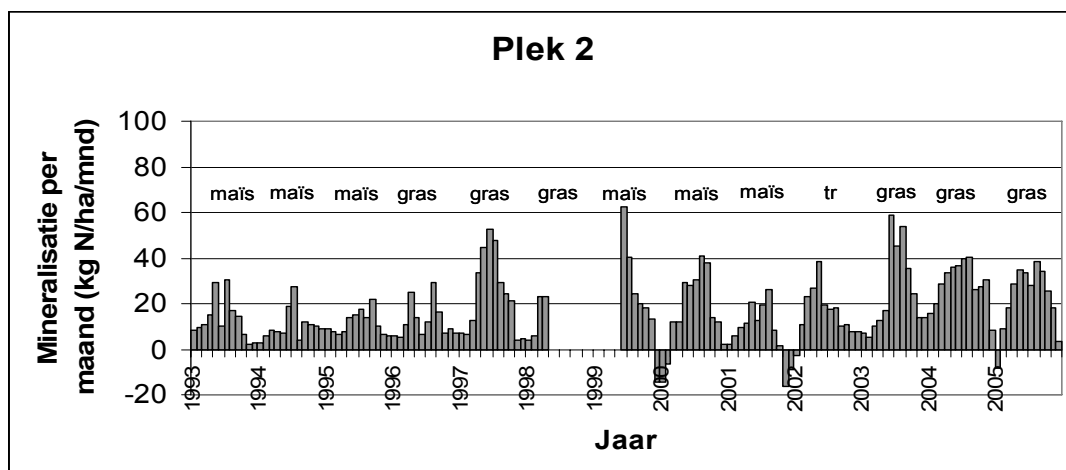
- Het overheersende beeld is dat de mineralisatie in maïs duidelijk lager is dan in tijdelijk gras.
- De jaarmineralisatie is gemiddeld over de gehele meetperiode het hoogst in de plekken in blijvend grasland.
- De mineralisatie op de twee droge plekken (2 en 11, Figuur 3.3 en 3.4) in rotatie verschillen onderling sterk door het achterwege blijven van hoge mineralisatiesnelheden in de zomer op plek 2.
- Netto immobilisatie is vooral te zien in de winter na maïsteelt.
- In de plekken in rotatie met hetzelfde gewas in hetzelfde jaar verschilt de mineralisatie soms sterk.
- In de plekken in rotatie met hetzelfde gewas in verschillende jaren verschilt de mineralisatie eveneens sterk (zo was op plek 19 met tweedejaars maïs in 1993 ruim twee keer zo hoog als in 2004 met hetzelfde gewas: $314 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ in 1993 en $105 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ in 2004 (Tabel 3.1)).



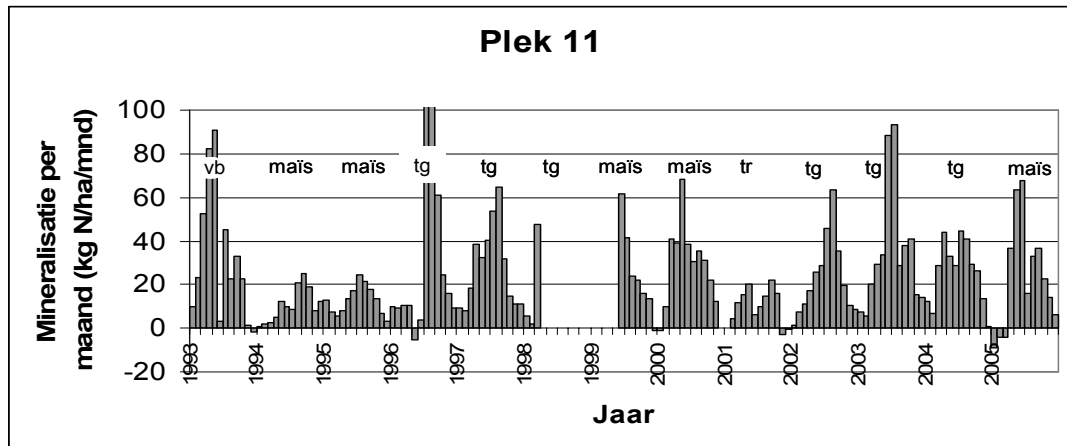
Figuur 3.1 De mineralisatie (kg N maand^{-1}) op waarnemingsplek 9, blijvend grasland



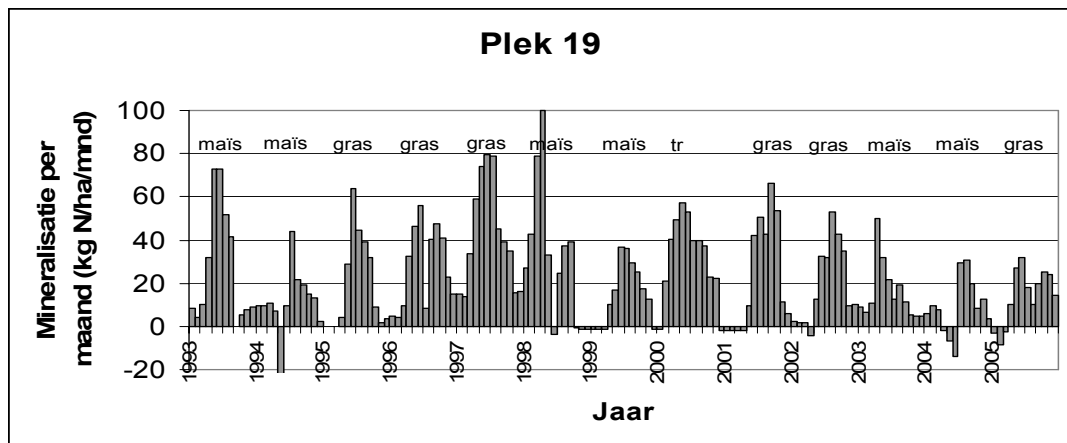
Figuur 3.2 De mineralisatie (kg N maand^{-1}) op waarnemingsplek 17, blijvend grasland



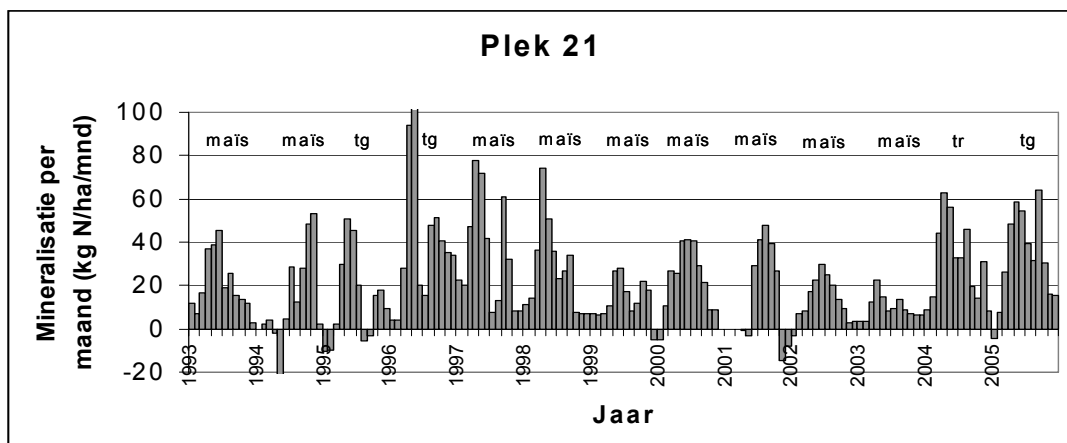
Figuur 3.3 De mineralisatie (kg N maand^{-1}) op plek 2, huiskavel, met gewasrotatie, tr = triticale



Figuur 3.4 De mineralisatie (kg N maand^{-1}) op waarnemingsplek 11, gewasrotatie huiskavel



Figuur 3.5 De mineralisatie (kg N maand^{-1}) op waarnemingsplek 19, gewasrotatie veldkavel



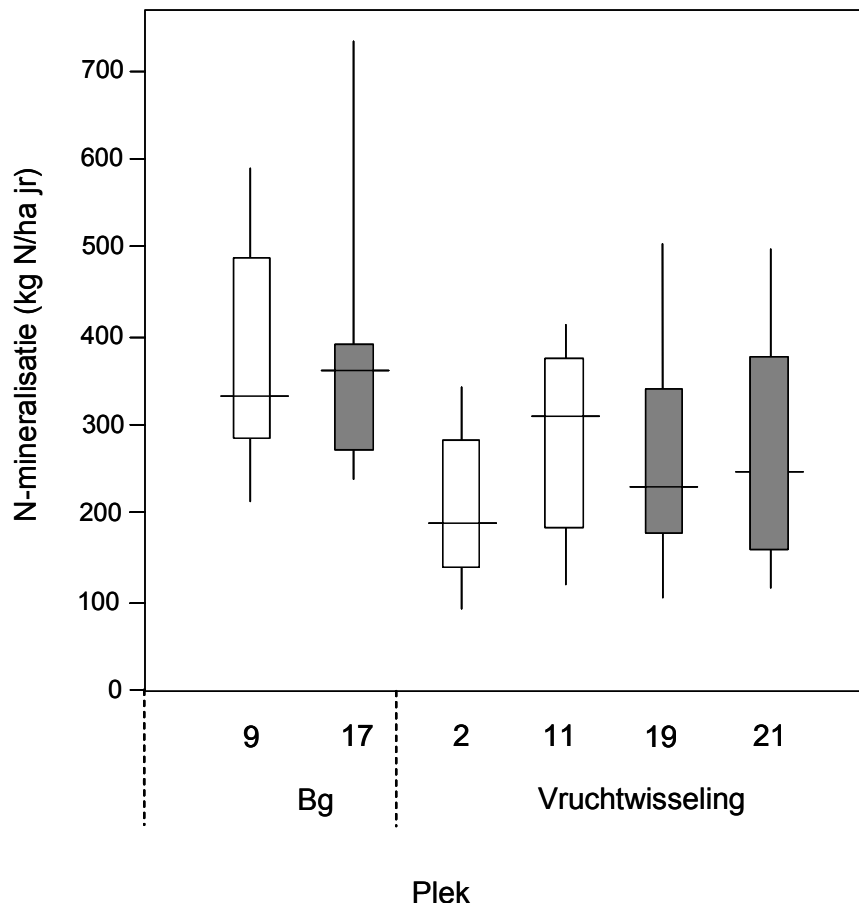
Figuur 3.6 De mineralisatie (kg N maand^{-1}) op waarnemingsplek 21, gewasrotatie op de veldkavel

Tabel 3.1 De mineralisatie op jaarbasis voor de afzonderlijke waarnemingsplekken op 'De Marke' in de jaren 1993 tot en met 2005 (kg N ha⁻¹ jr⁻¹)

Plek	Gebruik	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Gem
2 Droog	Rotatie	156	123	135	147	288	-	-	198	93	188	296	344	264	203
9 Droog	Blijvend gras	213	286	542	498	384	481	484	590	298	316	271	250	332	380
11 Droog	Rotatie	385	126	152	395	332	-	-	326	117	275	414	310	280	283
17 Nat	Blijvend gras	387	379	342	311	734	-	-	565	359	237	238	392	255	382
19 Nat	Rotatie	314	133	226	329	505	376	179	380	273	229	188	105	166	262
21 Nat	Rotatie	245	159	162	499	411	328	158	249	157	156	116	371	388	161
Gem		283	201	260	363	442	395	274	385	216	233	254	295	281	299

3.2.2 Spreiding

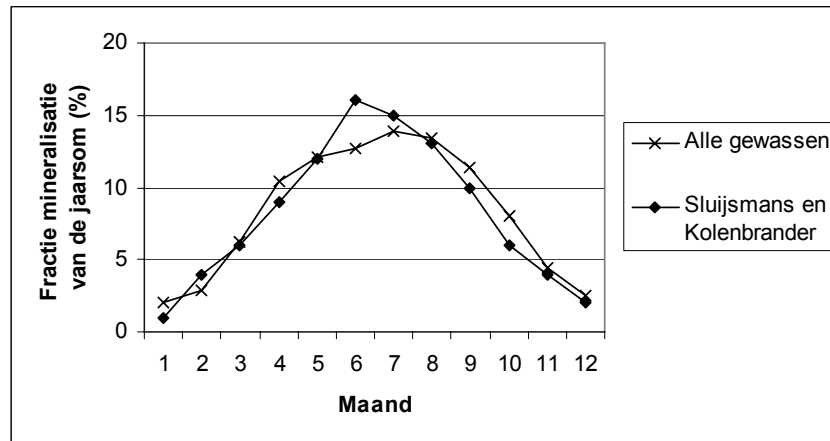
De resultaten in Tabel 3.1 geven grote verschillen aan in mineralisatie per jaar, per plek en per gewas. De mineralisatie per jaar (gemiddeld voor alle plekken) varieert van 201 in 1994 tot 442 kg N ha⁻¹jr⁻¹ in 1997. Het verschil van ongeveer 200 kg N ha⁻¹jr⁻¹ is uitzonderlijk. Het gemiddelde verschil van elk jaar met het erop volgende jaar bedraagt 86 kg N ha⁻¹jr⁻¹, bijna een derde van de totale mineralisatie (299 kg N ha⁻¹jr⁻¹). Figuur 3.7 geeft een beeld van de spreiding per plek. De range waarbinnen 50% van de waarnemingen vallen bedraagt: 165 en 121 kg N ha⁻¹jr⁻¹ op respectievelijk plek 9 en 17, 144 en 189 kg N ha⁻¹jr⁻¹ op plekken 2 en 11 en 165 en 217 kg N ha⁻¹jr⁻¹ op plek 19 en 21.



Figuur 3.7 De spreiding van de mineralisatie in de waarnemingsplekken op 'De Marke' in blijvend grasland (Bg) en de waarnemingsplekken op de kavels in vruchtwisseling. De resultaten van natte plekken zijn donker gearceerd, die van de droge plekken zijn niet gearceerd. De uiteinden van de verticale lijnen geven de hoogste en laagste waarden weer. De onderkant van de rechthoeken geeft het niveau waarbinnen zich 25% van de waarnemingen lager dan het gemiddelde zich bevinden; de bovenkant geeft het niveau aan waarbinnen zich 25% van de waarnemingen hoger dan het gemiddelde bevinden. Binnen de rechthoeken geeft de horizontale lijn het gemiddelde weer

3.2.2 Verdeling in het jaar

Figuur 3.8 geeft de N mineralisatie per maand weer (percentage van de N mineralisatie op jaarbasis) voor alle gewassen. In deze figuur zijn alle jaren en gewassen meegenomen. We zien een duidelijk seizoensgebonden patroon dat sterke overeenkomsten heeft met het patroon dat door Sluijsmans & Kolenbrander werd gevonden (zie Figuur 3.1). In de wintermaanden (oktober tot en met maart) vindt ongeveer 25% (77 kg N ha⁻¹) N van de totale mineralisatie per jaar plaats.



Figuur 3.8 De N mineralisatie gedurende het jaar op 'De Marke'; het verloop van de mineralisatie volgens Sluijsmans & Kolenbrander (1976) is ter vergelijking weergegeven

3.3 Weereffecten

Het effect van temperatuur en neerslag op de jaarmineralisatie is onderzocht door jaren te groeperen naar gelang het weertype. Een onderscheid is gemaakt tussen jaren warmer dan gemiddeld en jaren kouder dan gemiddeld. Vervolgens zijn de jaren ingedeeld in jaren droger dan gemiddeld en natter dan gemiddeld (zie Tabel 3.2). Verstrengeling van weereffecten met rotatie-effecten zijn zoveel mogelijk beperkt door de fases in de rotatie waarin we de grootste rotatie-effecten verwachten van de analyse uit te sluiten: dit zijn eerstejaars gras en eerstejaars maïs. Bij de interpretatie is gecontroleerd hoe de waarnemingen per jaar verdeeld zijn over droge en natte plekken. Volgens dezelfde aanpak is de mineralisatie in voorjaren (januari, februari, maart) en najaren (oktober, november, december) geanalyseerd.

Tabel 3.3 geeft de geschatte gemiddelde mineralisatie weer voor de vier weertypen. De schatting werd gemaakt met een lineair regressiemodel met de 4-weertypen en de gewassen als verklarende variabelen. Het model verklaarde 47% van de variatie. De mineralisatie voor alle gewassen was het hoogst in jaren van het weertype warm en nat, gevolgd door jaren van het type koud en droog. De mineralisatie in jaren van de categorie warm en droog en de categorie koud en nat was significant lager. Als de resultaten van koude, natte jaren en koude, droge jaren worden samengevoegd, wordt het verschil met het gemiddelde van warme droge en warme natte jaren kleiner. Hetzelfde geldt als nat en droog worden samengevoegd zonder onderscheid naar temperatuur.

Tabel 3.2 De temperatuur en neerslaghoeveelheid in voorjaren (maanden januari, februari, maart) en najaaren (maanden oktober, november, december) geclassificeerd naar gelang het weertype

Categorie	Temp °Celsius	Neerslag (mm)	Jaren
Jaar			
Koud/droog	7,9	694	1995, 1996
Koud/nat	9,1	865	1993, 1994, 1997, 2001
Warm/droog	10,0	698	1999, 2002, 2003, 2005
Warm/nat	10,2	865	1998, 2000, 2004
Voorjaar			
Koud/droog	1,9	96	1993, 1996, 2003
Koud/nat	3,2	244	1994, 1995, 2001
Warm/droog	4,7	148	1997, 1998, 1999, 2005
Warm/nat	4,8	200	2000, 2002, 2004
Koud	2,5	170	
Warm	4,8	170	
Najaar			
Koud/droog	4,9	118	1995, 2003
Koud/nat	4,3	255	1993, 1996, 1998, 2002
Warm/droog	6,8	168	1997, 1999, 2000, 2004, 2005
Warm/nat	7,0	240	1994, 2001
Koud	4,5	194	
Warm	6,8	180	

Tabel 3.3 De N mineralisatie (geschatte gemiddelden) op 'De Marke' in koude, natte jaren; koude, droge jaren; warme, droge jaren en warme, natte jaren. Gemiddelden die significant verschillen van de gemiddelde mineralisatie behorend bij het weertype warm/nat zijn vet gedrukt

Categorie	Mineralisatie (standaardfout)			
	Koud/nat	Koud/droog	Warm/droog	Warm/nat
Blijvend grasland	372 (28)	407 (39)	327 (30)	451 (33)
Tijdelijk grasland	343 (38)	377 (45)	297 (39)	421 (41)
Maïs	178 (27)	213 (42)	132 (32)	257 (31)

Zowel de voorjaars- als de najaarsmineralisatie varieert op niet eenduidige wijze met het weertype (zie Bijlage II). Relatief hoge en lage mineralisatiesnelheden lijken willekeurig verdeeld te zijn over droge, natte, koude en warme weersomstandigheden in het voorjaar en in het najaar.

3.4 Mineralisatie in 'droge en natte plekken'

Plekken 2, 11 en 9 zijn als droog aangemerkt, plekken 17, 19 en 21 als nat. De gemiddelde mineralisatie over de gehele onderzoeksperiode is nauwelijks verschillend voor de droge en natte plekken (zie Tabel 3.1). Echter dit gemiddelde kan sterk beïnvloed zijn door de gewasrotatie die als het ware over de 'droge en natte plekken' heenzerft.

Tabel 3.4 geeft de mineralisatie weer in 'droge en natte plekken' uitgesplitst naar jaar en gewas zodat geen verstremgeling met gewaseffecten optreden. De cursief gedrukte waarden met grijze markering hebben betrekking op sets van mineralisatiebepalingen in 'droge en natte plekken' waarbij hetzelfde gewas in hetzelfde jaar werd geteeld, zodat het verschil droog/nat het enige verschil is. Eerstejaarsbouwland en eerstejaars grasland zijn buiten beschouwing gelaten. De mineralisatie is niet significant hoger in natte dan in droge plekken. Het gemiddelde verschil tussen natte en droge plekken in bouwland over alle vergelijkbare jaren is $44 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ en is niet significant. Tot en met 2001 lijkt een patroon herkenbaar van een ongeveer $50 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ hogere mineralisatie in natte plekken, maar dit wordt doorbroken door de resultaten van 2002 die exact het omgekeerde laten zien: een hogere mineralisatie in de droge plek. Ook in blijvend grasland, waar de mineralisatie bijna om het jaar hoger is in de natte

plek dan in de droge plek en omgekeerd, verdwijnt een eventueel droog/nat-effect in de ruis. Het effect in tijdelijk grasland is niet toetsbaar omdat er geen herhaling is van de mineralisatie op de natte plek.

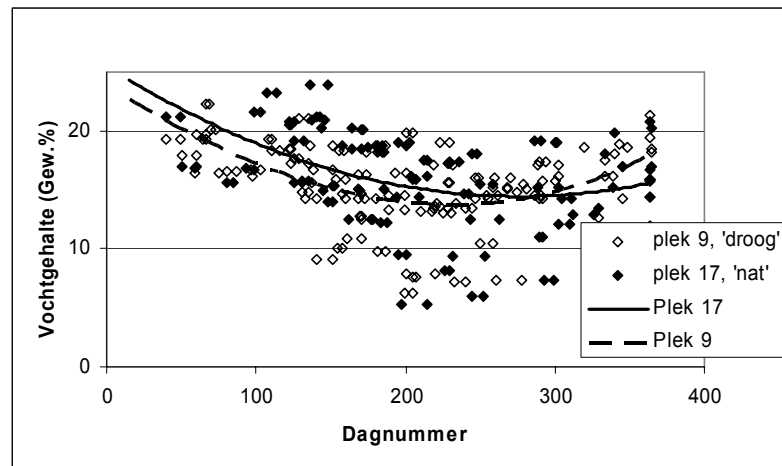
Tabel 3.4 De jaarmineralisatie ($\text{kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$) in bouwland (2^e, 3^e en meerdere jaars) en tijdelijk grasland (2^e en 3^e jaars) op 'natte' en 'droge plekken'. Waardes met in hetzelfde jaar hetzelfde bodemgebruik (gewas) op natte en droge plekken, zijn cursief en met grijze achtergrond weergegeven

Gebruik Plek	Bouwland		Grasland		Blijvend grasland	
	Droog (p. 2, 11)	Nat (p. 19, 21)	Droog (p. 2, 11)	Nat (p. 19, 21)	Droog (p. 9)	Nat (p. 17)
1993	156	279	-	-	213	387
1994	124	146	-	-	286	379
1995	144	-	-	-	542	342
1996	-	-	-	414	498	311
1997	-	-	310	505	384	734
1998	-	328	-	-	481	-
1999	-	169	-	-	484	-
2000	262	314	-	-	590	565
2001	105	157	-	-	298	359
2002	188	156	-	229	316	237
2003	-	116	414	-	271	238
2004	-	238	327	-	250	392
2005	-	-	264	-	332	255
Gemiddeld ¹⁾	167	211	310	505	362	382

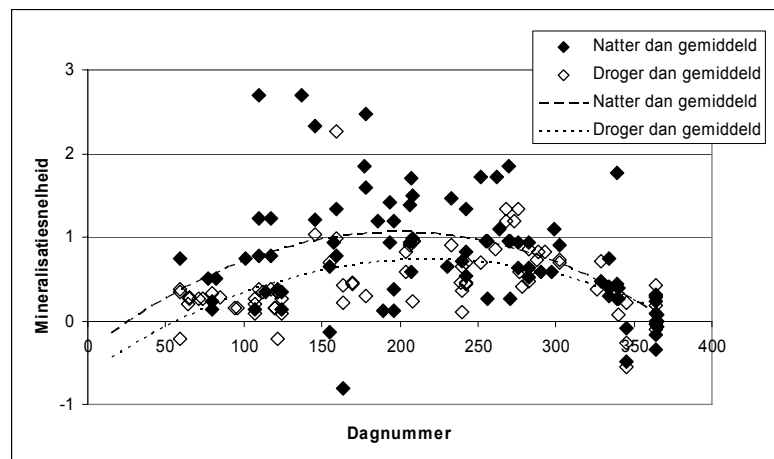
¹⁾ Van de cursief gedrukte en grijs gemarkeerde waarden.

Het onderscheid van droge plekken: 2, 9, 11 en natte plekken: 17, 19, 21 is voorafgaand aan de interpretatie van gegevens gemaakt. Droge plekken zijn echter niet altijd droger geweest dan natte plekken (zie Bijlage III). Dit kan voor blijvend grasland duidelijk worden geïllustreerd aan de hand van Figuur 3.9. Het gemiddelde verloop van het vochtgehalte in de 'droge plek' en dat van de 'natte plek' liggen betrekkelijk dicht bij elkaar.

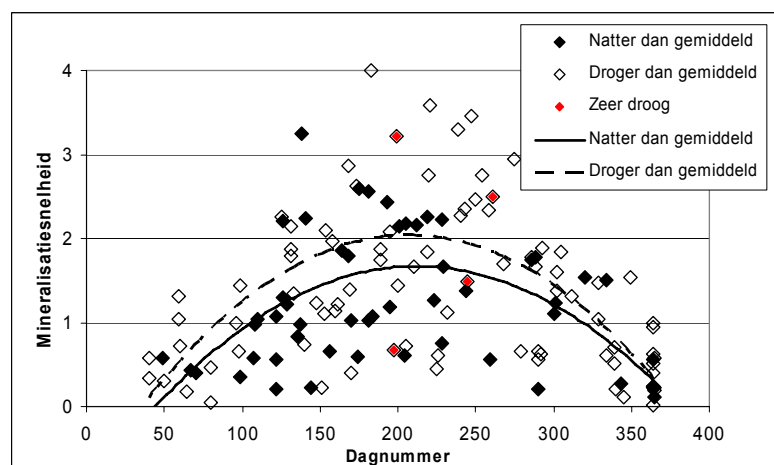
Daarom is het effect van vocht op de mineralisatie geanalyseerd op grond van de gemeten vochtgehalten in plaats van de aanduidingen van de plekken. Deze ordening van resultaten levert geen ander beeld op dan de analyse op grond van vooraf bepaalde indeling van de plekken in 'droog en nat'. Vergelijking van de mineralisatie in incubatiebuisjes met een vochtgehalte hoger dan gemiddeld en een vochtgehalte lager dan gemiddeld levert geen duidelijke verschillen op. Figuur 3.10 geeft als voorbeeld de mineralisatiesnelheid weer in maïs in buisjes met een vochtgehalte lager dan gemiddeld en natter dan gemiddeld. Figuur 3.11 geeft de mineralisatiesnelheid in deze groepen weer voor tijdelijk gras. De curves die de mineralisatie in 'natte plekken' en 'droge plekken' weergeven, liggen dicht bij elkaar en de mineralisatie in de natte plekken is niet consistent hoger.



Figuur 3.9 Het verloop van het vochtgehalte op de 'droge' plek 9 en de 'natte' plek 17 in blijvend grasland. 'De Marke' (metingen van 1993-2001)



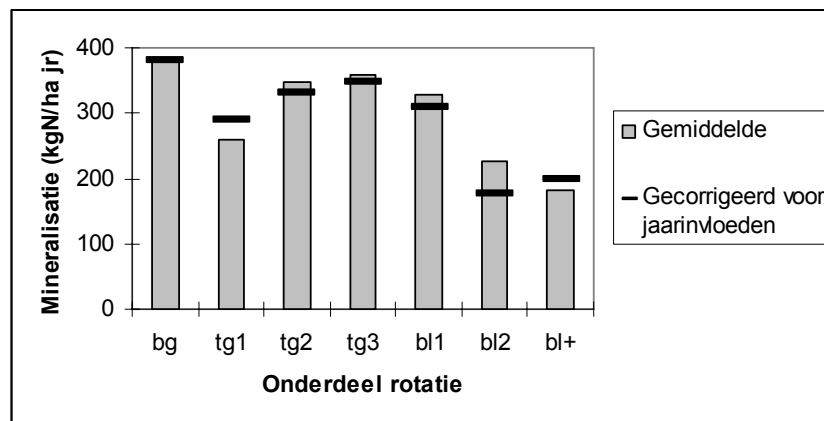
Figuur 3.10 Mineralisatiesnelheid ($\text{kg N ha}^{-1} \text{dag}^{-1}$) in relatief droge en relatief vochtige grond in maïs (tweede-, derde- of meerjaars)



Figuur 3.11 Mineralisatiesnelheid ($\text{kg N ha}^{-1} \text{dag}^{-1}$) in relatief droge en relatief vochtige grond en zeer droge grond (vochtgehalte < 5%) in gras (tweede-, derde- of meerjaars)

3.5 Effecten van gewas en gewasrotatie

Figuur 3.12 geeft de gemiddelde mineralisatie weer voor blijvend gras en voor tijdelijk gras en maïs met en zonder correctie voor jaarinvloeden¹. De resultaten zijn tevens samengevat in Tabel 3.5. De mineralisatie is het hoogst in blijvend grasland met 381 kg N ha⁻¹jr⁻¹. In tijdelijk grasland is de mineralisatie met 322 kg N ha⁻¹jr⁻¹ duidelijk hoger dan in bouwland (245 kg N ha⁻¹jr⁻¹). In tijdelijk grasland neemt de mineralisatie toe van 259 tot 360 kg N ha⁻¹jr⁻¹ naarmate het tijdelijk grasland ouder is. In bouwland is dat juist andersom; daar neemt de mineralisatie af van 328 naar 182 kg N ha⁻¹jr⁻¹. Correctie voor jaarinvloeden verandert weinig aan de resultaten. De mineralisatie in blijvend grasland is significant hoger dan van eerstejaars gras. De mineralisatie in eerstejaars gras is na correctie voor jaarinvloeden niet meer significant lager dan van tweede- en derdejaars gras. De mineralisatie in eerstejaarsbouwland is, ook na correctie voor jaarinvloeden significant hoger dan in latere jaren bouwland, echter het verschil tussen tweede en meerdere jaars bouwland valt weg.



Figuur 3.12 De N mineralisatie in gras en bouwlandgewassen in verschillende fases van de rotatie

Tabel 3.5 De mineralisatie in kg N ha⁻¹jr⁻¹ per gewasgroep

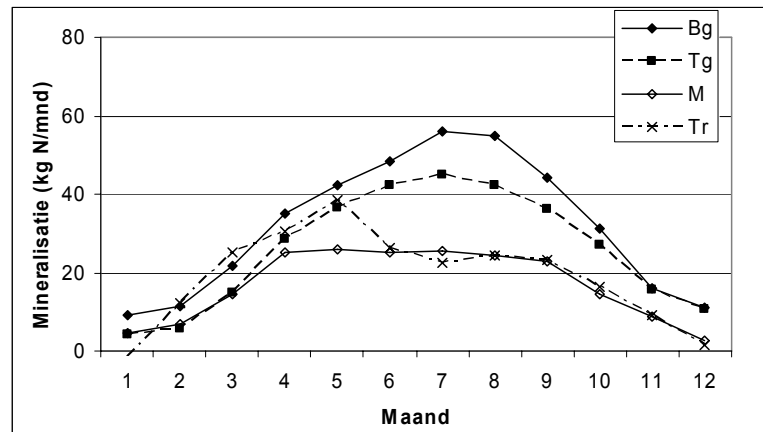
Fase rotatie (n)	Gemiddelde	Gemiddelde gecorrigeerd voor jaarinvloeden	Sd	Se
Bg (24)	381	381	133	20
Tg1 (9)	259	291	93	35
Tg2 (7)	348	331	87	40
Tg3 (3)	360	348	74	59
Bl1 (5)	328	309	93	46
Bl2 (7)	225	177	97	40
Bl+ (17)	182	199	84	25

In Figuur 3.13 is per gewas de verdeling van de mineralisatie in het jaar weergegeven (gemiddelde ongecorrigeerd voor jaarinvloeden)². In Bijlage V zijn alle resultaten weergegeven per maand, inclusief die voor gerst/erwten en voederbiet.

De mineralisatie in blijvend grasland en tijdelijk grasland is min of meer hetzelfde verdeeld over het jaar, terwijl de mineralisatie in de bouwlandgewassen maïs en triticale duidelijk afwijkt door een vlak verloop. De mineralisatie in triticale verloopt in de maanden januari tot en met juni gelijk aan dat in gras, maar valt vervolgens sterk terug tot een niveau vergelijkbaar met maïs. Het moment van omploegen van Italiaans raaigras (begin maart) en bemesten (begin april) voorafgaand aan het zaaien van maïs zijn niet herkenbaar als pieken in het verloop van de mineralisatie.

¹ Omdat gras en maïs niet evenveel voorkomen in verschillende jaren (zie Tabel 2.2) en de mineralisatie per jaar verschillend is (zie hoofdstuk 3.2), is nagegaan of correctie voor jaarinvloeden sterk afwijkende resultaten oplevert ten opzichte van ongecorrigeerde gemiddelden van de mineralisatie per gewas. Hierbij is blijvend grasland gebruikt als referentie voor jaareffecten. In Bijlage IV is de werkwijze in detail beschreven.

² Correctie voor jaarinvloeden leidde niet tot andere resultaten (zie Bijlage V).



Figuur 3.13 De verdeling van de N mineralisatie in het jaar in verschillende gewassen (Bg = blijvend grasland, Tg = tijdelijk grasland, M = maïs, Tr = triticale)

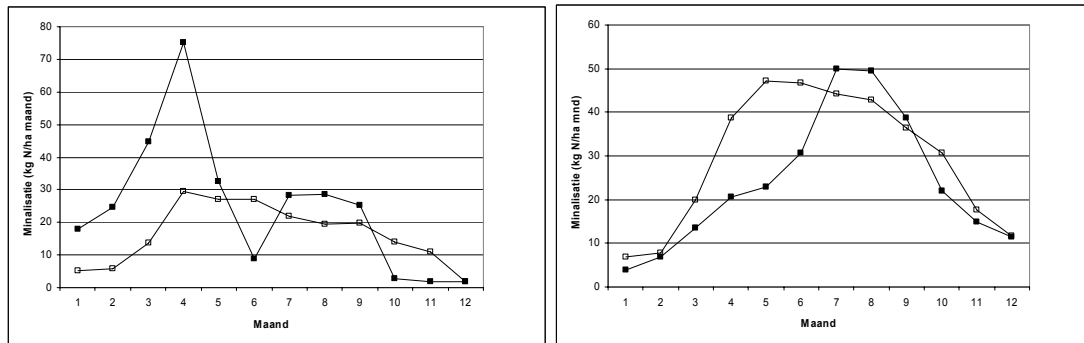
In Tabel 3.6 en Tabel 3.7 is weergegeven de mineralisatie in het voorjaar in verschillende fases van de gewasrotatie met en zonder weercorrectie. De mineralisatie in eerstejaars gras is in het voorjaar significant lager dan in latere jaren gras. De mineralisatie in eerstejaars maïs is in het voorjaar significant hoger dan in latere jaren maïs. De mineralisatie in triticale lijkt iets hoger dan in 3^e en meerderejaars maïs maar verschillen zijn niet significant. In het najaar verdwijnen deze, met gewasrotatie samenhangende, verschillen grotendeels. Het valt vooral op dat de mineralisatie in eerstejaars maïs in het najaar niet hoger is dan in latere jaren. Figuur 3.14 geeft de effecten van gewasrotatie in maïs en tijdelijk gras op de verdeling van de mineralisatie in het jaar. Omdat de resultaten met en zonder weercorrectie niet wezenlijk verschillen zijn alleen de gemiddelde waarden weergegeven. Het grillige patroon in eerstejaars maïs verdwijnt niet na correctie voor weersinvloeden.

Tabel 3.6 De gemiddelde mineralisatie in verschillende gewassen en fases in de gewasrotatie in het voorjaar (januari, februari, maart) en het najaar (oktober, november, december)

Gewas	Fase in rotatie	Voorjaar	Najaar	Aantal waarnemingen
Maïs	1 ^e jaars	88	20	3
	2 ^e jaars	21	28	7
	3 ^e jaars en meer	18	26	14
Triticale	laatste jaar bouwland	36	27	3
Tijdelijk gras	1 ^e jaars	10	41	7
	2 ^e jaars	25	62	9
	3 ^e jaars	43	58	27

Tabel 3.7 De gemiddelde mineralisatie gecorrigeerd voor weersinvloeden in verschillende gewassen en fases in de gewasrotatie in het voorjaar (januari, februari, maart) en het najaar (oktober, november, december)

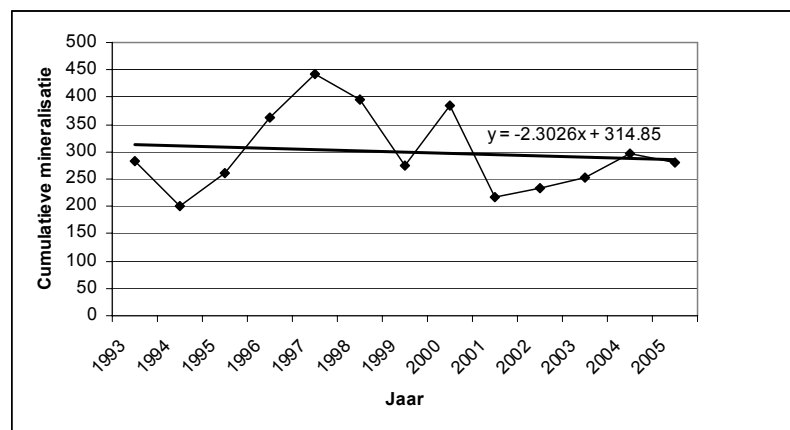
Gewas	Fase in rotatie	Voorjaar	Najaar	Aantal waarnemingen
Maïs	1 ^e jaars	104	22	3
	2 ^e jaars	22	29	7
	3 ^e jaars en meer	17	25	14
Tijdelijk gras	1 ^e jaars	8	39	7
	2 ^e jaars	26	64	9
	3 ^e jaars	43	58	27



Figuur 3.14 Het verloop van de N mineralisatie in eerstejaars maïs (zwarte vierkanten, $n = 4$) en meerderejaars maïs (open vierkanten, $n = 20$) en in eerstejaars gras (zwarte vierkanten, $n = 8$) en tweede- en derdejaars gras (open vierkanten, $n = 10$)

3.6 Lange termijn ontwikkelingen

In deze paragraaf worden de resultaten weergegeven met betrekking tot lange termijn ontwikkeling van de N mineralisatie op 'De Marke'. Figuur 3.14 geeft de jaarmineralisatie gemiddeld over alle plekken weer. Lineaire regressie tegen de tijd geeft aan dat de mineralisatie is afgenomen met minder dan 1% per jaar, deze afname is niet-significant verschillend van nul.



Figuur 3.15 De ontwikkeling van de jaarlijkse mineralisatie (gemiddelden van alle plekken)

Om verstrengelingen met plek- en rotatie-effecten uit te sluiten is de ontwikkeling van de mineralisatie per plek onderzocht (Tabel 3.8). Door lineaire regressie tegen de tijd is per plek onderzocht hoe de mineralisatie zich ontwikkelt bij een herhaling van de behandeling (gewas en bemesting) in de tijd. In blijvend grasland herhaalt de behandeling (gewas) zich voortdurend zodat alle meetwaarden in de analyse betrokken konden worden. Voor de plekken in rotatie is regressie toegepast op de zich herhalende gewassen en fases in de rotatie. Op bijvoorbeeld plek 11 kwam 2^e jaars gras voor in 1997 en 2003 (de mineralisatie was respectievelijk 332 en 414 kg N ha⁻¹jr⁻¹). De ontwikkeling van de mineralisatie kan voor deze herhaalde gewasrotatie uitgedrukt worden in een regressiecoëfficiënt tegen de tijd: $(414-332)/(2003-1997) = 14$ kg N ha⁻¹jr⁻². Elke herhaalde behandeling vormt een aparte waarneming. Gemiddeld neemt de mineralisatie af met iets minder dan 1% per jaar, een waarde die vergelijkbaar is met het gemiddelde van alle plekken, zoals weergegeven in Figuur 3.14. Deze ontwikkeling verschilt niet significant van nul. De verschillen lopen uiteen van -38 tot 33 kg N ha⁻¹jr⁻². Op blijvend grasland nam de mineralisatie op beide plekken af. Alleen op de huiskavel nam de mineralisatie gemiddeld toe.

Tabel 3.9 geeft de ontwikkeling weer van de cumulatieve mineralisatie in het winterseizoen (vanaf 1 oktober tot en met maart). Gemiddeld over alle plekken bleef de mineralisatie in de winter gelijk. De mineralisatie in blijvend grasland is afgenomen. In de jaren voor 2000 kwamen nog regelmatig waarden hoger dan 100 kg N ha⁻¹winter⁻¹ voor, maar daarna nauwelijks. Gemiddeld is de ontwikkeling in tijdelijk grasland niet sterk verschillend van die in maïs.

Tabel 3.8 De mineralisatie waargenomen in herhaald toegepaste gewassen en rotatiefases op een plek en de verandering van de mineralisatie per plek in de tijd

Plek	Gebruik	Mineralisatie (kg N ha ⁻¹ jr ⁻¹)										$\delta N_{min}/\delta t$ (kg N ha ⁻¹ jr ⁻²)				
		1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Plek	Kavel
9	Bg	213	286	542	498	384	481	484	590	298	316	271	250	332	-6	Bg -9
17	Bg	387	379	342	311	734			565	359	237	238	392	255	-11	
2	Tg1 Tg2 M3				147							296			8	Hk 8
		156				288				93			344		21	
															-8	
11	Tg1 Tg2 M2				395	332					275	414			-20	
			126						326						14	
															33	
19	Tg1 Tg2 M1 M2			226						273				166	-16	Vk -9
					329						229				-4	
							376	179				188	105		-19	
		314													-38	
21	Tg1 M5 M6			162										388	23	
		245	159							157					-11	
											156				0	
Gemiddeld															-2	

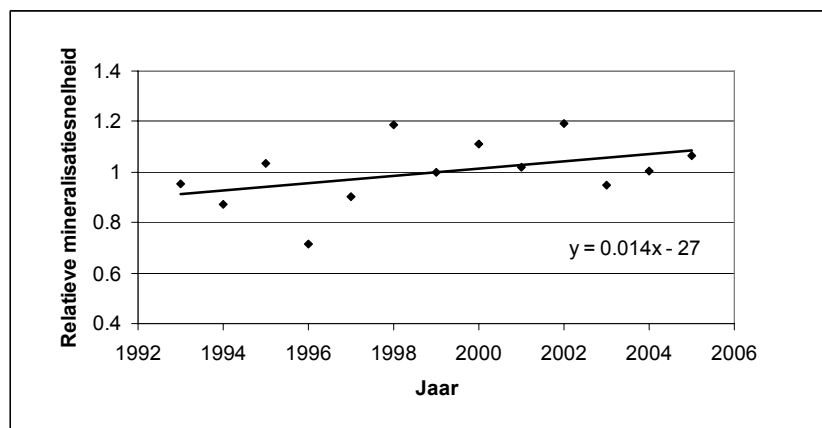
Tabel 3.9 De mineralisatie (vanaf 1 oktober tot en met maart) in herhaald toegepaste gewassen en rotatiefases op een plek en de verandering van de mineralisatie per plek in de tijd

Plek	Gewas	Mineralisatie (kg N ha ⁻¹ jr ⁻¹)											$\delta N_{min}/\delta t$ (kg N ha ⁻¹ jr ⁻²)		
		1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Plek	Kavel	
9	Bg	113	132	75	68	189	120	96	99	61	86	28	-6	Bg -5	
17	Bg	174	128	162	210			105	50	63	79	57	-12		
2	Tg1 Tg2			48		63					116		7		
												86	4		
11	Tg1 Tg2 M2			85	92					72	118		-2	Hk 3	
		66						50					8		
													-4		
19	Tg1 Tg2 M1 M2		33	142					77	81	38	13	9		
						-7	48						-6	Vk 1	
													7		
													-7		
21	M5	86								34			-8		
Gemiddeld													0		

De resultaten van de Tabellen 3.8 en 3.9 kunnen zowel beïnvloed zijn door weereffecten als door lange termijn veranderingen. Weereffecten zijn onderscheiden van lange termijn ontwikkelingen de ontwikkeling van de mineralisatie per weertype te onderzoeken.

Als per plek alleen herhaalde behandelingen worden vergeleken waarvan het weertype in de herhaling gelijk was aan de eerdere behandeling resteren slechts 5 regressielijnen op grond waarvan de ontwikkeling in de tijd kan worden bepaald. (bij veel van de herhaalde behandelingen is het weertype veranderd, zodat ze buiten de selectie vallen). Omdat dit gegevensverlies gezien de grote variatie in de mineralisatiegegevens bezwaarlijk is, is een methode toegepast waarbij meer gegevens in beschouwing genomen kunnen worden. Per jaar is de gemiddelde mineralisatie van alle plekken bepaald, waarbij het gemiddelde gecorrigeerd is voor gewaseffecten. Dit is gedaan door de mineralisatiesnelheden per gewas uit Tabel 3.5 om te zetten in correctiefactoren voor gewaseffecten. De resultaten per jaar zijn gegroepeerd in een van de vier weertypes die ook werden onderscheiden in paragraaf 3.3. Zo zijn tijdreeksen verkregen van mineralisatie per weertype. De gemiddelde tendens van deze tijdreeksen, een afname van de mineralisatie met $5 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-2}$ (minder dan 2%), geeft de ontwikkeling van de mineralisatie aan ontdaan van weereffecten. De afname is statistisch niet significant. Gezien de grote onzekerheden is het niet verdedigbaar een exacte waarde te noemen voor de ontwikkeling van de mineralisatie. Echter, een afname van 0 tot $5 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-2}$ lijkt niet onwaarschijnlijk.

Vergelijking van de waargenomen ontwikkeling (Tabel 3.9) met de mineralisatie die te verwachten is op grond van de gemiddelde temperatuur in de winters van 1993 tot en met 2005 (geschat met de Arrhenius vergelijking³), wijst op een geleidelijke afname van de wintermineralisatie. De temperatuur in het winterseizoen is in de loop der jaren toegenomen (zie ook hoofdstuk 2). In Figuur 3.16 is de relatieve mineralisatiesnelheid in de winters weergegeven. We zien dat op grond van het verloop van de temperatuur in de winter een toename van de mineralisatiesnelheid te verwachten is van bijna 20%. Als we dit als temperatuur-effect beschouwen en de waargenomen tendens hiervoor corrigeren, kunnen we vaststellen dat de wintermineralisatie, ontdaan van weerseffecten, met bijna 2% per jaar is afgenomen.



Figuur 3.16 Verloop van de mineralisatiesnelheid in de winterseizoenen van 1993/1994 tot en met 2004/2005 berekend met de temperatuur per winter

³ $\alpha_t/\alpha_{10} = \exp -9000(1/(273+t)-(1/283))$,
 waarbij
 α_t = de mineralisatiesnelheid bij een temperatuur t °C,
 α_{10} = de mineralisatiesnelheid bij 10°C,
 t = de temperatuur in °C.

Deze formule geeft de relatie weer tussen de temperatuur en de mineralisatiesnelheid in een temperatuurstraject tussen 0 en 26°C (zie ook Janssen, 2000).

3.7 Conclusies

3.7.1 Algemeen

De mineralisatie gemiddeld over alle jaren en plekken bedraagt $299 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$.

De mineralisatie varieert in een jaar sterk per plek en verschilt op een plek sterk in verschillende jaren. Het traject waarbinnen 50% van de waarnemingen zich bevinden verschilt per plek. Op de plek met de kleinste spreiding is de omvang van dit gebied $121 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ en op de plek met de grootste spreiding is de omvang van dit gebied tot $217 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$. Van jaar tot jaar verschilt de gemiddelde mineralisatie $80 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$.

Ongeveer $77 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ (25% van de jaarlijkse N mineralisatie) vindt plaats in de maanden oktober tot en met maart. De ontwikkeling van de mineralisatie in een jaar komt goed overeen met de ontwikkeling volgens Sluijsmans & Kolenbrander (1976).

3.7.2 Weereffecten

De mineralisatie in jaren die getypeerd kunnen worden als warm en nat is ongeveer $79 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ hoger dan de mineralisatie in koude, natte jaren en $125 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ hoger dan in warme, droge jaren. Het verschil tussen de mineralisatie in warme, natte jaren en koude, droge jaren is niet significant.

Het effect van een warm, koud of droog weertype op de mineralisatie in het voorjaar en najaar is niet significant.

De resultaten met betrekking tot de invloed van weerjaren kunnen verstrengeld zijn met geleidelijke veranderingen omdat warme jaren meer voorkomen aan het einde van de meetreeks. Daardoor kunnen warme voor- en najaren samenvallen met de gevolgen van systeemoptimalisatie of bijvoorbeeld met langdurige effecten van krappe bemesting. In hoofdstuk 7 wordt verder op dit aspect ingegaan.

3.7.3 Mineralisatie in 'natte en droge plekken'

De mineralisatiesnelheid in 'natte plekken' is niet significant hoger dan op 'droge plekken'. Analyses op grond van het gemeten vochtgehalte geven eveneens geen significante verschillen aan tussen de mineralisatie in 'droge' en 'natte plekken'. In analyses van het effect van andere factoren op de mineralisatie is het daarom niet persé noodzakelijk 'droge' en 'natte plekken' van elkaar te onderscheiden.

3.7.4 Gewaseffecten

De mineralisatie is in blijvend grasland hoger dan in tijdelijk gras en bouwland. De mineralisatie in tijdelijk gras is in het eerste jaar duidelijk lager dan in de overige jaren tijdelijk grasland. De mineralisatie in bouwland is in het eerste jaar duidelijk hoger dan in de overige bouwlandjaren. Zonder jaarcorrectie is een geleidelijke toename van de mineralisatie te zien naarmate gras ouder wordt en een geleidelijke afname in bouwland naarmate de bouwlandfase toeneemt. Met jaarcorrectie is dit patroon ook te zien.

De mineralisatie in maïs verloopt in de zomermaanden vlak vergeleken met die in blijvend grasland en tijdelijk grasland. Triticale heeft een afwijkend mineralisatiepatroon met een snelle toename vroeg in het jaar gevolgd door een aanzienlijke terugval. De rotatie heeft in twee fases duidelijke invloed op de verdeling van de mineralisatie. In eerstejaars maïs is de N mineralisatie in de eerste helft van het jaar hoger dan bij latere maïsjairen. In eerstejaars gras (volgend op bouwland) is de mineralisatie in de eerste helft jaar lager dan in latere jaren met tijdelijk gras.

3.7.5 Lange termijn ontwikkelingen

In de onderzoeksperiode is de mineralisatie niet aanwijsbaar afgenomen.

Het onderscheiden van weereffecten van lange termijn ontwikkelingen maakt het mogelijk een lange termijn ontwikkeling te schatten die gecorrigeerd is voor weereffecten. Deze voor weereffecten gecorrigeerde ontwikkeling wordt geschat op $-5 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-2}$. Deze afname is statistisch niet significant.

De mineralisatie in de winter, berekend op basis van herhaalde behandelingen per plek, is gestabiliseerd. Correctie voor de verwachte mineralisatie op grond van de temperatuursontwikkeling in de winter met de waargenomen mineralisatie in de winter, resulteert in een jaarlijkse afname van de wintermineralisatie van bijna 2%.

4 Effecten van mineralisatie

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zijn de resultaten weergegeven die betrekking hebben op de effecten van mineralisatie op de N stroom in het bodem- en gewassysteem (de verdeling van N over opname door gewas en uitspoeling) en de droge stofopbrengst van gewassen. De resultaten in dit hoofdstuk zijn dus een vervolgstap in de oorzaak-gevolg-keten: omgevingsfactoren -> mineralisatie (hoofdstuk 3) -> N stromen (dit hoofdstuk). In dit hoofdstuk gaat het om de volgende vragen:

- Wat is de invloed van mineralisatie op het Nmin gehalte in de bodem (paragraaf 4.2).
- Wat is de invloed van mineralisatie op de N opname, het N gehalte in gewassen en de droge stofopbrengsten van gewassen (paragraaf 4.3).
- Wat is de invloed van mineralisatie op nitraatuitspoeling (paragraaf 4.4).

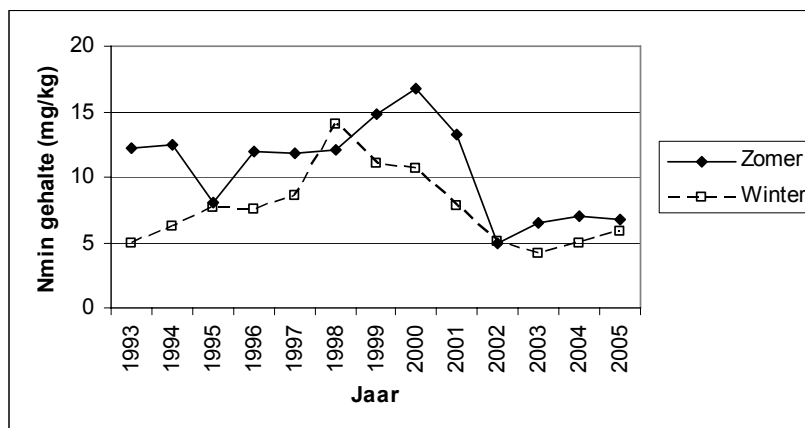
De Nmin gehalten in de bodem worden in beschouwing genomen omdat Nmin de vorm is van waaruit N verdeeld wordt over gewasopname of uitspoeling en denitrificatie (zie ook hoofdstuk 1, Figuur 1.1). Aan het voorkomen van hoge en lage Nmin gehalten kan dus betekenis worden gehecht, afhankelijk van de periode. Zo wordt een hoog Nmin gehalte in het najaar vaak beschouwd als indicator van nitraatuitspoeling. In de hoofdstukken 5 en 6 wordt uitvoeriger ingegaan op de interpretatie van Nmin gehalten.

4.2 Het Nmin gehalte

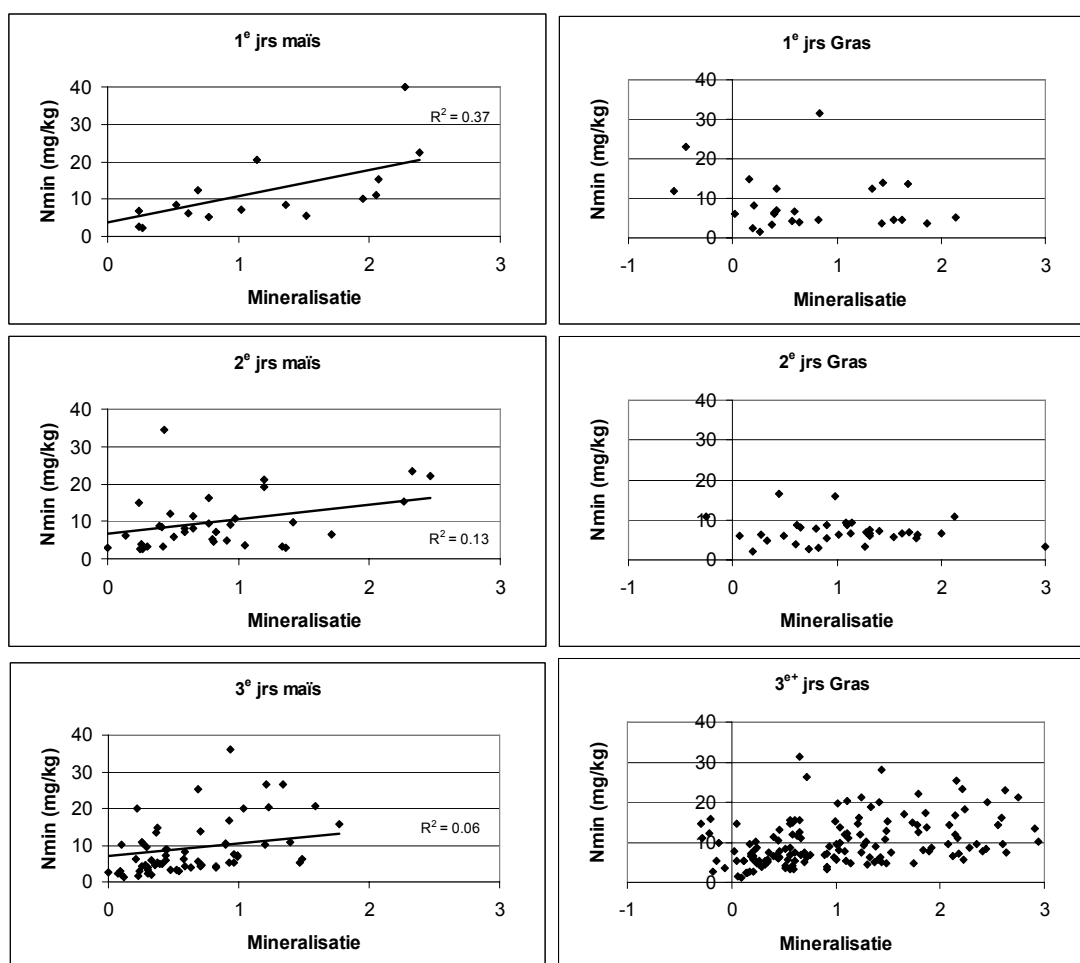
Wat is de invloed van mineralisatie op het Nmin gehalte in de bodem? In Figuur 4.1 is de ontwikkeling van het minerale N gehalte gemiddeld voor alle waarnemingsplekken en voor blijvend grasland weergegeven. De tijdreeksen van het Nmin gehalte in de afzonderlijke waarnemingsplekken zijn opgenomen in Bijlage VI. De figuren hebben betrekking op de Nmin gehalten die werden gemeten in de drie bodemmonsters rond de mineralisatiebuisjes op het moment dat de buisjes werden verwijderd (zie ook paragraaf 2.2). De gegevens *rond* de mineralisatiebuisjes zijn gebruikt omdat we geïnteresseerd zijn in de invloed van mineralisatie op het Nmin gehalte in het milieu waarin ook gewasonttrekking kan plaatsvinden.

We zien dat het Nmin gehalte in de bouwvoor zowel in de zomer als in de winter na 1994 is toegenomen en vervolgens, na 2000 weer is afgenomen. Het verloop doet sterk denken aan dat van de mineralisatie zoals dat werd weergegeven in Figuur 3.14. Echter, de correlatie tussen de jaargemiddelden van de mineralisatie (gemiddeld voor alle plekken) en het Nmin gehalte (gemiddeld voor alle plekken) is laag. Dat geldt ook voor de individuele waarnemingen in plekken wanneer geen uitsplitsing wordt gemaakt naar gewassen (zie Bijlage VII).

In Figuur 4.2 is per gewas en fase in de rotatie het Nmin gehalte uitgezet tegen de mineralisatie. In eerstejaars maïs is er een positief verband tussen de mineralisatie en het Nmin gehalte. In de overige jaren maïs is dit verband niet waarneembaar. In eerste en tweedejaars gras is Nmin niet gecorreleerd met de mineralisatie en in derde en meer jaars gras (dus inclusief blijvend grasland) is er een lichte correlatie.



Figuur 4.1 Nmin gehalten in de zomer en winter (jaren 1993-2005) op 'De Marke'



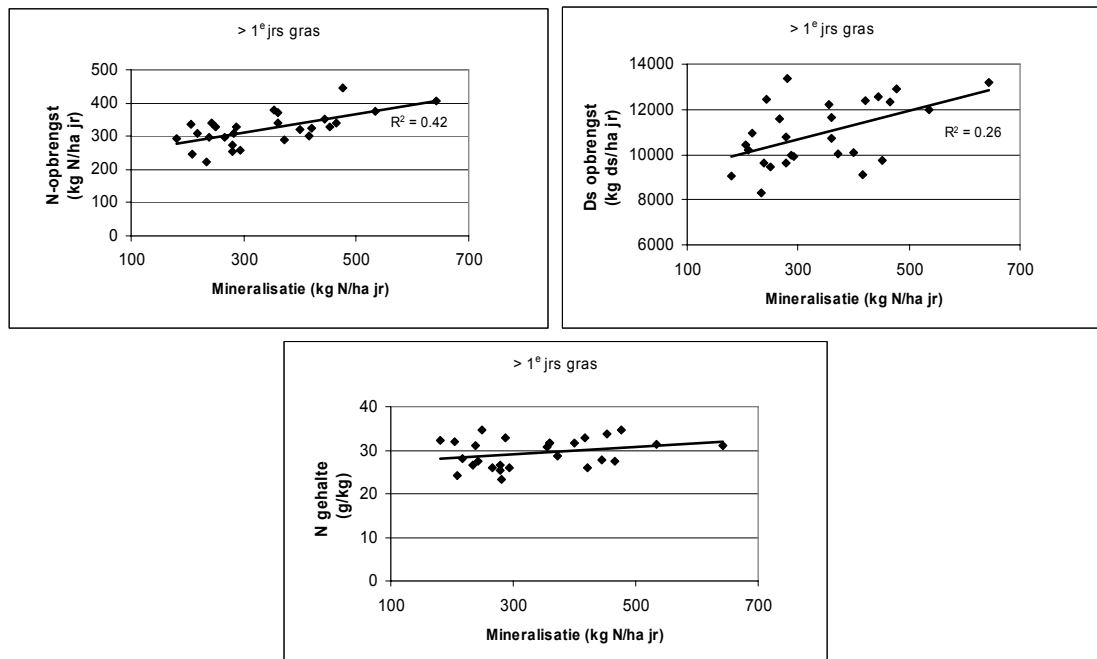
Figuur 4.2 Nmin gehalten in maïs en gras uitgezet tegen de mineralisatiesnelheid ($\text{kg N ha}^{-1} \text{dag}^{-1}$)

4.3 N opname, gewaskwaliteit en droge stofopbrengst

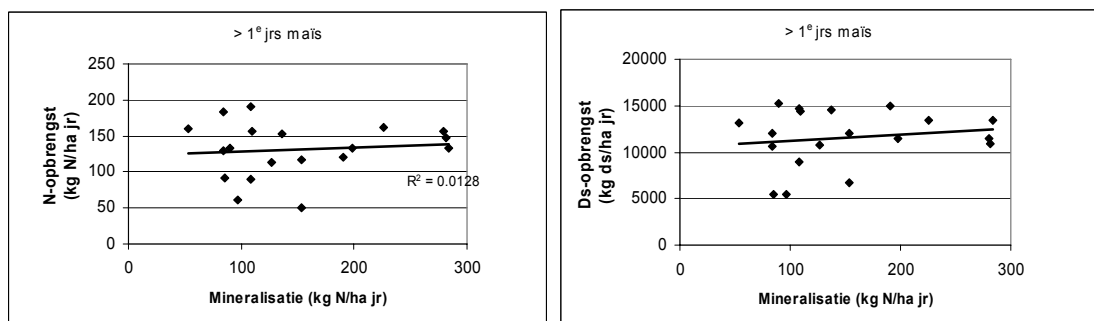
Wat is de invloed van mineralisatie op de N opname, gewasopbrengsten en de gewaskwaliteit?

In Figuren 4.3 en 4.4 is voor gras en maïs de N opname, de droge stofopbrengst en het N gehalte uitgezet tegen de seizoensmineralisatie. Onder de seizoensmineralisatie wordt verstaan de mineralisatie die plaatsvond in het groeiseizoen. Voor gras is uitgegaan van de periode maart tot en met november. Voor maïs is uitgegaan van begin maart (omdat stikstof die door mineralisatie vrijkomt na het frezen van het vanggewas in begin maart in principe nog door maïs benut kan worden) tot en met september (iets na de gemiddelde oogstdatum).

De N opname in gras neemt toe met de mineralisatiesnelheid in het groeiseizoen. De droge stofopbrengst neemt ook toe, maar de respons is minder sterk dan de N opbrengst. Het N gehalte neemt eveneens licht toe met de mineralisatie. De reactie van maïs wijkt sterk af van die van gras. N opname en de droge stofopbrengst en het N gehalte reageren niet duidelijk op het N aanbod. Het aantal waarnemingen in eerstejaarsgewassen was te klein om de relatie tussen mineralisatie en opbrengst te onderzoeken.



Figuur 4.3 De relatie tussen N mineralisatie in het groeiseizoen en de N opbrengst, de droge stofopbrengst en het N gehalte van gras ouder dan eerstejaars



Figuur 4.4 De relatie tussen N mineralisatie in het groeiseizoen en de N opbrengst, de droge stofopbrengst en het N gehalte van maïs ouder dan eerstejaars

4.4 Nitraatuitspoeling

Wat is de invloed van mineralisatie op nitraatuitspoeling? N verliezen door nitraatuitspoeling en denitrificatie worden niet specifiek in vaste waarnemingsplekken gemeten. Wel is de nitraatuitspoeling bepaald voor alle afzonderlijke percelen op 'De Marke' in een meetdichtheid van 3 boorpunten per hectare. Er is nauwelijks enige samenhang tussen de mineralisatiesnelheid in de vaste waarnemingsplekken en de nitraatgehaltes die zijn gemeten in de percelen waarin de plekken gelegen zijn (zie Bijlage VIII).

4.5 Conclusies

De zomerwaarden van het N_{min} gehalte in de bodem zijn sinds 2000 afgenomen van 10 tot 15 mg kg⁻¹ naar ongeveer 5 mg kg⁻¹. N_{min} gehalten in de winterperiode waren in 1993 laag: 5 mg kg⁻¹, zijn vervolgens gestaag toegenomen tot bijna 15 mg kg⁻¹ en zijn vervolgens weer gezakt naar het uitgangsniveau dat sinds 2002 gehandhaafd blijft.

In eerstejaars maïs en (in iets mindere mate) in tweedejaars maïs neemt het N_{min} gehalte toe naarmate de mineralisatiesnelheid hoger is. In gras is nauwelijks een samenhang te vinden in het N_{min} gehalte in de bodem en de mineralisatiesnelheid.

De N opname, droge stofopbrengst en N gehalte in gras reageren duidelijk op de mineralisatie. In maïs is dit niet het geval.

5 Interpretatie en verklaring

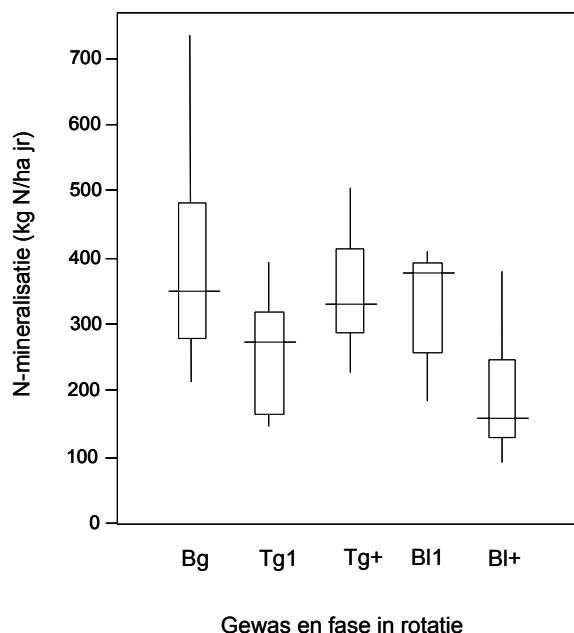
5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk gaan we in op de resultaten die zijn weergegeven in hoofdstuk 3 en 4. Paragraaf 5.2 tot en met 5.7 gaan in op de resultaten uit hoofdstuk 3 die betrekking op effecten van omgevingsfactoren op mineralisatie. De discussie in dit deel sluit aan op de onderzoeksvragen uit paragraaf 1.3.1. Paragraaf 5.8 gaat in op de resultaten uit hoofdstuk 4 met betrekking tot de relatie van mineralisatie met het N_{min} gehalte in de bodem, de N opname en N uitspoeling. De discussie sluit aan op de onderzoeksvragen vermeld in paragraaf 1.3.2.

5.2 Hoeveel N_{min} komt door mineralisatie vrij en hoe groot is de spreiding?

Gemiddeld over de gehele onderzoeksperiode en voor alle waarnemingsplekken is de mineralisatie 299 kg N ha⁻¹jr⁻¹. Volgens de vuistregel van Kortleven wordt onder Nederlandse omstandigheden jaarlijks 2% van de organische stof in de bodem afgebroken (Kortleven, 1963). Op 'De Marke' komt dat overeen met een berekende N mineralisatie van 180 kg N ha⁻¹jr⁻¹. De gemeten mineralisatie is dus hoger dan de mineralisatie volgens de verwachting van Kortleven. Een relatief hoge mineralisatiesnelheid is 'op De Marke' verklaarbaar omdat de bescherming van organische stof door de schrale omstandigheden en het lage lutumgehalte heel beperkt is (Hassink, 1995). De berekening volgens Kortleven houdt geen rekening met het effect van het lutumgehalte op de mineralisatie.

De spreiding tussen plekken, jaren, gewassen en gewasfasen is groot. Het traject waarbinnen 50% van de waarnemingen zich bevinden loopt van 183 tot 380 kg N ha⁻¹jr⁻¹ (verschil 200 kg N ha⁻¹jr⁻¹). Een deel van de variatie wordt veroorzaakt door weersgesteldheid en bodemgebruik (gewassen en gewasfasen). De variatie die hier niet door verklaard wordt blijft groot. Figuur 5.1 geeft de variatie van de mineralisatie aan voor onderscheiden gewas en gewasfase. Als we blijvend grasland buiten beschouwing laten, verschillen de boven- en ondergrens van het gebied waarbinnen 50% van de waarden liggen nog 130 kg N ha⁻¹jr⁻¹. Deze spreiding is gelijk aan bijna de helft van de hoeveelheid N die jaarlijks naar de bodem wordt aangevoerd met mest, weidemest en kunstmest.



Figuur 5.1 De spreiding van de N mineralisatie rond gemiddelden onderscheiden naar gewas en gewasfase (de betekenis van de tekens komt overeen met die van Figuur 3.7)

5.3 Weereffecten

Uit de analyse van effecten van de weersomstandigheden kwam naar voren dat de mineralisatie in jaren van het weertype 'warm en nat' het hoogst is, gevolgd door de mineralisatie in 'koude, droge jaren', 'koude, natte jaren' en tenslotte 'warme, droge jaren'. Alleen de verschillen tussen de hoge mineralisatiesnelheid bij het weertype 'warm en nat' met de mineralisatiesnelheid bij de weertypes 'koud en nat' en 'warm en droog' zijn statistisch significant. Op het eerste gezicht lijken deze resultaten niet te stroken met de bestaande inzichten. Immers: zolang de temperatuur lager is dan het optimum voor mineralisatie (30 tot 40°C, Janssen, 2000) is te verwachten dat de mineralisatie in 'warme jaren' telkens hoger zou zijn dan in droge jaren. Omdat het vochtgehalte in de bodem op 'De Marke' meestal lager is dan het optimale traject van

60-80% ten opzichte van waterverzadiging (Janssen, 2000) is te verwachten dat de mineralisatie in de 'natte jaren' hoger is dan in 'droge jaren'. De verwachte volgorde van de mineralisatiesnelheid is dus 'koude, droge jaren' < 'koude, natte jaren' $\equiv$ 'warme, droge jaren' < 'warme, natte jaren' (waarbij de volgorde van de middelste twee categorieën afhangt van welk effect, van de temperatuur of van de vochtigheid, verhoudingsgewijs het sterkst is). De mineralisatie in het weertype 'koud en droog' valt vergeleken met deze verwachting dus hoog uit.

Deze resultaten zijn echter logisch als we bedenken dat de effecten van vochtbeschikbaarheid en temperatuur niet onafhankelijk zijn. Een hogere temperatuur heeft een verhogend effect op de mineralisatie (verschil tussen 'warme, natte jaren' met 'koude, natte jaren') mits er voldoende vocht beschikbaar is (verschil tussen 'warme, natte jaren' en 'warme, droge jaren'). De lagere (hoewel statistisch niet significant lagere) mineralisatie in 'warme, droge jaren' dan in 'koude, natte jaren' strookt met deze verklaring. De mineralisatie in 'warme, droge jaren' zal immers sterker geremd zijn door uitdroging van de grond dan in 'koude, natte jaren'. Dat de mineralisatiesnelheid in 'koude, droge jaren' hoger is dan in 'koude, natte jaren' kan veroorzaakt zijn doordat de bodemtemperatuur van de grond in 'koude, droge jaren' hoger kan zijn geweest dan in koude, natte jaren.

Wanneer we de interactie van temperatuur en neerslag niet in beschouwing nemen en dus alleen kijken naar de afzonderlijke effecten zien we noch van de temperatuur noch van de neerslag een significant effect. Dit is ook op te maken uit Tabel 3.2. Als de resultaten van 'koude, natte jaren' en 'koude, droge jaren' worden samengevoegd, wordt het verschil met het gemiddelde van 'warme droge' en 'warme natte jaren' kleiner. Hetzelfde geldt als nat en droog worden samengevoegd zonder onderscheid naar temperatuur. Ook dit wijst op interacties tussen de factoren vochtbeschikbaarheid en de temperatuur. De analyse van Aarts leverde dat beeld ook al op, in het bijzonder voor de droge plek 2, waar de mineralisatie in een warme, droge zomer bijna tot stilstand kwam (Aarts, 1996).

Dat de verschillen tussen het weertype in het voor- en najaar niet significant waren, kan veroorzaakt zijn door het relatief beperkt aantal waarnemingen en de grote standaardfout. Daarnaast kunnen verstrengelingen met lange termijn ontwikkelingen een rol hebben gespeeld omdat warme jaren meer voorkomen aan het einde van de meetreeks. Daardoor kunnen warme voor- en najaren samenvallen met de gevolgen van systeemoptimalisatie of bijvoorbeeld met langdurige effecten van krappe bemesting (zie ook de discussie rond de vergelijking met de verwachting volgens de Arrhenius-vergelijking in paragraaf 3.6).

5.4 Effecten van 'droge en natte plekken'

De mineralisatiesnelheid in 'natte plekken' bleek niet significant hoger te zijn dan op 'droge plekken'. Dit is te verklaren door de interactie tussen temperatuur en vochteffecten. Immers de bodemtemperatuur kan in vochtigere grond langer in het seizoen laag zijn gebleven dan in droge grond (zoals ook in de discussie over de weersinvloeden werd gesuggereerd). Als controle op deze mogelijkheid werd voor plek 9 en 17 nagegaan of de mineralisatie op de natte plekken later begint. Dat bleek wel het geval, maar verschillen waren statistisch niet significant (gegevens niet weergegeven).

Een andere verklaring is dat de mineralisatiesnelheid sterker bepaald wordt door de beschikbaarheid van substraat dan door de vochtigheid van de plek. Als de mineralisatiesnelheid op een plek door gunstige omstandigheden telkens hoger is, kan de voorraad mineraliseerbare Norg beperkend worden zodat de mineralisatie 'zichzelf gaat afremmen'. Immers: droge en natte plekken ontvangen evenveel organische mest, zodat de aanvoer van Norg min of meer gelijk is. Ongunstige omstandigheden voor mineralisatie zoals droogte, zouden dus slechts tijdelijk de mineralisatie kunnen onderdrukken, maar niet langdurig. Dit zou dan leiden tot slechts een uitstel van de mineralisatie door vochtgebrek maar niet tot een lagere jaar-mineralisatie. Het is logisch dat dergelijke effecten in veel mineralisatieproeven niet gevonden worden

omdat de proeven vaak te kort duren om de 'negatieve terugkoppeling' te kunnen vaststellen van de mineralisatie in een bepaalde periode op de periode die erop volgt.

Voor de droogste plek op 'De Marke' is nagegaan of we aanvullende aanwijzingen zien dat de mineralisatie na een periode van terugval in verhoogde mate weer op gang komt. We zien dat de mineralisatie op plek 2 in droge zomers met een laag vochtgehalte inderdaad aan de lage kant was (167 kg N ha⁻¹ tot en met augustus in droge jaren en 242 kg N ha⁻¹ in normale jaren). De mineralisatie kwam na augustus direct weer terug op een normaal niveau; dat kan dus duiden op uitgestelde mineralisatie na een periode met ongunstige omstandigheden.

5.5 Effecten van gewas en gewasrotatie

Het gewas en de gewasrotatie hebben een aanzienlijk effect op de mineralisatiesnelheid. Gewaseffecten zijn aantoonbaar in het jaar voorafgaand aan de mineralisatiemeting en in het jaar van de mineralisatiemeting zelf. Als in het jaar voorafgaand aan de mineralisatiemeting gras is verbouwd, is de mineralisatiesnelheid hoger dan wanneer voedergewassen zijn verbouwd. Maar ook in hetzelfde jaar van de teelt verhoogt gras de mineralisatiesnelheid ten opzichte van voedergewassen (immers de mineralisatiesnelheid in eerstejaars tijdelijk gras is maar iets lager dan van meerdere jaars gras). Effecten van de gewas-teelt van meer dan een jaar voor meting van de mineralisatie zijn statistisch niet significant (immers de mineralisatie in blijvend grasland is statistisch niet verschillend van tweedejaars gras). De resultaten wekken echter de indruk van een stapsgewijze toename van de mineralisatie tot tenminste het derde jaar van de grasteelt en een stapsgewijze afname van de mineralisatie tot het derde jaar van de bouwlandfase.

De resultaten komen goed overeen met die van Corré (2000). Het patroon in tijdelijk grasland is te verklaren door een accumulatie van substraat in de graslandfase door een relatief hoge bemesting en door een retourstroom van bladmateriaal naar de bodem. De opgaande beweging in tijdelijk grasland zal waarschijnlijk een niveau bereiken gelijk aan dat van blijvend grasland. In de analyse van Corré werd nog een hogere waarde voor de mineralisatie gevonden dan in blijvend grasland maar dat werd toegeschreven aan het feit dat de waarde maar op één waarneming berustte. Die verklaring wordt bevestigd door Figuur 3.12. De neergaande beweging in maïs is te verklaren door de omzetting van een aanzienlijke hoeveelheid substraat (equivalent met een mineralisatie van 130 kg N ha⁻¹ jr⁻¹) afkomstig uit de ondergeploegde graszode en residuele dierlijke mest uit de graslandfase.

De gegevens van de aanvoer van Norg met dierlijke mest geven aanwijzingen over het belang van dierlijke mest en retourstroom van Norg uit bladmateriaal bij de totstandkoming van gewaseffecten. In tijdelijk gras wordt 69 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ meer Norg aangevoerd dan in maïs. Het verschil in mineralisatie in maïs en tijdelijk gras bedraagt 96 kg N ha⁻¹ jr⁻¹. De aanvoer van Norg met dierlijke mest kan dus een groot deel van het verschil in mineralisatie in gras en maïs verklaren. Maar de Norg aanvoer uit mest indiceert ook dat gewasresten een rol spelen. Immers: zeker een derde van het verschil in N mineralisatie kan niet gerelateerd worden aan de aanvoer van organisch gebonden N met mest. Vergelijking van blijvend gras en tijdelijk gras wijst eveneens op effecten van gewasresten. Immers: de aanvoer van Norg uit mest is op blijvend grasland 30 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ lager dan in tijdelijk grasland, maar de N mineralisatie is op blijvend grasland hoger. De iets hogere mineralisatie in blijvend grasland moet dan veroorzaakt zijn door mineralisatie van gewasresten.

De resultaten met betrekking tot de verdeling van de mineralisatie geven aan dat niet alleen de temperatuur maar ook het geteelde gewas de verdeling van de N mineralisatie in het jaar beïnvloedt. De gewas-onafhankelijke verdeling volgens Sluismans & Kolenbrander zou dan ook gewasafhankelijke opvolgers moeten krijgen. Aan de verdeling van de mineralisatie vallen de volgende zaken op:

- Het verloop van de mineralisatie in maïs is veel vlakker dan in gras (tijdelijk en blijvend).
- De mineralisatie in tritcale lijkt vroeg op gang te komen.
- De mineralisatie in eerstejaars gras lijkt 'uitgesteld' te zijn ten opzichte van meerdere jaars grasland.
- In eerstejaars maïs wijkt de mineralisatie duidelijk af van overige jaren maïs door een vroege, hoge piek.

Het vlakke verloop van de mineralisatie in maïs is te verklaren doordat gras vaker bemest wordt, terwijl maïs maar één keer wordt bemest. Bovendien komt de retourstroom van N via gewasresten naar de bodem in gras vermoedelijk eerder op gang dan in maïs. De snelle N mineralisatie in tritcale is verklaarbaar doordat tritcale (een wintergraan) zich vroeg ontwikkelt en doordat het land al voor de winter is geploegd. Opvallend is dat het moment van omploegen van Italiaans raaigras (begin maart) en bemesten (eind april) voorafgaand aan het zaaien van maïs niet herkenbaar zijn als pieken in het verloop van de

mineralisatie. Het ligt voor de hand verschillen tussen eerstejaars gras en maïs en de latere jaren van deze gewassen toe te schrijven aan rotatie-effecten.

5.6 Lange termijn ontwikkelingen en de aanvoer van Norg

De mineralisatie is in de tijd gelijk gebleven tot licht afgenomen. Hoe verhoudt deze vaststelling zich met aanvoer van organische stof met mest of de ontwikkeling van het organisch stofgehalte in de bodem?

Bij een gelijke bemesting van de gewassen (zie Tabel 2.3) is de ontwikkeling van de aanvoer van Norg met mest aan verandering onderhevig door verandering van de verhouding N_{min} en Norg in dierlijke mest. Tabel 5.1 geeft de verandering van de mestsamenstelling in de tijd weer. De fractie organische N in mest is afgenomen door vergisting (met ingang van 2003) maar ook in onbehandelde mest was al sprake van een afname van de Norg fractie. Gemiddeld over de periode is de fractie organisch gebonden N afgenomen met ongeveer 20% in vergiste mest ten opzichte van onbehandelde mest. Dit komt overeen met een afname van de N aanvoer in de gehele onderzoeksperiode van ongeveer $19 \text{ kg Norg ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ in blijvend gras en een afname van minder dan 10 kg in maïs en $22 \text{ kg Norg ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ in tijdelijk gras. Als we ervan uitgaan dat de complete afname van Norg aanvoer zich volledig vertaalt in een lagere N mineralisatie, kan de aanvoer van Norg via mest de afname van de mineralisatie van $2 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-2}$ (zie hoofdstuk 3.6) volledig verklaren.

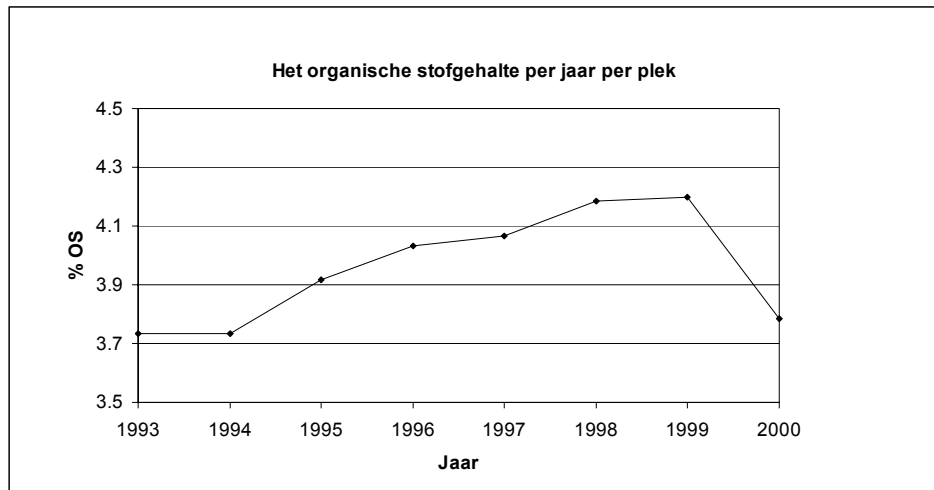
Zoals eerder is gebleken, is mineralisatie sterk variabel in ruimte en in tijd. De onzekerheden met betrekking tot mineralisatie worden, zei het in beperkte mate, verminderd door de hoeveelheid organisch substraat te verlagen door mestvergisting. Door mestvergisting wordt een deel van de onzekerheid in de mineralisatie die gepaard gaat met weersomstandigheden weggenomen door de mineralisatie deels in de mestvergistingsinstallatie te laten plaatsvinden. Vanuit dit perspectief is een afname van de mineralisatie niet ongunstig.

Tabel 5.1 De samenstelling van onbehandelde en vergiste dierlijke mest op 'De Marke'

Jaar	Bewerking	% N_{min}	%Norg
1993	geen	52	48
1994	"	52	48
1995	"	54	46
1996	"	49	51
1997	"	50	50
1998	"	49	51
1999	"	51	49
2000	"	53	47
2001	"	50	50
2002	"	53	47
1993-2002	"	51	49
2003	vergist	55	45
2004	"	61	39
2005	"	64	36
2003-2005	"	60	40

Als het organische stof (OS) gehalte in de bodem gelijk blijft en de aanvoer van vers organisch materiaal blijft ongeveer gelijk in kwaliteit en hoeveelheid is een constante mineralisatie te verwachten. Uit een analyse van de bodemvruchtbaarheid blijkt dat het organische stof gehalte in de beginjaren van 'De Marke' weliswaar iets afgenomen is, maar dat vervolgens weer stabilisatie optrad. Te verwachten is dat de mineralisatie gedurende de afname hoog is en daarna laag, mogelijk lager dan voor de afname door een lagere hoeveelheid substraat. Deze samenhang is echter niet te vinden bij vergelijking van de ontwikkeling van het OS gehalte op bedrijfsniveau op 'De Marke' en de mineralisatie. Het OS gehalte in de vaste waarnemingsplekken is zelfs in het geheel niet afgenomen. De tendensen van het OS gehalte en de mineralisatie wijzen dan ook beide op een min of meer stabiele situatie (zie Figuren 3.15 en 5.2)⁴.

⁴ Sinds 2000 wordt het organisch stofgehalte op de vaste waarnemingsplekken niet meer gemeten.



Figuur 5.2 De ontwikkeling van het organische stofgehalte op de vaste waarnemingsplekken op 'De Marke'

5.7 Effecten van de mineralisatie op Nmin gehalte, N opname en nitraatuitspoeling

In hoofdstuk 4 bleek dat het Nmin gehalte in de bodem in de zomer sinds 2000 is afgenomen van 10 tot 15 mg kg⁻¹ naar ongeveer 5 mg kg⁻¹. Het Nmin gehalte in de winterperiode is sinds 1998 afgenomen van 15 mg kg⁻¹ naar ongeveer 5 mg kg⁻¹. Tevens hebben we vastgesteld dat het gehalte in eerstejaars maïs en (in iets mindere mate) in tweedejaars maïs toeneemt naarmate de mineralisatiesnelheid hoger is. In gras is dit niet het geval. Tenslotte hebben we gezien we dat de N opname, de droge stofopbrengst en het N gehalte in gras toeneemt met de mineralisatie. In maïs is dit niet het geval.

Welke betekenis moeten we nu toekennen aan deze waarnemingen? Nmin in de bodem kan beschouwd worden als het chemische kruispunt van waaruit N verdeeld wordt over opname door gewassen, immobilisatie, denitrificatie of uitspoeling. We kunnen stellen dat als er veel Nmin aanwezig is, de snelheid van afvoer naar gewassen, uitspoeling en denitrificatie kennelijk kleiner is dan de aanvoer (zie ook Figuur 1.1). Als hoge Nmin gehalten samengaan met een hoge mineralisatiesnelheid is de mineralisatiesnelheid kennelijk hoger dan de opnamesnelheid door gewassen. Dit leidt ontegenzeggelijk tot hogere risico's op verliezen door uitspoeling en denitrificatie dan bij lage Nmin gehalten. Omgekeerd geven lage Nmin gehalten niet automatisch aan dat de verliezen door denitrificatie en uitspoeling laag zijn. Nmin kan immers juist laag geworden zijn *doordat* deze verliezen al hebben opgetreden. Als een hogere mineralisatie samengaat met een laag Nmin gehalte en een hoge gewasopname is wel aannemelijk dat het lage Nmin gehalte een laag uitspoelingsrisico indiceert. Het chemische kruispunt, Nmin, is dan leeg bij een hoge aanvoer door mineralisatie doordat de Nmin direct wordt afgevoerd door gewassen. Daarom stelde Corré dat het ontbreken van een correlatie tussen mineralisatiesnelheden en Nmin gehalten in de bodem getuigt van een goede synchronisatie van de N opname door gewassen en N mineralisatie (Corré, 2000).

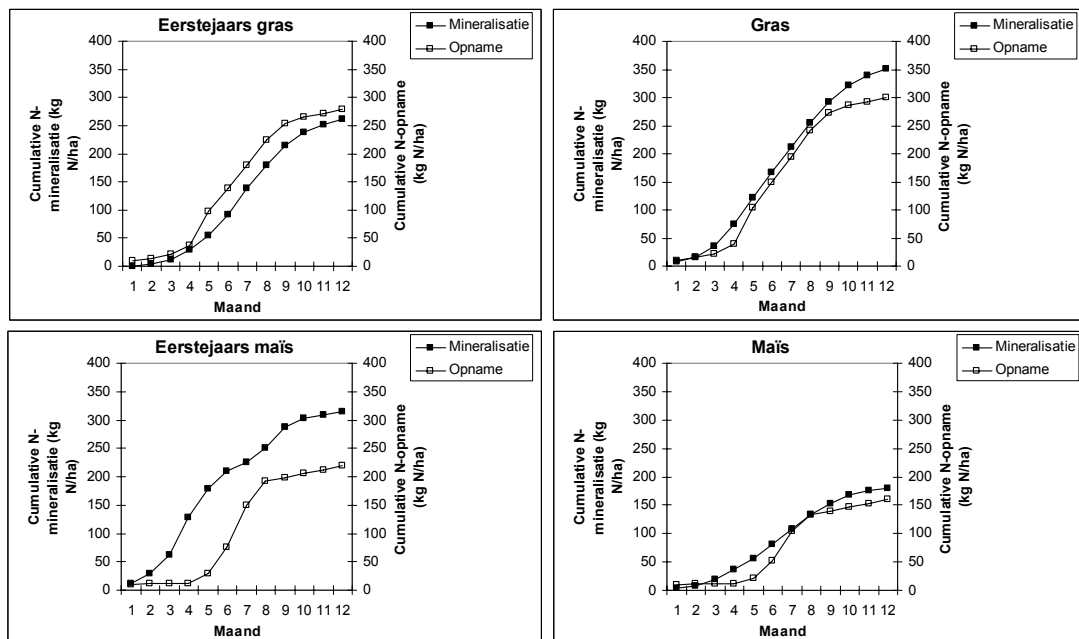
Voor gras lijkt deze conclusie gerechtvaardigd. Immers: een hoge mineralisatiesnelheid gaat in gras niet samen met hoge Nmin gehalten maar wel met een hoge N opname in het gewas. Gras reageert zelfs opmerkelijk sterk op de mineralisatie. De droge stofopbrengst neemt namelijk toe met 7 kg ds/kg gemineraliseerde N. Dat is ongeveer gelijk aan de respons van gras die door Steenbergen werd gevonden in proeven met kunstmest N trappen (Steenbergen, 1980) en door Oenema et al. werd gevonden op de commerciële melkveebedrijven in 'Koeien en Kansen'. (Oenema et al., 2005). Dat wijst op een goede benutting van N die door mineralisatie is vrijgekomen.

In eerstejaars maïs daarentegen is het Nmin gehalte wel hoger bij een hoge mineralisatiesnelheid. De N opname door het gewas en de droge stofopbrengst is reageert niet op een hoge mineralisatiesnelheid. Dat geeft aan dat de mineralisatie de gewasbehoefte van maïs (tijdelijk) overschrijdt met als gevolg een hogere kans op uitspoeling. Op grond van de patronen van N opname, Nmin gehalten en mineralisatie moeten eerste- en (in mindere mate) tweedejaars maïs dus beschouwd worden als risicovolle fases in de

rotatie met het oog op nitraatuitspoeling. Er zijn dus aanwijzingen dat het risico ontstaat door de mineralisatie die het gevolg is van het onderploegen van gras⁵.

Om dit aspect verder uit te diepen is het verloop van het N aanbod door mineralisatie vergeleken met het de ontwikkeling van de N behoefte van gras en maïs. Vanuit het streven om de N benutting zo hoog mogelijk te maken en verliezen te beperken, komt het patroon van N mineralisatie idealiter overeen met de ontwikkeling van de N behoefte in het jaar.

In Figuur 5.3 is N opname in gewassen en N aanbod door mineralisatie naast elkaar gezet. Het betreft bovengrondse opname, de ontwikkeling in maïs is ontleend aan Schröder (1998) en de ontwikkeling in gras is ontleend aan Willems et al. (2004). De opname is gecalibreerd met gegevens van 'De Marke'. In maïs is rekening gehouden met 40 kg N opname in de winter in een vanggewas. We zien dat de N mineralisatie in gras tamelijk synchroon loopt met de gewasopname. Het totale N_{min} aanbod bestaat uit de hoeveelheid N die in minerale vorm wordt aangewend plus de N die door mineralisatie vrijkomt. Het totale N_{min} aanbod is, met name in het begin, dus iets hoger dan de mineralisatiecurve aangeeft. Indien we er echter rekening mee houden dat gras ook nog N investeert in wortels, is voorstelbaar dat de mineralisatie onvoldoende N levert om te voorzien in de behoefte van gras. Dit lijkt met name in eerstejaars gras het geval te zijn, doordat de N mineralisatie daar wat lager is en doordat gras relatief veel N investeert in de opbouw van een nieuwe zode. In eerstejaars maïs is de N mineralisatie gedurende het gehele seizoen aanzienlijk groter dan de behoefte. Het valt op dat de mineralisatie al vroeg in het seizoen de opname overtreft. Dit komt doordat het wintergewas al vroeg wordt geploegd (en dan ook wordt gemineraliseerd) maar dat in de periode tussen ploegen en inzaaien geen N opname plaatsvindt. Bij extreme regenval in het voorjaar kan dit leiden tot uitspoeling.



Figuur 5.3 De verdeling van de mineralisatie en de gewasopname van stikstof over het jaar

⁵ Dat deze aanwijzingen niet bevestigd werden door een duidelijke relatie tussen de nitraatuitspoeling en mineralisatie is niet verbazend. De ruimtelijke variatie is vermoedelijk veel te groot om de nitraatmetingen in de percelen te relateren aan de bodemprocessen in de vaste waarnemingsplekken met een beperkt oppervlak.

6 Betekenis voor het productiesysteem

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de mineralisatiewaarnemingen vertaald naar het productiesysteem. In paragraaf 6.2 wordt ingegaan op verbeteringen die aangebracht kunnen worden in de teeltwijze. Vervolgens wordt in paragraaf 6.3 besproken of door bemesting af te stemmen op de mineralisatie fijnsturing kan plaatsvinden van het N aanbod. In paragraaf 6.4 wordt ingegaan op gevolgen van mestvergisting. In paragraaf 6.5 wordt ingegaan op de vraag of de bodemvruchtbaarheid (meer specifiek de N voorziening) in het 'De Marke beheer' behouden blijft. In hoofdstuk 6.6 wordt tenslotte ingegaan op de relatie tussen mineralisatie en nitraatuitspoeling.

6.2 Mogelijkheden voor teeltverbeteringen

De analyse van N stromen geeft aan dat in eerstejaars maïs meer N door mineralisatie vrijkomt dan door het gewas opgenomen kan worden. Dit leidt tot een verhoogde kans op excessieve nitraatuitspoeling. Deze kans is groter naarmate de periode waarin het Nmin aanbod de behoefte overstijgt langer is. Dit geeft aan dat maatregelen die op 'De Marke' worden genomen, zoals het telen van een vanggewas na maïs en het niet bemesten van eerstejaars maïs, onontbeerlijk zijn om nitraatuitspoeling te beperken tot acceptabele niveaus.

Aanvullend hierop lijken maatregelen gewenst die het Nmin aanbod verder in evenwicht brengt met de behoefte van eerstejaars maïs.

- Overwogen zou kunnen worden om de graszode later kapot te frezen. Door vroeg in het voorjaar nog een snede van het gras te oogsten, kan nog een deel van de N onttrokken worden. Hierdoor zal de N mineralisatie afnemen. Een tweede voordeel is dat de mineralisatie later op gang komt als de zode later gefreesd wordt. Deze maatregel kan ook in het vanggewas toegepast worden in de latere jaren maïs.
- Tijdelijk gras in het laatste jaar voor omzetting in maïs kan enigszins uitgeput worden door een terughoudende bemesting met drijfmest. Deze drijfmest kan in plaats daarvan naar het eerste- en tweedejaars gras gebracht worden.
- Door de graslandfase te verkorten van drie naar twee jaar zou de accumulatie van Norg in de bouwvoor beperkt kunnen worden, zodat ook de nalevering in het eerste bouwlandjaar lager kan worden.
- Door gras en maïs gelijktijdig te zaaien zou de grasonderzaai al een deel van de N die vrijkomt kunnen benutten. Risico's van deze teeltwijze in verband met concurrentie tussen het grasonderzaai of onkruid en de aanwas van maïs zouden onderzocht moeten worden.
- Het N aanbod zou verder in evenwicht met de N behoefte kunnen worden gebracht door maïs bij te bemesten gedurende de groei. Met name als het gewas zich al behoorlijk ontwikkeld heeft, zal dit praktische problemen geven, vooral omdat de bemesting plaatsvindt met drijfmest. Aangepaste technieken zouden dit kunnen oplossen.

6.3 Sturen op mineralisatie?

Het is mogelijk om in te spelen op de verschillen in mineralisatie voor zover de variatie zich gedraagt volgens voorspelbare patronen. De belangrijkste patronen hebben te maken met gewaseffecten en rotatie. Bemesting en beheer op maat betekent dus dat duidelijk onderscheid gemaakt moet worden tussen gewasfases in rotatie.

De onverklaarde restvariatie van de mineralisatie blijft echter groot, daar valt dus niet op te sturen. We hebben al gezien dat de variatie van de mineralisatie in grasland niet erg bezwaarlijk is omdat de N opname vaak synchroon verloopt met de mineralisatie. In maïs neemt de variatie van de mineralisatie meer risico's met zich mee. In dit geval kan gestuurd worden door in het beheer waar dat mogelijk is op 'veilig' te spelen, bijvoorbeeld door het zoveel mogelijk bewerken van de grond in het voorjaar en door toepassing van vanggewassen.

Sturen op de mineralisatie door een hogere N aanwending onder droge omstandigheden (om te corrigeren voor een lage beschikbaarheid van voedingsstoffen) is in elk geval te vermijden. Ten eerste vonden we geen effecten van 'droge plekken' op de mineralisatie. Op de droogste plek, plek 2, zijn er wel aanwezig dat de mineralisatie in een droge zomer lager is, maar we zien ook dat de mineralisatie na die droge periode weer snel op een normaal niveau terugkomt. Mocht de N mineralisatie gereduceerd zijn door

droogte dan is dat niet schadelijk omdat de N behoefte van de plant verlaagd is door vochttekort. Als het vochtgehalte in de grond weer toeneemt, zal de N behoefte weer toenemen, maar ook de aanlevering van N uit mineralisatie.

6.4 Mestvergisting

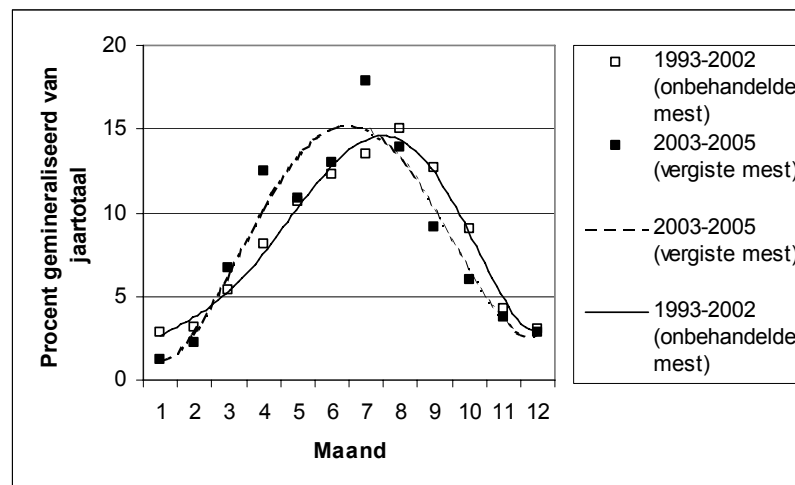
Op 'De Marke' wordt vanaf 2003 mestvergisting toegepast. Het doel van de vergisting is om de benutting van mineralen uit dierlijke mest te verhogen. Door mestvergisting wordt een deel van de mineralisatie uitgevoerd in de mestopslag. De fractie N_{min} in dierlijke mest is hoger in vergiste mest zodat een groter deel van de N snel opneembaar is en daardoor volledig benut kan worden. De Norg fractie is kleiner zodat het beschikbaar komen van een kleiner deel van de N uit dierlijke mest afhankelijk is van de onzekerheden die gepaard gaan met mineralisatie in het veld. De mogelijkheid om de aanvoer van Norg met mest te beperken en de N_{min} fractie te verhogen is bij mestvergisting echter beperkt. Over de gehele onderzoeksperiode bedroeg de N aanvoer met organische mest 280 kg N ha⁻¹jr⁻¹. Bij een afname van de Norg van 20% (wat ongeveer als maximaal haalbaar kan worden beschouwd) neemt de mineralisatie in de bodem in absolute zin maximaal af met 54 kg ha⁻¹jr⁻¹.

Een tweede effect van mestvergisting kan zijn dat de mineralisatie van de resterende Norg in mest sneller (en daardoor tijdiger) verloopt. De Boer vond een hoge N opname in gras kort na toediening van vergiste mest, terwijl de verhouding van de N_{min} en Norg fracties ongeveer gelijk waren. Hij gaf aan dat de hogere N opname veroorzaakt zou kunnen zijn doordat de organische verbindingen waaraan N gebonden is, in vergiste mest sneller afbreken. Dit zou dan leiden tot niet alleen een lagere absolute mineralisatie, maar ook tot een verschuiving van de mineralisatie naar vroeger in het jaar (De Boer, 2004). De verschillen in de verdeling (zie Figuur 6.1) van de mineralisatie in blijvend grasland voor en na 2003 (ter onderscheiding van de periode waarin mest onbehandeld was en waarin mest vergist werd) geven een lichte aanwijzing voor een dergelijk effect. Na controle bleek dat het niet waarschijnlijk is dat de verschuiving door temperatuursverschillen in de periodes is veroorzaakt.

De effecten van mestvergisting:

- een hogere N_{min} fractie en een lagere Norg fractie op het moment van toediening en
- een snellere mineralisatie van de Norg fractie,

zouden beide moeten leiden tot een hogere N terugwinning in gewassen. In de mestsoorten proef die (onder andere met vergiste en onbehandelde mest) werd uitgevoerd door Schröder (Schröder en Hilhorst, mondelinge mededeling) werd dit resultaat niet gevonden. Dit kan een gevolg zijn van het feit dat de proef werd uitgevoerd in gras, wat een relatief lang groeiend gewas is. De N terugwinning van vergiste mest zou wel hoger kunnen zijn in maïs omdat maïs een korter groeiseizoen heeft, zodat een late mineralisatie niet benut kan worden. Anderzijds kan toepassing van vergiste mest in maïs juist weer tot een te hoog N aanbod in de eerste fase van de ontwikkeling leiden. Het verdient daarom aanbeveling om de effecten van vergisting op synchronisatie van het vrijkomen van N_{min} met de behoefte specifiek voor gras en maïs te evalueren.



Figuur 6.1 De verdeling van de mineralisatie voor 2003 (met onbehandelde mest) en na 2003 (met vergiste mest)

6.5 Hoe duurzaam is het productiesysteem?

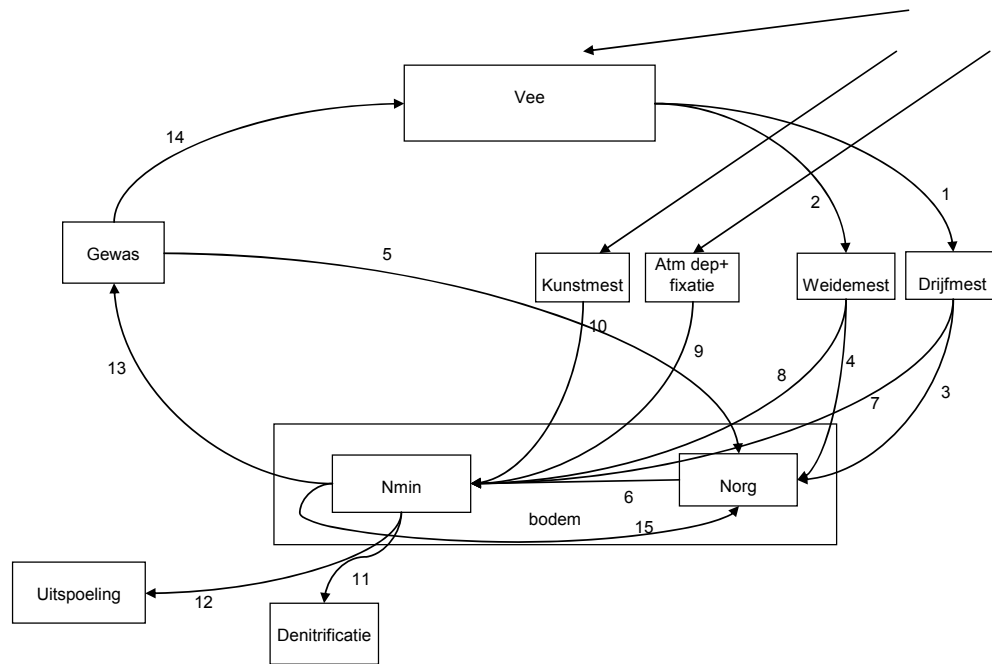
Op 'De Marke' worden mineralenverliezen beperkt door:

- de overdracht van mineralen tussen de componenten vee, mest, bodem, en gewas zo volledig mogelijk te laten verlopen en
- niet meer mineralen door het systeem te laten circuleren dan nodig is.

Deze twee strategieën gaan samen. Naarmate verliezen hoger zijn (en dus de overdracht van vee, naar bodem, naar gewas en weer naar vee, onvollediger wordt), moeten meer mineralen in het systeem opgenomen worden om de productie in stand te houden. Meer mineralen in het systeem zorgt op zijn beurt voor een minder volledige overdracht tussen de componenten. Echter, zijn de N stromen naar de bodem niet zo beperkt geworden in vergelijking met N opname en verliezen dat de bodem wordt uitgemijnd?

Figuur 6.2 geeft de N stromen in het melkveebedrijf en in het bijzonder de bodem schematisch weer. Het schema geeft de overdrachten tussen componenten weer; de tabel geeft de waardes van de N fluxen weer voor de periode 1993-2005. De mineralisatie is gebaseerd op dit rapport; de verliezen door denitrificatie zijn geschat op basis van het werk van Corré (1996); de terugvoer van wortelmateriaal en plantenresten op 'De Marke' zijn geschat op basis van gegevens van Corré (2000) en de overige posten zijn overgenomen uit het concept-rapport 'Veranderingen in de mineralenhuishouding van 'De Marke', door verbeterde bedrijfsvoering' (Verloop e.a., in voorbereiding).

De productiviteit kan worden gewaarborgd als de aanvoer naar de voorraad N_{min} in de bodem op een voldoende niveau blijft voor een goede gewasproductie. Mineralisatie is een belangrijke aanvoerpost voor de N_{min} voorraad en zal dus ook op peil moeten blijven. We hebben gezien dat de mineralisatie niet duidelijk afneemt. Dit zegt echter nog niet alles. Als de mineralisatiesnelheid zo hoog is, dat meer Norg wordt omgezet in minerale vorm dan dat er wordt aangevoerd door bemesting of gewasresten is de balans van de Norg voorraad negatief. Dan treedt uitmijning op. Dit gaat ten koste van de mineralisatie op de lange termijn en dus van de bodemvruchtbaarheid. Over de gehele onderzoeksperiode is de balans van de Norg- voorraad licht positief. Dat wil zeggen dat er sprake is van een lichte accumulatie van $19 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. Een dergelijke accumulatie valt binnen de onnauwkeurigheidsmarge van de berekening, zodat veiligheidshalve gesteld kan worden dat er in elk geval geen duidelijke aanwijzing is dat uitmijning optreedt. Afgaande op de Norg-balans moet de mineralisatie dus op ongeveer het huidige niveau gehandhaafd kunnen blijven. Dit wordt ondersteund door de gegevens van het organische stofgehalte in de bodem en het totaal N gehalte. Het organische stofgehalte is in de beginfase van 'De Marke' licht gedaald maar daarna gestabiliseerd en het totaal N gehalte in de bodem op bedrijfsniveau is gelijk gebleven (Verloop, in voorbereiding). Een lichte afname van de mineralisatie is wel waarschijnlijk als gevolg van mestvergisting. Deze afname is echter nodig om de Norg balans te herstellen en uitmijning te voorkomen. Omdat deze verschuiving samengaat met een hogere aanvoer van N_{min} aanvoer met drijfmest (stroom 7) zal dit niet tot een lagere N aanvoer leiden naar gewassen. We hebben dan ook geen aanwijzingen dat het beheer van 'De Marke' op termijn tot problemen met de bodemvruchtbaarheid gaat leiden.



N stroom	kg N ha ⁻¹ jr ⁻¹
1. Aanwending drijfmest-N	181
2. N weidemest	38
3. Aanwending Norg-drijfmest	72
4. Norg in weidemest	19
5. Norg uit veldverliezen gewassen	18
6. Mineralisatie	300
7. Aanwending Nmin in drijfmest	109
8. Nmin weidemest	19
9. Atmosferische depositie en N binding	61
10. Kunstmest-N	57
11. Verliezen door denitrificatie	34
12. Verliezen door uitspoeling	37
13. N opname in geoogste gewasdelen	228
14. N in ruwvoer	246
15. Norg in wortelmateriaal en gewasresten	210
Norg-balans	
Aanvoer	319
Afvoer	300
<i>Aanvoer – afvoer</i>	19
Nmin balans	
Aanvoer	546
Afvoer	545
<i>Aanvoer – afvoer</i>	1

Figuur 6.2 N stromen in het bodem- en gewassysteem van 'De Marke'

6.4 N mineralisatie en nitraatuitspoeling

Sinds 2000 zijn er extra maatregelen genomen op 'De Marke' om het N overschot op de bodem omlaag te brengen (Verloop e.a., in voorbereiding). Hierdoor is het overschot afgenomen van 124 kg N ha⁻¹jr⁻¹ naar 73 kg N ha⁻¹jr⁻¹. De nitraatuitspoeling is echter precies gestabiliseerd op een niveau hoger dan de 50 mg l⁻¹ in grondwater (de norm), terwijl een verdere afname verwacht werd. De nitraatconcentratie wordt door vele hydrologische factoren beïnvloed, zoals de hoeveelheid DOC (Dissolved Organic Carbon) in het grondwater, de verdeling van de neerslag over het jaar. De vraag is of de mineralisatie daarnaast het achterwege blijven van een afname van de nitraatuitspoeling heeft veroorzaakt. Een verhoogde mineralisatie, zou, zeker als ze samengaat met hoge Nmin gehalten in de bodem oorzaak kunnen zijn van N verliezen

die de gevolgen van een laag bodemoverschot maskeren. Daarbij komt dat de winters na 2000 relatief warm zijn geweest, zodat een relatief hoge wintermineralisatie in deze periode verwacht zou mogen worden (zie Figuur 3.15).

De analyse van lange termijn ontwikkelingen geeft echter geen aanleiding om het uitblijven van een afname van de nitraatuitspoeling toe te schrijven aan effecten van mineralisatie. De jaarmineralisatie is niet toegenomen. Meer betekenis heeft nog dat de wintermineralisatie niet is toegenomen ondanks de warme winters. Nmin gehalten zijn na 2000 afgenomen, ook in de winter. Alleen als we zouden veronderstellen dat *alle* nitraatverliezen hun oorsprong vinden in gemineraliseerde Norg zou de gelijk gebleven mineralisatie logischerwijze moeten leiden tot een gelijk gebleven nitraatuitspoeling. Dat zou betekenen dat de nitraatconcentratie pas kan afnemen als de mineralisatie duidelijk afneemt. Het lijkt gerechtvaardigd om deze veronderstelling serieus te onderzoeken, maar daarbij moet ook rekening gehouden worden met de mogelijke rol van andere factoren.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Omgaan met variatie

De mineralisatie gemeten volgens de veldincubatiemethode is zeer variabel. Van jaar tot jaar verschilt de gemiddelde mineralisatie $80 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$.

Alleen de effecten van gewassen en gewasrotatie is voorspelbaar. De bemesting kan dan ook afgestemd worden op de verwachte mineralisatie per gewas en gewasfase.

De N mineralisatie in eerstejaars maïs is praktisch even hoog als de mineralisatie in gras en is veel hoger dan de mineralisatie in latere maïsjaren. Er is een geleidelijke toename van de mineralisatie te zien naarmate gras ouder wordt en een geleidelijke afname in bouwland naarmate de bouwlandfase toeneemt. De mineralisatie in eerstejaars maïs is hoog vergeleken met de behoefte. Daarom dient eerstejaars maïs niet bemest te worden.

Doordat de mineralisatie zich, ook op droge plekken, na droogte in de zomer weer snel herstelt, is het niet effectief om extra te bemesten na droogte. Doordat de N opname door gewassen tijdens een droge periode ook geremd zal zijn geweest, zou een extra bemesting na een droge periode samen met de aantrekkende mineralisatie ten koste gaan van een goede benutting van N.

De N opname in gras neemt duidelijk toe met de mineralisatie. In gras gaat variatie van de mineralisatiesnelheid daardoor niet ten koste van een goede benutting van N. In maïs is dat niet het geval.

7.2 Omgaan met de verdeling over het jaar

Ongeveer $77 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ (25% van de jaarlijkse N mineralisatie) vindt plaats in de maanden oktober tot en met maart. Indien geen vanggewas wordt toegepast na de verbouw van voedergewassen kan een aanzienlijk deel van deze wintermineralisatie op droge zandgronden uitspoelen naar het grondwater.

In eerstejaars maïs is de N mineralisatie in de eerste helft van het jaar hoger dan bij latere maïsjaren. In eerstejaars gras (volgend op bouwland) is de mineralisatie in de eerste helft jaar lager dan in latere jaren met tijdelijk gras. Het N aanbod door mineralisatie is in de eerste fase van de ontwikkeling van maïs hoger dan de N behoefte. Om verliezen te voorkomen zou het N aanbod en daarmee de mineralisatie in deze fase verlaagd moeten worden. Dit kan door de bodembewerking aan te passen als aanvulling op de maatregel om eerstejaars maïs niet te bemesten.

7.3 Handhaving van de bodemvruchtbaarheid

De gemiddelde mineralisatie, bepaald in alle waarnemingsplekken, is in de onderzoeksperiode met bijna 2% afgenomen. Deze afname is niet significant. De tendens van de mineralisatie, ontstreegd van rotatie-effecten en plekeffecten wijst ook op een niet significante afname.

Deze voor weereffecten gecorrigeerde mineralisatie neemt niet waarneembaar af met de tijd.

Balansen van Nmin stromen en Norg stromen van en naar de bodem, wijzen op een evenwicht tussen aan- en afvoer. Er zijn dus geen aanwijzingen dat het regiem van krappe bemesting en hoge benutting van N in de gewasproductie ten koste gaat van de bodemvruchtbaarheid op de lange termijn.

7.4 Mestvergisting

Mestvergisting reduceert de onzekerheden die gepaard gaan met de grote variatie van de mineralisatie. Bij de huidige veebezetting zal de aanvoer van Norg met iets meer dan $50 \text{ kg N ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ kunnen afnemen. Te verwachten is dat de mineralisatie hierdoor iets zal afnemen.

Het is onvoldoende duidelijk in hoeverre het vrijkomen van Nmin uit vergiste mest meer synchroon loopt met de N behoefte in verschillende maïs en gras dan in onbehandelde mest. Nader onderzoek hiernaar is gewenst. Dit onderzoek zou kunnen bestaan uit het meten van zowel de mineralisatie als de N terugwinning in veldjes die zijn behandeld met vergiste en onbehandelde mest.

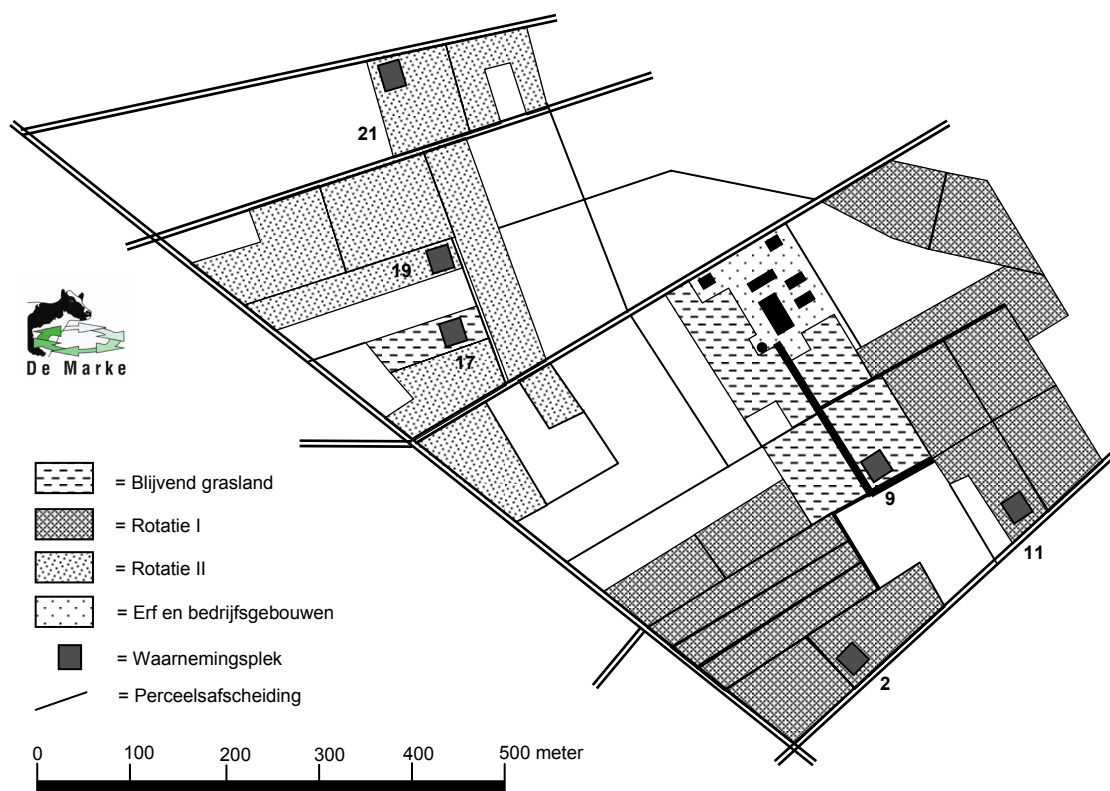
7.5 Mineralisatie en nitraatuitspoeling

De mineralisatie in de winter, berekend op basis van herhaalde behandelingen per plek, is gestabiliseerd, ondanks warme winters na 2000. De mineralisatie heeft geen aanwijsbare rol gespeeld bij het uitblijven van een afname van de nitraatconcentratie nadat het bodemoverschot van N door extra maatregelen met ingang van 2000 is verlaagd.

Literatuurverwijzingen

- Aarts, H.F.M., 1996.
De mineralisatie, bepaald volgens de veldincubatiemethode. In: Hack-ten-Broeke en Aarts (eds.), 1996. Integrale monitoring van stikstofstromen in boden en gewas; Resultaten van proefbedrijf 'De Marke'. 'De Marke', rapport nr. 14.
- Aarts, H.F.M., B. Habekotté & H. van Keulen, 2000.
Groundwater recharge through optimized Intensive dairy farms. J. Environ. Qual. 29: 738-743.
- Biewinga, E.E., H.F.M. Aarts & R.A. Donker, 1992.
Melkveehouderij bij stringente milieunormen. Bedrijfs- en onderzoeksplan van het Proefbedrijf voor Melkveehouderij en Milieu. 'De Marke', Hengelo (Gld.). Rapport 1.
- De Boer, H.C., 2004.
Stikstoflevering uit onvergiste en vergiste runderdrijfmest na zodebemesting van grasland op zware zeelei. Praktijkrapport Rundvee 51, Animal Sciences Group, Lelystad: 40 pp.
- Corré, W.J., 1996.
Stikstofverlies door denitrificatie in blijvend grasland op De Marke In: Hack-ten-Broeke en Aarts (eds.), 1996. Integrale monitoring van stikstofstromen in boden en gewas; Resultaten van proefbedrijf 'De Marke'. 'De Marke', rapport nr. 14.
- Corré, W.J., 2000.
De stikstofhuishouding van de bodem, p. 21-34. In: Van Keulen, 2000. Duurzame melkveehouderij en stikstofmanagement; Themadag 2000: Stikstof beheer en grondwaterkwaliteit op proefbedrijf 'De Marke', Plant Research International, rapport 21.
- Dekkers, J.M.J., 1992.
De bodemgesteldheid van het proefbedrijf Melkveehouderij en milieu te Hengelo (Gld.). Rapport nr. 66, DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Hassink, J., 1995.
Organic matter dynamics and N mineralization in grassland soils. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands, 250 pp.
- Janssen, B.H., 2000.
Organic Matter and Soil Fertility. Wageningen Agricultural University, Department of Environmental Sciences, nr. 06172101.
- Kortleven, J., 1963.
Kwantitatieve aspecten van humusopbouw en humusafbraak. Proefschrift. Landbouwkundig Onderz. 69. 1. Pudoc, Wageningen. 109 pp.
- Oenema, J., J. Verloop, R.F. Bakker, D.J. den Boer & H.F.M. Aarts, 2005.
De invloed van het mestbeleid op de opbrengst van grasland. Koeien & Kansen, rapport 29. Rapport Plant Research International nr. 100.
- Sluijsmans, C.M.J. & G.J. Kolenbrander, 1976.
De stikstofwerking van stalmest op korte en lange termijn. Stikstof 7, 349-354.
- Van Keulen, H., 2000.
Duurzame melkveehouderij en stikstofmanagement; Themadag 2000: Stikstof beheer en grondwaterkwaliteit op proefbedrijf 'De Marke', Plant Research International, rapport 21.
- Van Steenberghe, T., 1980.
Het effect van stikstofbemesting op de gewasopbrengst van grasland bij diverse ontwateringstoestanden en grondsoorten. Verslag van de proefveldenserie PAW970 Deel II (1964 t/m 1973). Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek, intern verslag, 23 pp.
- Verloop, J., L.J.M. Bouwmans, H. van Keulen, J. Oenema, G.J. Hilhorst, H.F.M. Aarts, L.B.J. Sebek, 2006.
Reducing nitrate leaching to groundwater in an intensive dairy farming system. Nutrient Cycling in Agroecosystems Vol. 72: 59-74.
- Willems, W.J., T.V. Vellinga, O. Oenema, J.J. Schröder, H.G. van der Meer, B. Fraters & H.F.M. Aarts, 2000.
Onderbouwing van het Nederlandse derogatieverzoek in het kader van de Europese nitraatrichtlijn. RIVM rapport nr. 718201002, 102 p.

Bijlage I Locatie van waarnemingsplekken op 'De Marke'



Bijlage II Het effect van weer op de voorjaars- en najaarsmineralisatie

Tabel II.1 geeft de N mineralisatie in het voorjaar weer bij verschillende weertypes. Tabel II.2 geeft de najaarsmineralisatie weer. De weergegeven getallen zijn ongecorrigeerde gemiddelden van waarnemingen.

Tabel II.1 De N mineralisatie in januari, februari, maart in blijvend gras, tijdelijk gras en maïs (kg N ha⁻¹ voorjaar⁻¹) in voorjaren onderscheiden naar weertype

Weertype	Droog/nat	N mineralisatie (aantal waarnemingen)	
		Koud	Warm
Blijvend gras	Droog	44 (5)	69 (6)
	Nat	71 (6)	48 (6)
	Beide	59 (11)	59 (12)
Tijdelijk gras	Droog	86 (3)	42 (4)
	Nat	- (0)	55 (3)
	Beide	86 (3)	49 (7)
Maïs	Droog	20 (4)	20 (4)
	Nat	27 (9)	24 (5)
	Beide	25 (13)	22 (9)

Tabel II.2 De N mineralisatie in oktober, november, december in blijvend gras, tijdelijk gras en maïs (kg N ha⁻¹ najaar⁻¹) in najaren onderscheiden naar weertype

Weertype	Droog/nat	N mineralisatie (aantal waarnemingen)	
		Koud	Warm
Blijvend gras	Droog	44 (4)	52 (9)
	Nat	35 (7)	34 (4)
	Beide	38 (11)	47 (13)
Tijdelijk gras	Droog	- (0)	43 (6)
	Nat	20 (3)	- (0)
	Beide	20(3)	43 (6)
Maïs	Droog	25 (2)	19 (6)
	Nat	51 (6)	13 (7)
	Beide	45 (8)	16 (13)

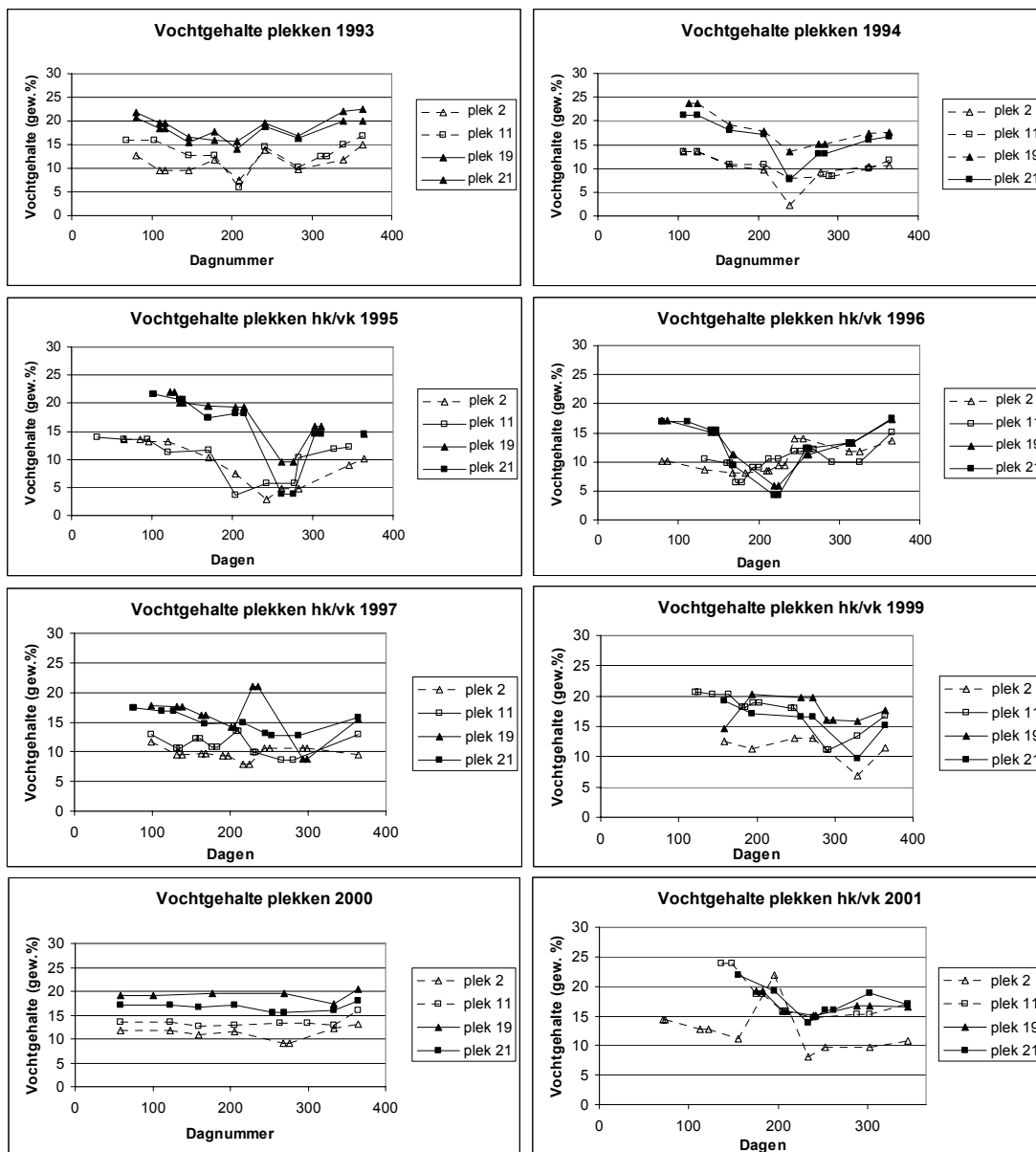
Bijlage III Het vochtgehalte in 'droge en natte plekken'

Nagegaan is in hoeverre 'droge plekken' steeds droger waren dan 'natte plekken' en of eventuele afwijkingen van de labels 'droog en nat' gerelateerd kunnen worden aan het gedrag van de mineralisatie. Figuur III.1 geeft het vochtgehalte weer op de waarnemingsplekken op de huiskavel en de veldkavel. We zien dat het vochtgehalte (volgens verwachting) afneemt naarmate het groeiseizoen vordert en door gewasverdamping vocht onttrokken wordt. Het vochtgehalte op de 'droge plekken' (2 en 11) is in de meeste jaren duidelijk lager dan op de natte plekken (19 en 21). De onderlinge verschillen tussen de twee 'droge plekken' zijn klein. Dat geldt ook voor de 'natte plekken'. De jaren 1996, 1999 en 2001 vormen uitzonderingen op dit algemene patroon. In 1999 en 2001 is het vochtgehalte op plek 11 vrijwel gelijk aan dat op de 'natte' plekken. Het vochtgehalte op plek 2 is wel lager. In 1996 verschillen droge en natte plekken alleen in het voorjaar.

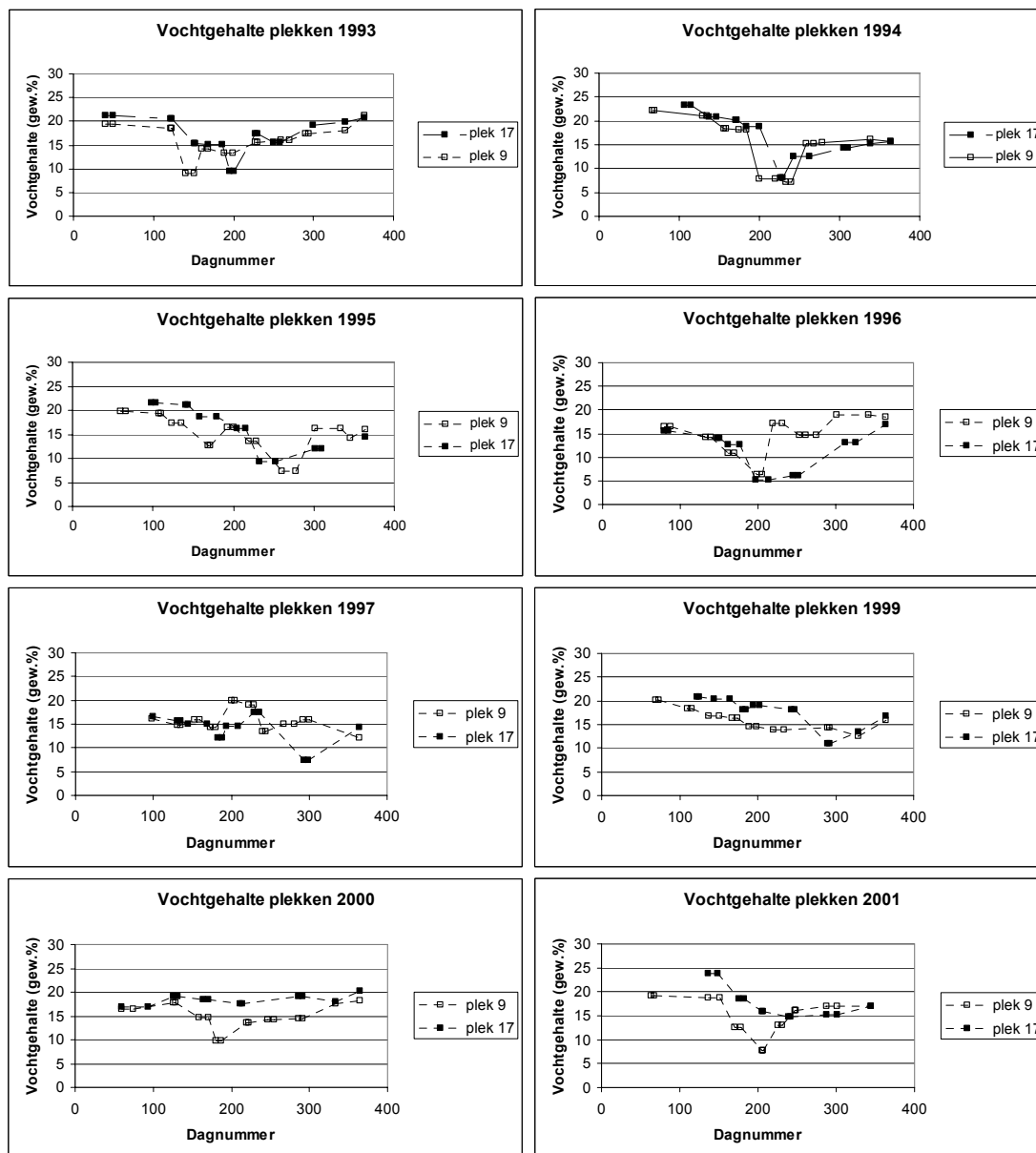
Figuur III.2 geeft het vochtgehalte op blijvend grasland weer. Op blijvend grasland zijn de verschillen tussen droog en nat minder groot dan op de plekken in rotatie. In de meeste jaren is het vochtgehalte op de 'droge plekken' slechts gedurende korte tijd lager dan op de 'natte plekken'. In 1996 en 1997 was het vochtgehalte op de 'droge plek' hoger dan in de 'natte plek'. Alleen in 2000 was het vochtgehalte in de 'droge plek' duidelijk voortdurend lager dan op de 'natte plek'.

Figuur III.3 vat deze waarnemingen samen. We zien nog duidelijker dat de verschillen tussen 'droge' en 'natte plekken' beperkt zijn in blijvend grasland. Dit kan veroorzaakt zijn doordat verschillen in de vochtigheid zijn 'wegberekend' (op plek 9 wordt wel berekening toegepast en op plek 17 niet). In de huis- en veldkavel zijn verschillen tussen 'droge' en 'natte' plekken groter, maar incidenteel is het vochtgehalte op 'natte' plekken laag en op 'droge' plekken hoog.

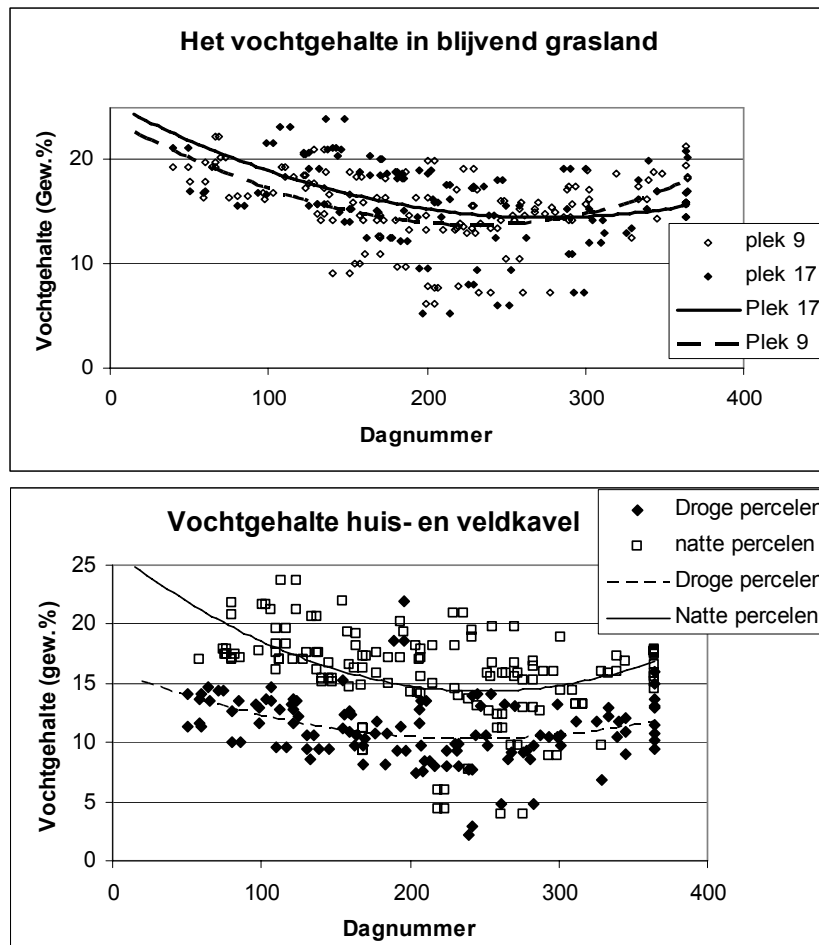
In blijvend grasland zegt de aanduiding nat/droog dus niet zoveel over de beschikbaarheid van vocht in de buisjes. In de huis- en veldkavels geven de aanduidingen 'droog/nat' vrij adequaat de verschillen weer in het vochtgehalte met uitzondering van enkele jaren. De inconsistenties tussen de aanduidingen van plekken en de gemeten vochtgehalten roept de vraag op of het milieu in de buisjes wel een representatief is voor het vochtgehalte in het veld. Om dat te onderzoeken zijn de vochtgehalten gemeten in de buisjes na veldincubatie vergeleken met de vochtgehalten gemeten in monsters van de bodem *rondom* de buisjes (Figuur III.4). De bemonstering van de grond rondom buisjes werd uitgevoerd net voordat de buisjes werden verwijderd. Het vochtgehalte in en rondom de buisjes komt goed overeen, zodat we kunnen vaststellen dat de metingen in de buisjes het werkelijke vochtgehalte in het veld weergeven. Omdat 'droge' plekken niet altijd droog blijken te zijn en 'natte' plekken niet altijd nat en omdat de gemeten vochtgehalten de situatie in het veld goed weerspiegelt, analyseren we effecten van vocht op de mineralisatie op grond van de gemeten vochtgehalten in plaats van de aanduidingen van de plekken.



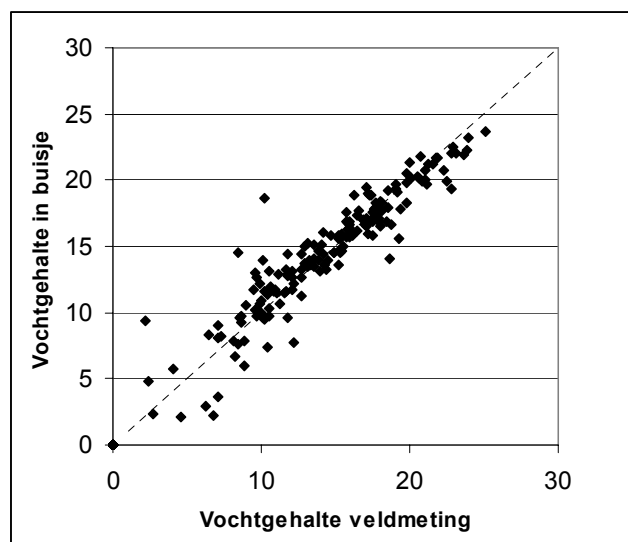
Figuur III.1 Het verloop van het vochtgehalte op 'De Marke' op waarnemingsplekken in de huiskavel en de veldkavel



Figuur III.2 Het verloop van het vochtgehalte op 'De Marke' op waarnemingsplekken in blijvend grasland



Figuur III.3 Het verloop van het vochtgehalte op 'droge' en 'natte' plekken in blijvend grasland en in de huis- en veldkavel. 'De Marke' (metingen van 1993-2001)



Figuur III.4 Het vochtgehalte van de grond in buisjes na veldincubatie en in de grondmonsters rondom buisjes (voor verdere toelichting zie tekst)

Bijlage IV Het gebruik van blijvend grasland als referentiegewas voor het schatten van jaareffecten op de mineralisatie

Jaarlijks kan de verhouding maïs of andere bouwlandgewassen en gras verschillen. Per jaar kan de mineralisatie in eenzelfde gewas verschillen. Om effecten van gewassen en gewasrotatie op de mineralisatie te kunnen bepalen moeten jaareffecten van gewaseffecten onderscheiden worden. Dit kan worden gedaan door jaareffecten af te leiden van een gewas dat *wel* elk jaar voorkwam: blijvend grasland.

De mineralisatie in blijvend grasland varieert per jaar. De variatie is veroorzaakt door jaareffecten. De jaareffecten worden omgerekend in een relatieve mineralisatie per jaar ten opzichte van andere jaren. Als voorbeeld doen we net alsof de totale meetperiode twee jaar beslaat: 1993 en 1994. Stel dat de mineralisatie in blijvend grasland in 1993 twee keer zo laag was als in 1994 dan leidt dit tot $relMin_{1993} = 0,5$. Om gegevens van andere gewassen dan blijvend grasland in 1993 vergelijkbaar te maken met die van 1994 wordt de mineralisatiebepalingen van die andere gewassen die in 1993 voorkwamen, gedeeld door 0,5.

De aanname bij deze correctie is dat het jaareffect in blijvend grasland (hierbij valt vooral te denken aan effecten van weer) gelijk zijn aan die in maïs en tijdelijk gras.

Deze werkwijze is nodig omdat er teveel variabelen zijn in de gewasrotatie om op een andere wijze de voor jaareffecten gecorrigeerde mineralisatie per gewas te bepalen.

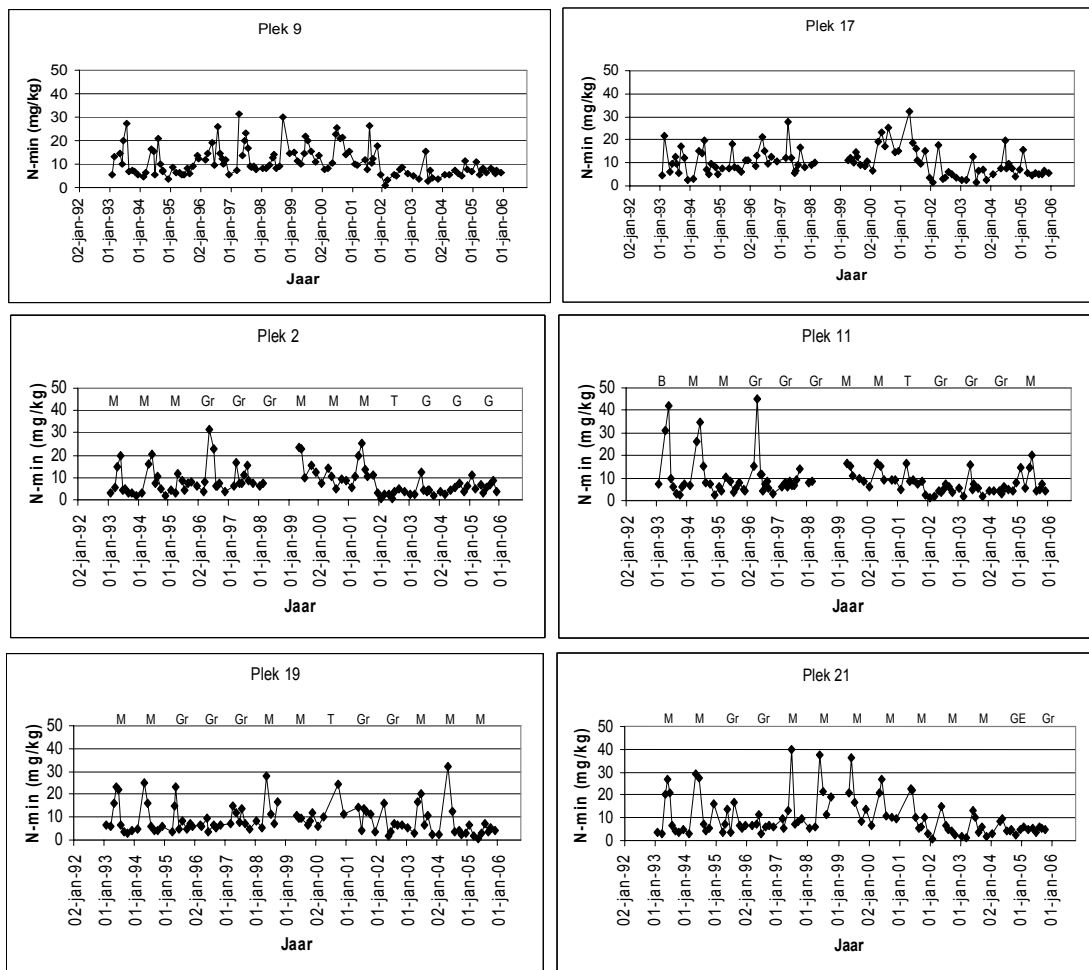
Bijlage V De verdeling van de mineralisatie in een jaar op ‘De Marke’

Gewas		Biet	Blijvend gras	Tijdelijk gras	Gerst-Erwten	Maïs	Triticale
Waarnemingen		1	24	18	1	24	3
Maand	Januari	10	9	4	9	5	-1
	Februari	23	12	6	15	7	12
	Maart	52	22	15	44	15	25
	April	82	35	29	63	25	31
	Mei	91	42	37	56	26	39
	Juni	3	48	42	33	25	26
	Juli	45	56	45	33	26	22
	Augustus	23	55	42	46	24	24
	September	33	44	36	20	23	23
	Oktober	23	31	27	14	14	17
	November	1	16	16	31	9	9
	December	-1	11	11	8	3	2

Bijlage VI Waarnemingen van het minerale N gehalte in de bodem

In Figuur VI.1 is de ontwikkeling van de mineralisatie in de verschillende vaste waarnemingsplekken weer-gegeven. De figuren hebben betrekking op de Nmin gehalten buiten de mineralisatiebuisjes. Deze zijn het meest relevant omdat deze (i.t.t. de gehalten in de buisjes) beïnvloedt kunnen zijn door gewasopname en verliezen. In Tabellen VI.1 en VI.2 is het Nmin gehalte in verschillende jaren weergegeven.

We zien dat het Nmin gehalte in de bouwvoor zowel in de zomer als in de winter na 1994 is toegenomen en vervolgens, na 2000 weer is afgenomen. De afname kan veroorzaakt zijn door een lagere aanvoer van minerale N met mest, door een afname van de mineralisatie, veranderingen in de N opname door gewassen of veranderingen in verliezen. Hieronder wordt ingegaan op oorzaken en gevolgen.



Figuur VI.1 Ontwikkeling van het Nmin gehalte op zeven plekken op 'De Marke'

Tabel VI.1 Nmingehalte (mg/kg) per jaar per plek, gedurende het groeiseizoen (van dag 60 tot dag 300)

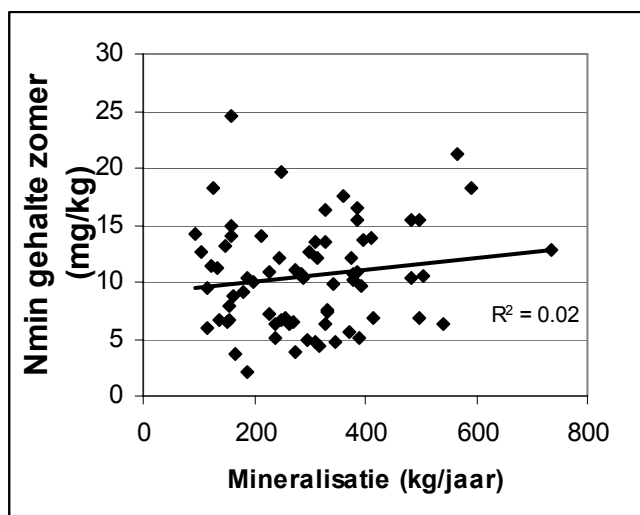
Jaar	11	17	19	2	21	9	Gem.
1993	17	11	12	8	12	14	1
1994	18	11	11	11	14	11	13
1995	6	10	11	7	8	6	8
1996	14	14	6	13	7	15	12
1997	7	13	11	10	14	16	12
1998	8	10	12	8	16	10	11
1999	14	12	9	19	25	15	16
2000	14	21	10	10	20	18	16
2001	9	18	11	14	15	13	13
2002	4	6	7	2	7	5	5
2003	7	5	10	5	6	6	7
2004	5	10	13	5	6	7	7
2005	11	7	4	6	5	8	7

Tabel VI.2 Nmin gehalte (mg/kg) per jaar en per plek in de winter (van dag 300 tot dag 60)

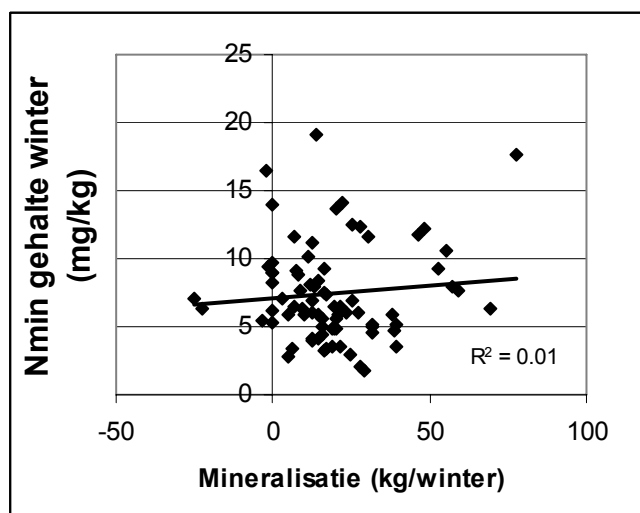
Jaar	11	17	19	2	21	9	Gem.
1993	5,3	6,4	3,3	2,7	4,1	6,0	4,6
1994	4,9	7,6	5,0	3,6	10,5	5,2	6,1
1995	5,9	9,3	5,8	7,0	6,1	11,7	7,6
1996	3,0	11,8	6,0	5,6	6,3	9,1	7,0
1997	14,1	7,9	4,5	7,7	9,3	7,9	8,6
1998	8,2	8,9	16,5	6,2	19,1	17,7	12,8
1999	8,9	9,8	10,1	14,0	11,1	12,4	11,1
2000	8,0	12,2	13,7	8,4	8,8	12,5	10,6
2001	5,5	9,4	7,4	7,1	6,3	11,6	7,9
2002	4,8	4,2	6,4	4,4	3,4	7,5	5,1
2003	1,7	4,9	6,4	2,0	4,0	3,5	3,7
2004	5,9	5,6	3,2	5,1	3,6	7,1	5,1
2005	5,9	6,1	4,8	6,4	5,0	6,9	5,8

Bijlage VII Correlatie tussen de N mineralisatie en Nmin gehaltenes

In Figuur VII.1 en VII.2 is de mineralisatie uitgezet tegen gemeten Nmin gehaltenes. Er is geen onderscheid gemaakt tussen gewassen.



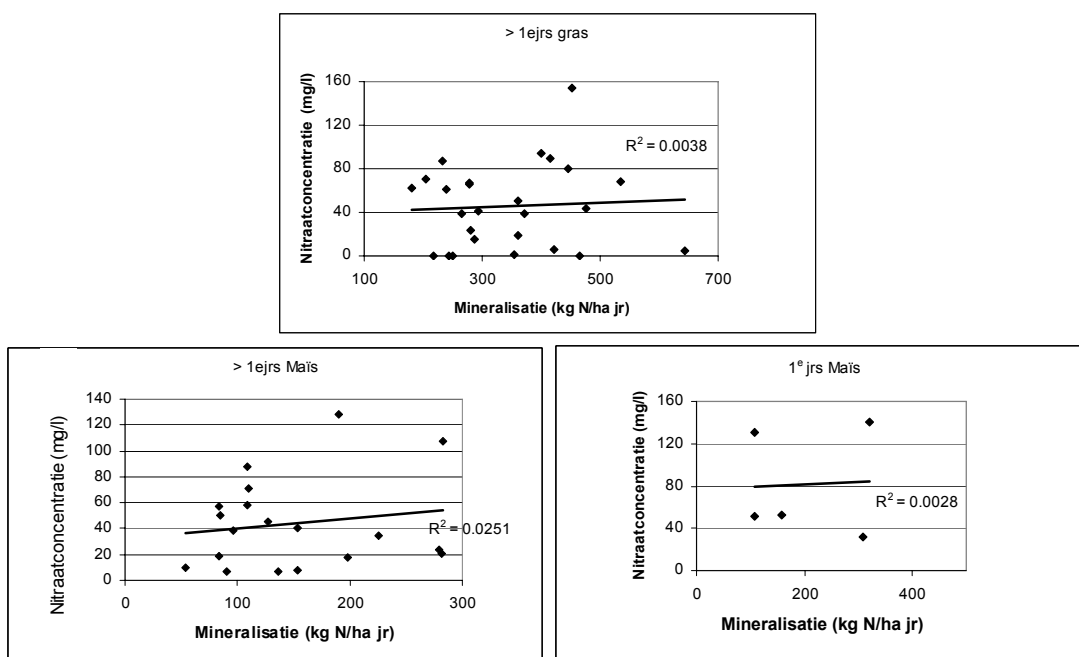
Figuur VII.1 Nmin gehaltenes (gemiddelden over dag 60 tot dag 300) uitgezet tegen de mineralisatie



Figuur VII.2 Nmin gehaltenes (gemiddelden over dag 300 tot dag 60) uitgezet tegen de mineralisatie

Bijlage VIII Meetwaarden van de mineralisatie gerelateerd aan meetwaarden van de nitraatuitspoeling

De N mineralisatie in vaste waarnemingsplekken is vergeleken met de nitraatgehaltes gemeten in de percelen waarin de vaste waarnemingsplekken liggen. Figuur VIII.1 geeft de resultaten weer voor maïs (onderscheiden naar fase in rotatie) en meerdere jaars gras. We zien geen duidelijk effect van de mineralisatie. De nitraatgehaltes zijn bepaald in de bovenste meter van het grondwater. De meetdichtheid is 3 boringen per hectare.



Figuur VIII.1 De relatie tussen N mineralisatie in het groeiseizoen in vaste waarnemingsplekken op 'De Marke' en de uitspoeling van nitraat in de bijbehorende percelen

