



ALTERRA

WAGENINGEN UR

Mineralisatie van mest en organische stof in de bodem

Een indicator op basis van (bio) chemische parameters

K.B. Zwart

Alterra-rapport 1504, ISSN 1566-7197



Mineralisatie van mest en organische stof in de bodem

Mineralisatie van mest en organische stof in de bodem

Een indicator op basis van (bio) chemische parameters

K.W. Zwart

Alterra-rapport 1504

Alterra, Wageningen, 2007

REFERAAT

K.B. Zwart, 2007. *Mineralisatie van mest en organische stof in de bodem, Een indicator op basis van (bio) chemische parameters*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1504. 49 blz.; 9..fig.; 24. tab.; 12. ref.

Van zes verschillende bemestingregimes in een graslandproef is onderzocht wat het effect is op de bodemsamenstelling en de mineralisatie. Bovendien is de mineralisatie van de organische mestsoorten in laboratoriumproeven onderzocht. Na drie jaar was er geen verschil in het totaal C of totaal N gehalte tussen niet en wel bemeste veldjes. Het gehalte aan oplosbaar organisch C en N (SOC en SON) was significant hoger in de bemeste veldjes. De stikstofmineralisatie was ook hoger in de bemeste dan op de onbemeste veldjes, behalve in het geval van kunstmest. Het gehalte aan bacteriële biomassa was lager in de veldjes die drie jaar lang werden bemest dan in de onbemeste veldjes. Voor de schimmelbiomassa was dat net andersom. Er was geen duidelijke relatie tussen de gemeten stikstofmineralisatie en een bodemparameter van deze veldjes. Op basis van de samenstelling de mest, de gemeten mineralisatie en berekeningen met een eenvoudig model wordt getracht een uitspraak te doen over de beschikbaarheid van de stikstof uit organische mest. De uitkomsten zijn echter niet eenduidig.

Verder is voor uiteenlopende bodems van vijf verschillende bodemparameters de geschiktheid als mineralisatie-indicator onderzocht. Daarbij is gebruik gemaakt van een aantal percelen van diverse proefbedrijven van PPO-PAV. Als beste parameter kwam in 0.01 M CaCl₂ oplosbaar organisch stikstof (SON, soluble organic N) uit de bus. Hoewel de relatie die gevonden werd met N-totaal, C-totaal, Oplosbaar organisch C en NH₄ die extraheerbaar is met hot KCl even goed waren als die met SON, is de laatste het gemakkelijkst te bepalen, aangezien hij is af te leiden uit de meeste gebruikte methode om anorganisch N in landbouwbodems te bepalen. Echter, de betrouwbaarheid van de gevonden relatie is niet groot genoeg om hem toe te passen op individuele percelen voor de praktijk. Wel lijkt SON een goede bodemkwaliteitsparameter in relatie tot stikstofmineralisatie.

Trefwoorden: Mest, mineralisatie, organische stof, stikstofbeschikbaarheid

ISSN 1566-7197

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

© 2007 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

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

Niets uit deze uitgave mag worden veeveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

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

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting en conclusies	9
1 Inleiding	11
2 Methodiek	13
2.1 Bemestingsproef op grasland	13
2.2 Percelen van een uiteenlopende samenstelling	13
2.3 Bodemsamenstelling	14
2.4 Mestsamenstelling	14
2.5 Mineralisatie in bodemmonsters	15
2.5.1 Stikstofmineralisatie	15
2.5.2 Koolstofmineralisatie	15
2.6 Mineralisatie van mest	16
2.6.1 Stikstofmineralisatie	16
2.7 Koolstofmineralisatie	16
2.8 Microbiële biomassa	17
2.9 Statistische analyse	17
3 Resultaten	19
3.1 Effect van bemesting op bodemsamenstelling, microbiële biomassa en stikstofmineralisatie	19
3.1.1 Samenstelling van de bodem	19
3.2 Mineralisatie van de mest	23
3.2.1 Mestsamenstelling	24
3.2.2 Mineralisatie van de vaste fractie	26
3.2.3 Modelberekeningen	28
3.3 Gebruik van regressie relaties voor de voorspelling van mineralisatie in bodemmonster	30
3.3.1 Relatie tussen stikstofmineralisatie en een aantal bodemparameters	33
Literatuur	37
<i>Bijlagen</i>	
1 Schema bemestingsproef op gras op De Marke.	39
2 Samenstelling mest	41
3 Aannames en berekeningen met XCLNCE	43
4 Typering van de bemonsterde percelen van de PPO-PAV bedrijven	47

Woord vooraf

Algemeen wordt onderkend dat mineralisatie van organische stikstofverbindingen van groot belang is binnen het landbouwkundig handelen. Zowel in positieve zin doordat mineralisatie bijdraagt aan de nutriëntenvoorziening van planten, als in negatieve zin, doordat de stikstof die vrijkomt bij mineralisatie kan uitspoelen op momenten dat er geen gewas op het veld staat. Voor de beide kanten van het proces zou het prettig zijn indien de omvang van de mineralisatie kan worden geschat, en dan het liefst voor zowel mineralisatie van toegediende mest of organische resten als van de organische stof in de bodem zelf. In dit rapport worden de resultaten beschreven van een aantal experimenten in laboratorium en in veld, waarmee is getracht een relevante parameter te vinden voor het schatten van de mineralisatie.

Samenvatting en conclusies

In het kader van het onderzoek binnen het Mest en Mineralenprogramma van het Ministerie van LNV is experimenteel onderzoek verricht op het gebied van stikstofmineralisatie. Een deel van dat onderzoek was gericht op het maken van een goede schatting van de stikstofmineralisatie uit mest en uit organische stof in de bodem met behulp van een relatief eenvoudig te meten parameter. Klassieke bepalingen van de stikstofmineralisatie zijn tijdrovend en daardoor duur, waardoor het zoeken naar een goed alternatief aantrekkelijk was.

Dit rapport geeft de resultaten van een veldexperiment op grasland dat op verschillende wijzen is bemest (vaste mest, vergiste en niet vergiste dunne mest van De Marke en ammoniakarme mest van De Minderhoudhoeve, die op twee verschillende wijzen werd toegediend en kunstmest). De effecten van de bemesting op de samenstelling van de bodem en op de mineralisatie worden beschreven, evenals de resultaten van incubatieproeven met de verschillende organische mestsoorten die werden gebruikt.

Daarnaast worden de resultaten beschreven van metingen van stikstofmineralisatie op percelen met vrij sterk uiteenlopende gehalten aan koolstof (C) en stikstof (N) en de relatie tussen de stikstofmineralisatie en een aantal bodemparameters.

Effect van bemesting van grasland op de bodemsamenstelling en de bodemmineralisatie

Na drie jaar bemesten met dierlijke mest van een verschillende samenstelling was er geen verschil in het C of totaal N gehalte tussen niet en wel bemeste veldjes. Wel was er een significant hoger gehalte aan oplosbaar organisch C en N (SOC en SON) in de veldjes die drie jaar lang waren bemest. Het laagste SON gehalte werd gemeten in het veldje dat met kunstmest was bemest, maar het verschil was niet significant. De bacteriële biomassa na drie jaar was veel lager in de niet bemeste veldjes dan in de uitgangssituatie, waarvoor geen duidelijke verklaring werd gevonden. Het gehalte aan bacteriële biomassa was lager in de veldjes die drie jaar lang werden bemest dan in de onbemeste veldjes. Voor de schimmelbiomassa was dat net andersom.

Behalve bij de bemesting met kunstmest was de stikstofmineralisatie hoger op de veldjes die drie jaar lang waren bemest dan op de onbemeste veldjes. De hoogste stikstofmineralisatie werd gemeten na bemesting met vaste rundveemest en met gangbare rundveemest van De Marke, die met een zodenbemester was toegediend. Er was geen duidelijke relatie tussen de gemeten stikstofmineralisatie en een bodemparameter.

Mineralisatie van mest

De stikstof en koolstofmineralisatie van de mestsoorten die in het experiment op gras zijn gebruikt is gemeten met behulp van de vaste fractie van de dunne mestsoorten en met de vaste rundveemest.

De vaste fractie van de vergiste mest van De Marke vertoonde de hoogste stikstofmineralisatie, gevolgd door de niet vergiste mest, de vaste mest en de ammoniakarme mest van De Minderhoudhoeve.

De koolstofmineralisatie (afbraaksnelheid) was het hoogst in de niet vergiste mest en de ammoniakarme mest en het laagst in de vergiste mest en de vaste mest.

Er bestond een redelijk goede positieve relatie tussen de stikstofmineralisatie en het gehalte aan totaal N in de mest. Ook was er een goede relatie tussen de afbraaksnelheid in de eerste twee weken en de combinatie van C en N. De latere afbraaksnelheid had alleen nog een vrij zwakke relatie met het totale C-gehalte.

Stikstofbeschikbaarheid voor grasopname

Op basis van de samenstelling van de mest, en dan vooral het gehalte aan minerale stikstof en op basis van de stikstofmineralisatie zou men de hoogste stikstofbeschikbaarheid verwachten bij beide mestsoorten van De Marke, gevolgd door die van De Minderhoudhoeve en de laagste bij de vaste mest.

Berekeningen met een eenvoudig spreadsheetmodel, waarin telkens dezelfde hoeveelheid stikstof werd toegediend, gaven een iets ander resultaat. In dat geval werd de hoogste beschikbaarheid gevonden bij de vergiste mest van De Marke, gevolgd door de ammoniakarme mest, de niet vergiste mest en daarna de vaste mest. Maar de verschillen tussen de dunne mestsoorten waren klein. De berekeningen gaven ook aan dat er slechts een gering effect op het organische stofgehalte van de bodem te verwachten was.

Stikstofmineralisatie en bodemparameters

Indien alle bodemmonsters samen werden genomen bestond er een goede correlatie tussen de gemeten stikstofmineralisatie en de volgende bodemparameters: N-totaal, C-totaal, SON, SOC en met hot-KCl extraheerbaar ammonium. De relatie was goed in de bodemlagen 0-30 en 30-60 cm en veel minder goed in de laag 60-90 cm.

De goede relatie werd vooral veroorzaakt door de bodems met een zeer hoog organische stofgehalte. Indien die niet werden meegenomen in de regressie daalde het de fractie verklaarde variantie sterk. Binnen de groep met een hoog organisch stofgehalte bleef de relatie goed.

De praktische toepasbaarheid van de relatie tussen de mineralisatie en de bodemparameters is waarschijnlijk gering.

1 Inleiding

Mineralisatie van organische stof is een belangrijke bodemeigenschap. Mineralisatie uit mest en uit de organische stof die in de bodem aanwezig is levert een deel van de voor gewassen noodzakelijke stikstof (en andere voedingsstoffen). De snelheid van de mineralisatie en de hoeveelheid stikstof die daarbij vrijkomt kan sterk verschillen tussen verschillende mesttypen en ook tussen verschillende bodems.

Bij de mineralisatie uit mest speelt de samenstelling en de behandeling van de mest een rol. De samenstelling van dierlijke mest kan sterk verschillen afhankelijk van de oorsprong (varkens, pluimvee, melkvee), samenstelling van het voer, behandeling (dunne mest, vaste mest) en de eventuele bewerking (vergisting). Als gevolg daarvan treden er ook verschillen op in de stikstofefficiëntie van verschillende mestsoorten. Twee factoren zijn daarbij waarschijnlijk van groot belang:

- de hoeveelheid anorganische stikstof (N-min)
- de hoeveelheid en de aard van de organische stikstof (N-org)

De hoeveelheid N-min bepaalt hoeveel van de totale stikstof vrijwel direct beschikbaar is voor gewasopname. De fractie N-org en mate waarin en de snelheid waarmee die gemineraliseerd kan worden bepalen verder hoeveel stikstof er in het eerste jaar nog meer beschikbaar is en hoeveel er eventueel in latere jaren beschikbaar kan komen. Gemakkelijk afbreekbare bestanddelen zouden vooral aan de eerste jaarseffecten kunnen bijdragen, terwijl de meer moeilijk afbreekbare bestanddelen een werking op langere termijn kunnen hebben.

De stikstofefficiëntie van verschillende mestsoorten is onderzocht in een project van het onderzoeksprogramma Mest en mineralen (DWK 398-I) in een bemestingsproef op gras op de proefboerderij 'De Marke'. Daarin is gedurende 4 jaren mest van verschillende samenstelling toegepast en is het effect op de grasopbrengst vergeleken met die van kunstmest en die zonder stikstofbemesting. Er is gebruik gemaakt van vaste rundermest, dunne rundveemest van verschillende samenstelling en van dunne varkensmest. De vaste mest werd oppervlakkig toegediend, de dunne mest oppervlakkig of door middel van zodenbemesting. Tevens is de lange-termijn werking van de mest onderzocht, door de mest gedurende 0, 1, 2, 3, of 4 jaar achter elkaar toe te dienen. Een nadere beschrijving van deze proef is weergegeven in Schröder et al. (2002) en de effecten op de grasopbrengst worden elders beschreven .

In dit rapport worden de effecten van de verschillende bemestingen op de bodemsamenstelling en op de stikstofmineralisatie beschreven. In een eerder rapport (Zwart, 2003) zijn de resultaten van de uitgangssituatie van deze bemestingsproef al beschreven. De conclusie was dat er in de uitgangssituatie van de bemestingsproef geen verschil was in stikstofmineralisatie van de onderzochte veldjes (alle veldjes die nooit of die gedurende drie jaar stikstof zouden ontvangen). Maar daarnaast werd gesteld dat het vrij onwaarschijnlijk was dat er na drie jaar wel statistisch significante verschillen zouden ontstaan bij de gehanteerde bemestingsregimes.

Empirische bepalingen van de stikstofefficiëntie zijn tijdrovend, zeker als de effecten pas na meerdere jaren kunnen worden vastgesteld. Het zou daarom prettig zijn indien er een eenvoudige maar betrouwbare methode zou zijn waarmee de hoeveelheid stikstof die beschikbaar komt uit mest of bodem-organische stof kan worden geschat.

Er zijn nationaal en internationaal diverse methoden ontwikkeld om de mineralisatie vanuit mest en bodemorganische stof te schatten. Naast incubatiestudies onder laboratoriumcondities zijn er veldmetingen die gebruik maken van ingegraven buisjes waarin de toename van N-min in de tijd wordt geregistreerd. Verder zijn er bio-toets methoden, waarbij op onbemeste plots de stikstofopname door gewassen wordt gemeten en wordt aangenomen dat het grootste deel van die stikstof het gevolg is van mineralisatie. De meeste van de hierboven genoemde proeven zijn echter ook vrij tijdrovend, en daardoor kostbaar. Bovendien is een deel van de testen moeilijk uitvoerbaar, bijvoorbeeld in het geval van incubatie van mest met een hoog anorganisch stikstofgehalte. Dat wordt veroorzaakt door het hoge achtergrondgehalte enerzijds, waardoor een verandering moeilijk aantoonbaar is en anderzijds door verliezen van anorganische N als gevolg van denitrificatie en vervluchtiging. Om die reden zijn afgeleide indicatoren voor mineralisatie die gerelateerd zijn aan betrekkelijk gemakkelijk meetbare parameters aantrekkelijk. Er zijn verschillende van deze alternatieven ontwikkeld in de (internationale) literatuur. Te denken valt aan methoden waarbij gebruik wordt gemaakt van extractie van de mineraliseerbare stikstof, oplosbaar organisch koolstof of stikstof (Dissolved Organic Carbon, SOC of Dissolved Organic Nitrogen, SON), waarbij verschillende extractiemethoden kunnen worden gebruikt. Tot slot bestaat de mogelijkheid om de microbiële biomassa en/of activiteit te gebruiken als schatter voor de mineralisatie.

Een aantal van deze parameters is gebruikt om te onderzoeken of ze geschikt zijn om de mineralisatie van de mestsoorten die gebruikt zijn in de bemestingsproef op De Marke te schatten. De resultaten daarvan worden eveneens beschreven in dit rapport.

Tot slot zijn dergelijke parameters in principe ook bruikbaar voor de schatting van de mineralisatie uit de organische stof in de bodem. Van een aantal is dat reeds onderzocht voor de uitgangssituatie van de bemestingsproef op De Marke en van een proef met bemesting van maïs, eveneens op De Marke (Zwart, 2003). De conclusie was dat de verschillen in bodemsamenstelling in een laag van 0-30 cm of in een laag van 30-60 cm waarschijnlijk te klein waren om verschillen in mineralisatie te kunnen verklaren. Om die reden is vervolgens ook gezocht naar percelen met een sterk uiteenlopende samenstelling. Daarvoor is gebruik gemaakt van een aantal verschillende percelen van de proefbedrijven van PPO-PAV met akkerbouw, boomteelt of bollenteelt. Van deze percelen is onderzocht of er één of meerdere parameters zijn die goed correleren met de stikstofmineralisatie. De resultaten daarvan worden eveneens in dit rapport beschreven.

2 Methodiek

2.1 Bemestingsproef op grasland

In de bemestingsproef op gras op De Marke is het effect van verschillende mestsoorten en een verschillende toedieningduur op de grasopbrengst en kwaliteit en de bodemvruchtbaarheid onderzocht.

De verschillende behandelingen van de grasproef De Marke staat hieronder. De mineralisatie van deze veldjes is onderzocht in het startjaar 2002 en in het laatste jaar van de proef, voorjaar 2005. In het najaar van 2002 zijn de veldjes onderzocht die in dat jaar geen dierlijke mest of kunstmest hebben gekregen (de uitgangssituatie). In het voorjaar van 2005, het eindjaar van deze proef zijn de veldjes die nooit werden bemest en de veldjes die drie jaar achtereen waren bemest opnieuw bemonsterd, voorafgaand aan de laatste bemesting. Om uitvoeringstechnische redenen werd in 2005 besloten om niet te bemonsteren aan het eind van het jaar.

De plattegronden van de proefvelden en de bemonsterde veldjes van de maïsproef en de grasproef zijn bijgeleverd in Bijlage 1.

De geel gemarkeerde veldjes zijn bemonsterd voor de lagen 0-30 cm en 30-60 cm in het najaar van 2002. De veldjes die gemarkeerd zijn met 0j en 4j zijn bemonsterd in 2005. In dat jaar is om budgettaire redenen alleen de bovenste 30 cm van de bodem bemonsterd. In de uitgangssituatie was al aangetoond (Zwart, 2003) dat de stikstofmineralisatie van de bovenste 30 cm veel hoger was dan die van de laag van 30-60 cm.

De verschillende bemestingsbehandelingen van de grasproef waren als volgt:

1. vaste rundveemest, oppervlakkig toegediend
2. NH₃-arme rundveedrijfmest, oppervlakkig toegediend
3. NH₃-arme rundveedrijfmest, zodenbemesting
4. gangbare rundveedrijfmest, zodenbemesting
5. vergiste gangbare rundveedrijfmest, zodenbemesting
6. kunstmest

2.2 Percelen van een uiteenlopende samenstelling

Voor de bodems van een uiteenlopende samenstelling zijn percelen van verschillende proefbedrijven van PPO-PAV geselecteerd. Een aantal gegevens van de bedrijven is weergegeven in Tabel 1. De bedrijven waren gelegen op zandgrond, kleigrond, dalgrond en op veen. Echter, ook binnen één bedrijf kon de samenstelling van verschillende percelen vrij sterk uiteenlopen als gevolg van lokale verschillen en/of verschillen in bedrijfssysteem. Een deel van de percelen had een gangbaar teeltsysteem en een deel had een biologisch teeltsysteem. De gehalten aan totaal C en

totaal N van drie verschillende bodemlagen (0-30, 30-60 en 60-90 cm) van elk perceel plus informatie over het teeltsysteem is weergegeven in Bijlage 4.

Alle percelen behalve die van Boskoop zijn bemonsterd in de lagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm. In Boskoop zijn alleen de eerste twee lagen bemonsterd. De bemonstering vond plaats in het voorjaar van 2004, voorafgaande aan de bemesting. Achteraf bleek uit de hoge ammoniumgehaltenes en bij navragen dat het laatste niet overal was gelukt. De percelen waar al bemest was zijn in de analyse verder niet betrokken.

Tabel 1. Enkele gegevens van de bemonsterde percelen.

Bedrijf	Lokatie	grondgebruik	Grondsoort	Aantal percelen
Kooijenburg	Marwijksoord	akkerbouw	Zandgrond leemhoudend	6
't Kompas	Valtermond	akkerbouw	Dalgrond	4
Lelystad	Lelystad	akkerbouw	Kleigrond	4
OBS	Nagele	akkerbouw	Kleigrond	6
Westmaas	Westmaas	akkerbouw	Zware kleigrond	2
Vredepeel	Vredepeel	Akkerbouw	Zandgrond	2
Boskoop	Boskoop	Boomteelt	Veen	4
Meterik	Meterik	Tuinbouw	Zandgrond	4
Meterik	Meterik	Boomteelt	Zandgrond	4
De Noord	St. Maartensvlotbrug	Bollenteelt	Zandgrond	6 *

* inclusief 2 praktijkpercelen

2.3 Bodemsamenstelling

De bodems van de Marke en de verschillende PPO-PAV bedrijven zijn geanalyseerd op de volgende gehaltenes:

- totaal organische koolstofgehalte (C-totaal, als C-Kurmies, Houba et al., 1997)
- totaal organisch N-gehalte (N-totaal, Spectrofotometrisch na destructie van de grond met een mengsel van zwavelzuur, salicylzuur en H₂O₂, Houba et al., 1997)
- de hoeveelheid minerale stikstof die geëxtraheerd kan worden met 1M KCl in een waterbad van 80 °C (hot KCl, Gianello and Bremner, 1986)
- het gehalte aan minerale stikstof (NO₃-N, NO₂-N en NH₄⁺-N), na extractie met 0.01 M CaCl₂ van grond die bij 40 °C is gedroogd (Houba et al., 2000)
- het gehalte oplosbare organische koolstof (SOC) en organische stikstof (SON) in 0.01 M CaCl₂ extracten van grond die bij 40 °C is gedroogd (Houba et al., 2000)

2.4 Mestsamenstelling

De samenstelling van verschillende mesttypen die zijn gebruikt in de bemestingsproef op De Marke is twee keer bepaald. Direct na de bemonstering van de mest, voorafgaande aan iedere bemesting is de samenstelling bepaald door het BLGG. Door het BLGG zijn de volgende gehaltenes gemeten:

- Drogestof gehalte bij 105 oC
- N-totaal
- NH₄-N
- P-totaal

- K-totaal

Na bemonstering werd de mest opgeslagen bij 4 °C.

Omdat er vrij veel tijd was verstreken tussen de bemonstering van de mest en het inzetten van de mineralisatieproeven zijn deze gehalten opnieuw gemeten in het laboratorium van de sectie Bodemkwaliteit van WUR. Daarnaast is de mest door WUR op dezelfde gehalten geanalyseerd als hierboven is beschreven voor de bodems.

2.5 Mineralisatie in bodemmonsters

2.5.1 Stikstofmineralisatie

Direct na de bemonstering werden de bodemmonsters gehomogeniseerd, gedroogd bij 40 °C en droog opgeslagen. Voorafgaande aan de mineralisatiemeting werd het monster weer bevochtigd op 60% van de vloeigrens en geïncubeerd bij 20 °C gedurende 2 weken. Daarna werd het monster gedurende 6-12 weken geïncubeerd bij 20 °C in zuurstofdoorlatende audiotheen zakjes (Velthof en Oenema, 2001). Voorafgaande aan de incubatie (t=0) en op verschillende tijdstippen gedurende de incubatie werd de hoeveelheid minerale en totale stikstof gemeten in een 0.01 M CaCl₂ extract van de grond (Groot en Houba, 1995). De hoeveelheid anorganisch N die in die 6 of 12 weken werd geproduceerd (verschil tussen t=6 of t=12 en t=0) is een maat voor de N-mineralisatie. Deze (potentiële) stikstofmineralisatie is uitgedrukt in mg N-min geproduceerd per kg droge grond.

2.5.2 Koolstofmineralisatie

Van een deel van de onderzochte bodems is de koolstofmineralisatie gemeten. Dat gebeurde als volgt. Grond die was gedroogd bij 40 °C werd weer bevochtigd op 60% van de vloeigrens en vervolgens in porties van 100 g (drogestof) geïncubeerd in serumflessen die waren afgesloten met een wattenprop bij 20 °C gedurende 6-12 weken. Voor de C mineralisatiemetingen werd de CO₂ flux vanuit de flessen gemeten met behulp van een fotoakoestische gasmonitor (Innova 1312). Voorafgaand aan de meting werden de flessen gespoeld met perslucht. Vervolgens werden de flessen afgesloten met een dop voorzien van een septum. De sluitingstijd bedroeg 1 – 4 uur. De toename van CO₂ concentratie in de flessen na afloop van de sluitingstijd werd gemeten met de gasmonitor. Na afloop van de meting werden de flessen weer voorzien van een wattenprop. Na correctie voor achtergrond concentraties werd de geproduceerde CO₂ omgerekend in CO₂ fluxen. Cumulatieve respiratie werd vervolgens berekend voor de hele incubatieperiode door lineaire interpolatie tussen de meettijdstippen.

2.6 Mineralisatie van mest

2.6.1 Stikstofmineralisatie

Het principe van de bepaling van stikstofmineralisatie van mest is vergelijkbaar met die van de bodemmonsters. De stikstofmineralisatie kan worden bepaald door een zekere hoeveelheid mest met grond te mengen en dat mengsel te incuberen bij 20 °C. Het verschil tussen de mineralisatie van de controle zonder mest en de grond met mest is dan een maat voor de mineralisatie van de mest.

Uit de samenstelling van de mest (zie resultaat) bleek echter dat de dunne mestsoorten een hoog gehalte aan anorganische stikstof bevatten. Uit eerdere ervaringen was bekend dat een dergelijk hoog gehalte het resultaat van incubatieproeven sterk kan beïnvloeden. Deels ligt de oorzaak in het feit dat de extra anorganische stikstof die vrijkomt tijdens de incubatie niet goed te onderscheiden is tegen de hoge achtergrondgehalten. Voor een ander deel ligt de oorzaak in het optreden van denitrificatie in grond-mestmengsels, waardoor een deel van de aanwezige en/of gevormde anorganische stikstof verdwijnt tijdens de incubatie. Daarom werd besloten om een groot deel van de anorganische stikstof te verwijderen voorafgaande aan de mineralisatie-experimenten. Hiertoe werd de dunne mest gecentrifugeerd bij 10000 x g gedurende 40 minuten, waarna de bovenstaande vloeistof (met daarin het grootste deel van de anorganische N) voorzichtig werd verwijderd. De vaste massa, met daarin de meeste organische N, bleef achter in het pellet. Van dit vaste deel van de mest werd opnieuw de samenstelling bepaald en een deel van het pellet werd gebruikt voor het meten van de stikstofmineralisatie.

De bepaling van de stikstofmineralisatie ging als volgt. Een hoeveelheid vaste mest of pellet in geval van dunne mest (2 g drogestof per kg grond) werd gemengd door grond van de laag 30-60 cm van het grasproefveld van De Marke. Deze grond had zelf een lage stikstofmineralisatie. Het mengsel werd geïncubeerd bij 20 °C gedurende 0, 6 en 12 weken, onder voldoende beluchting, waarbij het vochtgehalte constant werd gehouden op ca 60% van de vloeigrens van de grond. De stikstofmineralisatie is bepaald als netto mineralisatie, d.w.z. de hoeveelheid minerale N (na CaCl₂ extractie) die vrijkwam uit mest na 0, 4 en 12 weken incubatie, na aftrek van de minerale N die uit de grond zelf vrijkwam in deze periode en de N-min die op tijdstip 0 in het mengsel aanwezig was.

2.7 Koolstofmineralisatie

De koolstofmineralisatie van mest is gemeten door een hoeveelheid pellet of vaste mest (2 g drogestof per kg droge grond) toe te dienen grond en goed te mengen en te bevochtigen tot 60% van de vloeigrens. Het incubatiemengsel werd vervolgens op dezelfde wijze behandeld als beschreven is voor de koolstofmineralisatie van bodemmonsters en ook de CO₂ metingen werden op dezelfde wijze uitgevoerd.

2.8 Microbiële biomassa

De microbiële biomassa (bacteria en schimmels) is bepaald met de methode volgens Bloem et al. (1995, 2003). Een kleine bekende hoeveelheid grond werd gemengd met een buffer tot een dunne suspensie, die werd aangebracht op een microscoopglasje. De suspensie werd behandeld met een fluorescerend middel, waarna het bacterieaantal en volume en de lengte van de schimmel hyphen werd vastgesteld met behulp van een confocale laser scan microscoop. Vanuit deze metingen werd de biomassa van beide populaties berekend. De microbiële biomassa is alleen bepaald in de bodemmonsters van De Marke en niet in de bodemmonsters van de PPO-PAV proefbedrijven.

2.9 Statistische analyse

Voor het vaststellen van de effecten van verschillende bemestingen van de grasproef een ANOVA uitgevoerd met behulp van Genstat 9.0. De relatie tussen de gemeten mineralisatie en de verschillende bodemvariabelen is vastgesteld met de lineaire regressiefunctie van dat pakket of van MS-Excel.

3 Resultaten

3.1 Effect van bemesting op bodemsamenstelling, microbiële biomassa en stikstofmineralisatie

3.1.1 Samenstelling van de bodem

In 2002 was vastgesteld dat er in de uitgangssituatie van de verschillende veldjes van de bemestingsproef op gras van De Marke geen verschil in de samenstelling was. Dit gold zowel binnen de bovengrond (laag 0-30 cm) als binnen de ondergrond (laag 30-60 cm). Alleen voor de microbiële biomassa werden verschillen tussen de veldjes gevonden (Zwart, 2003). De verschillen in microbiële biomassa konden nergens door worden verklaard. Er waren wel significante verschillen in samenstelling tussen de beide bodemlagen.

De samenstelling van de laag 0-30 cm van de bodem is weergegeven in Tabel 2 (C-totaal en N-totaal), Tabel 3 (SOC en SON) en Tabel 4 (microbiële biomassa).

C-totaal en N-totaal

De verschillen tussen de uitgangssituatie en de situatie na drie jaar van de onbemeste veldjes waren statistisch niet significant. De gehalten aan totaal C en totaal N na drie jaar waren wel wat hoger dan in de uitgangssituatie, maar dat kan niet aan de behandeling hebben gelegen.

De verschillen tussen de veldjes die nooit waren bemest en de veldjes die gedurende drie jaar achtereen waren bemest waren eveneens zeer klein en statistisch niet significant.

De verschillende bemesting heeft dus niet geleid in een verandering in totaal C of totaal N.

Tabel 2. C-totaal en N-totaal in de onbemeste veldjes op De Marke in 2002 en 2005 en in de drie jaar lang bemeste veldjes in 2005

Bemesting	Totaal C g/kg grond			Totaal N g/kg grond		
	jaar		2005	jaar		2005
	2002	2005		2002	2005	
	onbemest	bemest	onbemest	bemest		
vaste rundveemest	21.40	23.28	24.78	1.028	1.169	1.252
NH ₃ -arme rdm, (oppervl)	22.99	25.76	26.86	1.071	1.166	1.308
NH ₃ -arme rdm, (zoden)	22.83	24.26	24.36	1.193	1.209	1.291
rdm, (zoden)	23.99	24.08	22.86	1.190	1.189	1.097
rdm vergist, (zoden)	22.26	25.14	25.80	1.079	1.200	1.274
kunstmest	23.10	25.09	26.37	1.163	1.243	1.255

SOC en SON

Tabel 3. SOC en SON in de onbemeste veldjes op De Marke in 2002 en 2005 en in de drie jaar lang bemeste veldjes in 2005

Bemesting	SOC mg/kg grond			SON mg/kg grond		
	jaar			jaar		
	2002	2005		2002	2005	
	onbemest	bemest		onbemest	bemest	
vaste rundveemest	50.3	82.9	96.2	3.05	6.66	8.27
NH3-arme rdm, (oppervl)	50.2	85.8	94.2	2.98	6.86	8.04
NH3-arme rdm, (zoden)	57.5	85.3	96.0	3.55	6.84	8.01
rdm, (zoden)	55.8	82.4	87.2	3.75	7.20	7.65
rdm vergist, (zoden)	46.1	83.1	88.0	2.70	6.98	7.53
kunstmest	51.8	85.8	88.9	3.25	7.65	7.08

Er is een duidelijk verschil tussen de uitgangssituatie en de onbemeste situatie na drie jaar. De SOC gehalten zijn ruim anderhalf keer hoger voor alle behandelingen. Tussen de verschillende mestsoorten zijn de verschillen niet significant verschillend. In de veldjes die drie jaar lang zijn bemest zijn de SOC gehalten significant hoger dan in de onbemeste veldjes. Tussen de behandelingen bestaat geen verschil.

De gehalten in SON vertonen hetzelfde beeld als de SOC gehalten. In de onbemeste veldjes is zijn de gehalten bijna twee keer zo hoog als in de uitgangssituatie en de verschillen zijn significant ($p < 0.001$). In de veldjes die drie jaar lang zijn bemest is het SON gehalte iets hoger dan in de onbemeste veldjes, behalve in het veldje dat kunstmest heeft gekregen. ($p = 0.023$).

De conclusie is dat de SOC en SON gehalten na drie jaar veel hoger zijn in de onbemeste veldjes dan in de uitgangssituatie. De enige verklaring die hiervoor kan worden gevonden is het verschil in bemonsteringstijdstip. Klaarblijkelijk zijn de gehalten in het voorjaar hoger dan in het najaar. Vinther et al (2006) rapporteerden juist lagere DON gehalten in het voorjaar dan in het najaar. Murphy et al (2000) zagen geen seizoensvariatie; alleen vlak na het ploegen waren de DON gehalten een beetje verhoogd. Chapman et al (2001) zagen in Schotse rivieren dat het DON gehalte in het voorjaar hoger was dan in het najaar.

Belangrijker is de constatering dat bemesting leidt tot hogere SOC en SON-gehaltenes.

Bacteriële biomassa

Tabel 4. Bacterie-biomassa en schimmel-biomassa in de onbemeste veldjes van De Marke in 2002 en 2005 en in de drie jaar lang bemeste veldjes in 2005

	Bacteria $\mu\text{g C /kg grond}$			Schimmel $\mu\text{g C /kg grond}$		
	jaar			jaar		
	2002	2005		2002	2005	
Bemesting	onbemest	bemest		onbemest	bemest	
vaste rundveemest	31.6	28.8	20.4	0.64	13.07	12.02
NH ₃ -arme rdm, (oppervl)	43.4	15.6	7.7	0.64	10.30	9.54
NH ₃ -arme rdm, (zoden)	27.8	9.9	13.1	0.64	10.31	10.24
rdm, (zoden)	55.8	21.9	16.1	0.64	8.40	10.80
rdm vergist, (zoden)	72.8	17.5	15.8	0.64	13.10	7.20
kunstmest	53.0	29.7	18.0	0.64	13.62	12.70

De bacteriële biomassa in de uitgangssituatie was significant hoger dan in de onbemeste veldjes na drie jaar. Tussen de veldjes was het verschil ook significant in de uitgangssituatie (Zwart, 2003) en dat bleef zo na drie jaar. Bovendien waren de microbiële C-gehalten na drie jaar significant lager dan in de uitgangssituatie. Ook tussen de mestsoorten bestonden verschillen, maar die waren (net) niet significant (p 0.041).

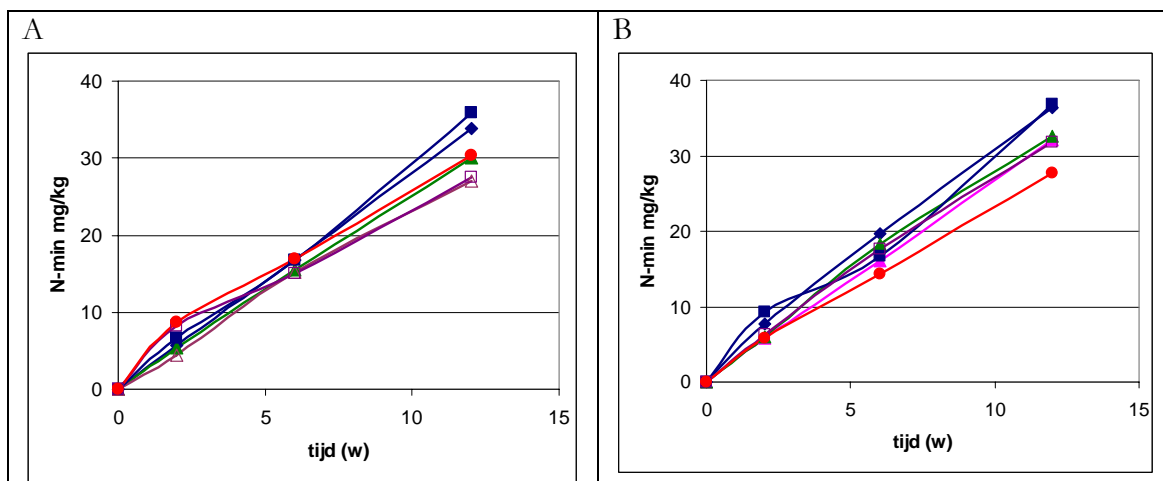
De verschillen tussen de niet bemeste veldjes en de veldjes die drie jaar waren bemest waren niet significant verschillend. Bemesting had dus geen effect op de bacteriële biomassa.

De schimmelbiomassa was gelijk in alle veldjes tijdens de uitgangssituatie. Na drie jaar waren de gehalten in de onbemeste veldjes duidelijk en significant hoger. De schimmelbiomassa in de kunstmestveldjes was significant hoger dan die in de andere veldjes; de schimmelbiomassa in de onbehandelde rundveedrijfmest met zodenbemester was significant lager dan die in de andere veldjes.

De conclusie is dat de al lage bacteriebiomassa in 2002 nog lager was na drie jaar en dat de biomassa in de bemeste veldjes lager was dan in de onbemeste veldjes. De schimmelbiomassa daarentegen was veel hoger in de onbehandelde veldjes en in de bemeste veldjes. Het effect van bemesten is echter niet eenduidig. In de meeste gevallen was er geen verschil met de onbemeste veldjes; bij kunstmest was er een stijging en bij rundveedrijfmest en zodenbemesting was er een daling.

Stikstofmineralisatie

De stikstofmineralisatie in de uitgangssituatie en na drie jaar bemesten staat in Tabel 5. Het patroon waarmee de mineralisatie verloopt tijdens de incubatie is weergegeven in Figuur 1. Daaruit valt af te leiden dat gedurende de incubatieperiode de N-mineralisatie vrijwel lineair met de tijd verliep. In de onbemeste veldjes ontstonden de grootste verschillen in de laatste 6 weken. In de veldjes die drie jaar waren bemest ontstonden de verschillen vanaf de start van de incubatie.



Figuur 1. Verloop van de stikstofmineralisatie tijdens de incubatie. A, nooit bemest, B drie jaar bemest

●, kunstmest, ◆, vaste mest

□, open: rdm zodenbemesting; gesloten: rdm vergist

△, open: rdm NH₃-arm, zodebemesting; gesloten, NH₃-arm oppervlakkig

Er is geen significant verschil tussen de uitgangssituatie en de onbemeste veldjes na drie jaar (Tabel 5), alleen de NH₃-arme rundveemest met zodenbemesting is significant lager terwijl de gangbare rundveemest met zodenbemesting significant hoger is. Na drie jaar zijn de verschillen klein, maar door de geringe variatie zijn de verschillen wel significant. De veldjes die 4 jaar lang zijn bemest hebben, op het kunstmestveldje na een significant hogere N-mineralisatie ($p = 0.099$). Ook onderling zijn de verschillen tussen de bemeste veldjes significant ($p=0.005$). De hoogste mineralisatie hebben de veldjes met rundveedrijfmest met de zodenbemester en die met vaste mest. De veldjes die drie jaar lang kunstmest hebben gekregen hebben laagste stikstofmineralisatie.

Het verschil in mineralisatie komt ook tot uiting in het verschil in N-min gemeten in het voorjaar (Tabel 5). Dat is eveneens significant hoger in de bemeste veldjes, behalve in het kunstmestveldje. En de hoogste waarden worden ook hier gevonden in de veldjes die drie jaar lang rundveedrijfmest met de zodenbemester en vaste mest hebben gekregen. De veldjes met vaste mest hadden ook de hoogste SON gehalten en de veldjes met kunstmest hadden de laagste SON gehalten (Tabel 3).

Tabel 5. Stikstofmineralisatie van de onbemeste veldjes van De Marke in 2002 en 2005 en in de bemeste veldjes in 2005

	N mg/kg grond/12 weken		N-min voorjaar mg/kg grond			
	jaar		jaar			
	2002	2005	2002	2005		
Bemesting	onbemest bemest		onbemest bemest			
vaste rundveemest	32.1	33.8	36.4	-	4.21	5.16
NH3-arme rdm, (oppervl)	28.9	30.0	32.2	-	4.24	4.64
NH3-arme rdm, (zoden)	41.6	27.0	32.6	-	3.79	4.57
rdm, (zoden)	28.5	35.9	36.9	-	4.46	5.88
rdm vergist, (zoden)	31.8	27.5	31.8	-	3.92	4.63
kunstmest	31.6	30.4	27.8	-	4.45	3.79

Overall conclusie:

Hoewel er na drie jaar bemesting geen effect op de totale koolstof of stikstof gehalten gevonden wordt is er wel een effect op de stikstofmineralisatie en op de gehalten aan SON en minerale N in het voorjaar. Daaruit kan voorzichtig worden geconcludeerd dat de kwaliteit van de organische stof belangrijker is dan het gehalte als zodanig.

Tabel 6. Percentage verklaarde variantie in de lineaire regressie tussen de stikstofmineralisatie en een aantal bodemparameters in de grasveldjes op de Marke (bemonstering 2005)

	0 jaar bemest	4 jaar bemest	Opmerking
C-totaal	0.02	0.3839	Negatieve relatie
N-totaal	0	0.2061	Negatieve relatie
SOC	0.008	0.003	
SON	0.02	0.08	
N-min	0.17	0.2606	Positieve relatie
NH4-hot KCL	0.03	0.003	

Met behulp van lineaire regressie is onderzocht of er een consistente relatie tussen de stikstofmineralisatie en één of meer van de volgende parameters bestond: C-totaal, N-totaal, SOC, SON, N-min en NH4-hot-KCL. Daarvoor zijn de metingen van 2005 gebruikt en de resultaten laten zien dat er een negatieve correlatie bestond met C-totaal en N-totaal in de veldjes die drie jaar lang waren bemest (Tabel 6). Er was een positieve correlatie met N-min, maar het percentage verklaarde variantie was laag. Voor de overige parameters was er geen correlatie. Het resultaat uit de ANOVA werd dus alleen bevestigd voor de correlatie tussen de stikstofmineralisatie en het gehalte aan N-min in het voorjaar.

3.2 Mineralisatie van de mest

Van de vijf verschillende mestsoorten die in de bemestingsproef op gras op De Marke werden gebruikt is in het eerste jaar de mineralisatie van stikstof en koolstof gemeten. De beide ammoniakarme mestsoorten (afkomstig van de Minderhoudhoeve) waren nagenoeg aan elkaar gelijk; ze werden alleen op verschillende wijze toegediend. Voor de mineralisatiemetingen is alleen de oppervlakkig toegediende mest gebruikt. De gangbare en de gangbare vergiste mest waren afkomstig

van De Marke. Voor de incubatie proeven is mest gebruikt van de eerste gift (vaste mest, die eenmalig is toegediend) en van de eerste 3 giften voor de dunne mestsoorten.

3.2.1 Mestsamenstelling

De samenstelling van de mest was voor de bemesting al een keer bepaald door het BLGG, maar zoals al eerder is uitgelegd is die bepaling nog een keer herhaald op het laboratorium van de sectie Bodemkwaliteit van de WUR, waar ook de incubatieproeven werden uitgevoerd. De samenstelling van beide bepalingen vertoonde over het algemeen een goede tot zeer goede overeenkomst voor parameters die in beide analyses werden gemeten. (Tabellen 7 en 8 en Bijlage 2). Alleen van de vaste mest was het N-totaal veel lager in de WUR analyses dan bij BLGG en in de vergiste mest van de Marke waren de door WUR gemeten C-gehalten hoger. De meeste verschillen werden waarschijnlijk veroorzaakt door heterogene samenstelling van de mest en door veranderingen gedurende de bewaring bij 4 °C. Echter, de samenstelling van de dunne mest veranderde nagenoeg niet tussen de bemestingen (Bijlage 3). Verder waren er verschillen in samenstelling tussen de vaste mest en de dunne mest. Dunne mest van de Minderhoudhoeve had een lager minerale N gehalte dan dat van de Marke, het organische N-gehalte was nagenoeg gelijk. Vergisting van mest van de Marke veranderde de samenstelling slechts in geringe mate, met uitzondering van het organische stofgehalte (BLGG analyses).

Tabel 7 Gemiddelde samenstelling van de mest in g per kg vers materiaal (BLGG bepaling), N-org, organische N

Mestsoort	N-NH ₃	N-org	N-tot	P ₂ O ₅	K ₂ O	OS
Vaste mest	1.9	3.9	4.8	2.1	12.0	158
Minderhoudhoeve (oppervlakkig bemest)	1.4	1.5	2.9	1.0	5.4	68.5
Minderhoudhoeve (zodenbemester)	1.4	1.4	2.8	1.0	5.4	68.5
Marke (gangbaar)	2.0	1.6	3.5	1.2	5.2	74.5
Marke (vergist)	2.1	1.5	3.6	1.2	5.2	49.5

Tabel 8 Gemiddelde samenstelling van de mest in g per kg vers materiaal (WUR bepaling)

Mestsoort	N-tot	P ₂ O ₅	K ₂ O	C-tot
Vaste mest	3.2	2.2	8.8	81.2
Minderhoudhoeve	2.7	1.0	5.6	32.5
Marke (gangbaar)	3.1	1.0	5.2	34.9
Marke (vergist)	3.3	1.3	5.9	39.7

In de bepaling op WUR is ook het gehalte aan minerale N en SOC en SON gemeten na extractie met 0.01 M CaCl₂ en ammonium-N na extractie met 1 M KCL bij 80 °C (hot-KCl). De resultaten staan in Tabel 9. In de vaste mest was de meeste N-min aanwezig als nitraat, in de dunne mestsoorten was dat in de vorm van ammonium. Het N-NH₄ gehalte na extractie met hot KCl was in de meeste gevallen min of meer gelijk aan dat na CaCl₂-extractie.

Indien de hoeveelheid minerale stikstof een maat is voor de beschikbaarheid van stikstof uit mest, dan zou men op grond van de BLGG samenstelling mogen verwachten dat de stikstofbeschikbaarheid van de mest van De Marke het hoogst is (geen verschil tussen gangbaar en vergist), gevolgd door die van de vaste mest en die van de Minderhoudhoeve. Op grond van de WUR analyse, is de N-beschikbaarheid van de vaste mest waarschijnlijk lager dan die van de dunne mest van de Minderhoudhoeve.

Het drogestofgehalte van de dunne mesten was tussen de 5 en 10%. De fractie minerale N in de dunne mest was ca 50% van N-totaal. Zoals ook al eerder is uitgelegd is het meten van stikstofmineralisatie in dergelijk natte fracties met een hoog eigen gehalte aan anorganische stikstof moeilijk. Om die reden is de mest gecentrifugeerd, waarbij het grootste deel van de opgeloste (anorganische) stikstof in de bovenstaande vloeistof (supernatant) achterblijft. Het percentage van de totale stikstof en koolstof en van de anorganische stikstof uit de niet gecentrifugeerde mest dat werd teruggevonden in het pellet staat weergegeven in Tabel 10.

Koolstof wordt nagenoeg volledig teruggevonden in het pellet. Waarden van boven de 100% zijn theoretisch niet mogelijk maar ontstaan door onnauwkeurigheden in de weging en de bepaling. Een deel van de N-totaal blijft in het supernatant achter, ammoniak stikstof blijft nagenoeg geheel in het supernatant achter. Dat de recovery van nitraat soms extreem hoog is heeft twee oorzaken. Het ontstaat waarschijnlijk als gevolg van nitrificatie tijdens de behandeling, waardoor er een beetje nitraat wordt gevormd. Omdat de oorspronkelijke nitraatgehaltes van de dunne mest zeer laag waren (Tabel 9) leidt een klein beetje extra vorming al gauw tot het gevonden resultaat.

Tabel 9. Gemiddelde samenstelling van de mest, na CaCl₂ extractie of hot-KCl extractie (in g per kg vers materiaal, tenzij anders vermeld)

Mestsoort	Code	CaCl ₂ N-NO ₃ mg/kg	N-NH ₄	SON	SOC	Hot KCl N-NH ₄
Vaste mest	M1	2.6	0.0	0.1	2.4	0.1
Minderhoudhoeve	M2	0.1	1.1	1.5	2.5	1.2
Marke (gangbaar)	M4	0.1	1.6	1.9	2.1	1.7
Marke (vergist)	M5	0.1	1.6	1.9	2.4	1.8

Tabel 10 Recovery (% van niet gecentrifugeerde mest) van koolstof en stikstof in het pellet van gecentrifugeerde mest en de hoeveelheden C en N die zijn toegevoegd aan de grond bij de incubatie

Mestsoort	C- totaal	N- totaal	N- NO ₃	N- NH ₄	Toegediend aan grond voor incubatie (mg per kg)	
	%	%	%	%	C	N
Mest vast	nvt	nvt	nvt	nvt	931.5	37.5
Minderhoudhoeve	111.8	47.9	201.2	1.8	907.4	38.5
Marke (gangbaar)	96.7	61.3	179.3	2.2	936.2	41.9
Marke (vergist)	109.3	52.2	48.2	3.7	937.4	40.4

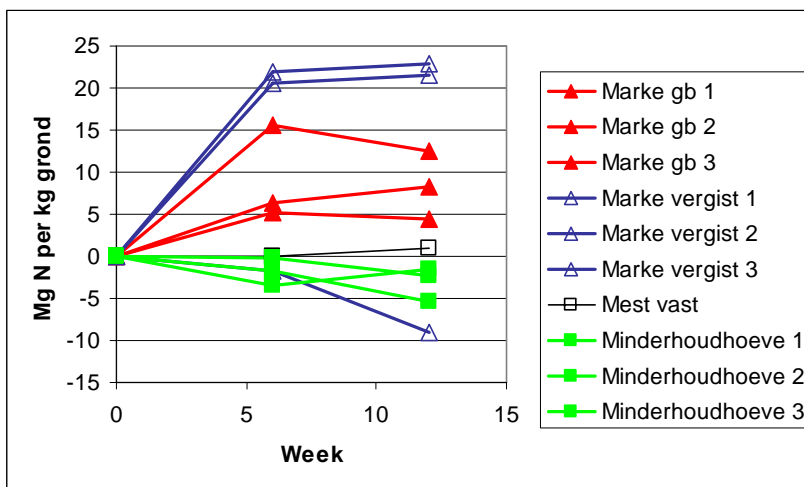
Belangrijker is de zeer lage recovery van de ammoniakstikstof. Uit de laatste twee kolommen van Tabel 10 kan worden afgeleid dat de hoeveelheden koolstof en

stikstof die werden gebruikt tijdens de incubatieproeven min of meer dezelfde was voor de verschillende mestsoorten.

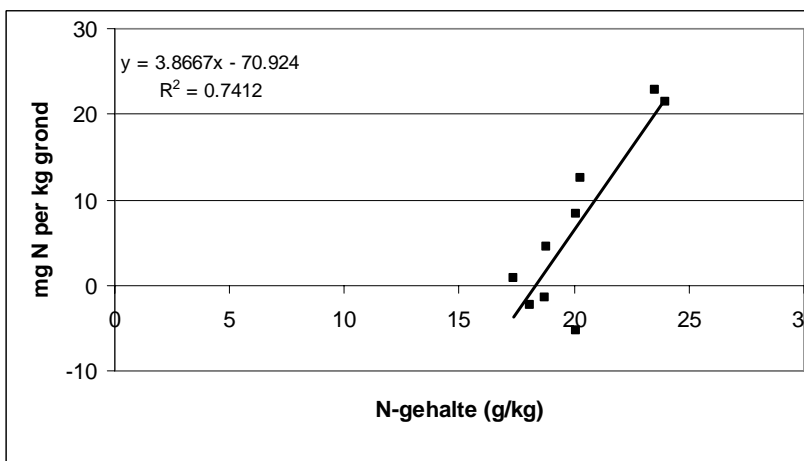
3.2.2 Mineralisatie van de vaste fractie

Stikstofmineralisatie

Over het algemeen verliep het patroon van de stikstofmineralisatie van de vaste fracties van de drie verschillende monsters per mesttype vrijwel gelijk. De grootste uitzondering was de mineralisatie van de derde mestgift van de vergiste mest van de Marke (Figuur 2). De mineralisatie van mest van de derde bemonstering week sterk af van die van de eerste twee. Om die reden zijn de resultaten van derde bemonstering niet meegenomen in de regressieanalyses van de stikstofmineralisatie. Het weglaten had overigens slechts een gering effect op de gevonden relaties.



Figuur 2. Verloop van de stikstofmineralisatie van de vaste fractie van de dunne mesttypen en van de vaste mest in incubatieproeven. gb, gangbaar



Figuur 3 Relatie tussen de stikstofmineralisatie (mg N geproduceerd in 12 weken) en het totaal N gehalte van de vaste fractie van mest

De vaste fractie van de beide mestsoorten van De Marke mineraliseerde vrij gemakkelijk gedurende de eerste zes weken, en aangenomen mag worden dat die minerale N ook grotendeels ter beschikking komt van het gras. Anders lag dat voor de vaste mest en de mest van de Minderhoudhoeve, waarvan de vaste fractie in beide gevallen stikstof immobiliseerde.

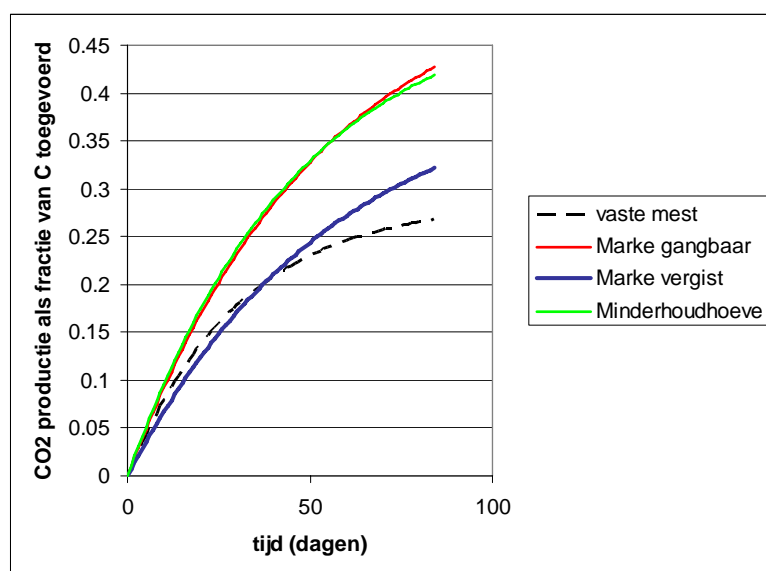
Uit deze resultaten kan niet worden vastgesteld hoe lang de immobilisatie zal doorgaan. Maar het ziet er naar uit dat er minder N uit de vaste mest en die van de Minderhoudhoeve beschikbaar zal komen voor het gras dan uit de mest van De Marke.

Er was alleen een redelijk goed lineair verband tussen de stikstofmineralisatie en het N-totaal gehalte (Fig. 3) een heel zwakke relatie met het C-totaal gehalte en geen relatie met C/N quotiënt of met hot-KCl geëxtraheerd ammonium. Het combineren van andere factoren met het totaal N-gehalte leverde geen verbetering van de relatie op.

Koolstofmineralisatie

De CO₂ productie is gemeten na 2, 6 en 12 weken en het resultaat is uitgezet als de hoeveelheid geproduceerde CO₂ als fractie van de toegevoegde koolstof (Figuur 4).

Uit figuur 4 kan worden afgeleid dat de vaste mest het langzaamst wordt afgebroken, gevolgd door de vergiste mest van De Marke; de gangbare mest van de Marke en de mest van de Minderhoudhoeve worden het snelst afgebroken. Indien de afbraaksnelheid een maat is voor de stikstofbeschikbaarheid zou die het hoogst zijn in het geval van de Minderhoudhoeve en de gangbare mest van de Marke en het laagst in de vaste mest. Dat is tegenovergesteld aan de metingen van de stikstofmineralisatie. De oorzaak ligt waarschijnlijk aan immobilisatie. De mest van de Minderhoudhoeve is stikstofarm, en dus relatief koolstofrijk. En als die koolstof goed afbreekbaar is ontstaat al snel immobilisatie.



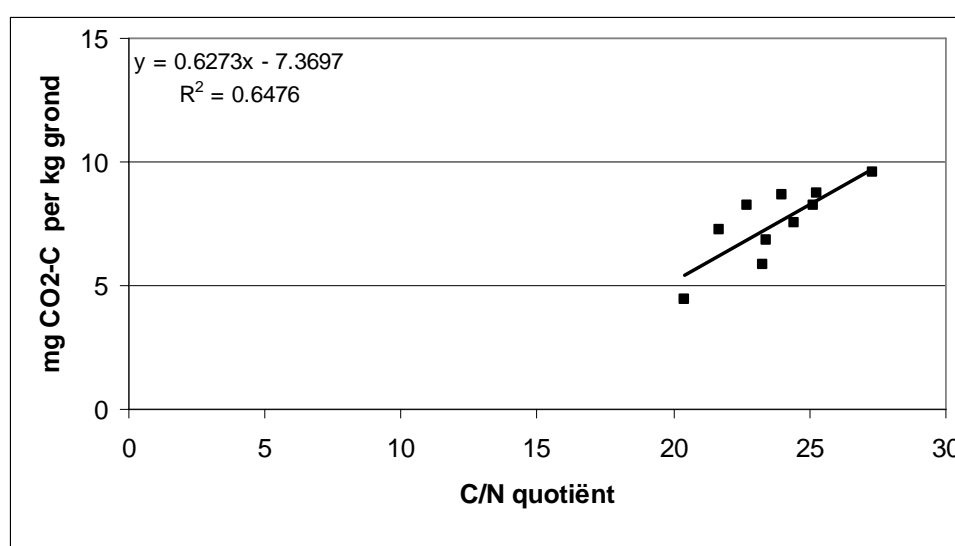
Figuur 4 CO₂ productie als fractie van de toegevoegde koolstof tijdens de incubatie van mest.

Er bestond een redelijk goede relatie tussen de CO₂ productie na twee weken incubatie en het C/N quotiënt van de vaste fractie (Fig. 5). De relatie met C of N alleen was veel zwakker (Tabel 12).

Tabel 12. Verklaarde variantie (R²) tussen de CO₂ productie uit de vaste mestfractie na 2 en 12 weken incuberen en het C en N gehalte.

Factor	R ²	
	Week 2	Week 12
C	0.2225	0.2919
N	0.0800	0.0664
C&N	0.7528	0.3009
C/N quotiënt	0.6476	0.0070

De positieve interactie tussen C en N verdween bij CO₂ productie na week 6 en week 12. Er bleef alleen en vrij zwakke relatie over met het totaal C-gehalte (Tabel 12).



Figuur 5 Relatie tussen de initiële koolstofmineralisatie (mg C geproduceerd in 2 weken) en het C/N quotiënt van de vaste fractie van mest

3.2.3 Modelberekeningen

De beschikbaarheid van stikstof uit de organische mest is voor de drie jaren ook geschat met behulp van een eenvoudig mineralisatiemodel XCLNCE (Zwart, 2002). Daarbij is een aantal aannames gedaan die staan vermeld in Bijlage 3. De stikstofopname in XCLNCE wordt bepaald door de potentiële opname en de beschikbare hoeveelheid stikstof.

De potentiële opname is voor alle varianten gelijk, evenals de neerslag en de temperatuur. De verschillen in berekende opname komen dus voor rekening van de verschillen in N-beschikbaarheid. De N-beschikbaarheid is afhankelijk van de mestsamenstelling en van de berekende mineralisatie en de uitspoeling en denitrificatie. Omdat voor dit rapport de samenstelling van de mest maar één keer

was bepaald en de samenstelling per mestgift vrijwel gelijk was, is verondersteld dat de samenstelling per mesttype gelijk was voor verschillende jaren.

In XCLNCE wordt onderscheid gemaakt tussen de mineralisatie van de organische stof in de bodem en die van de mest. Voor alle varianten is de mineralisatie vanuit de bodem gelijk verondersteld. De uitspoeling en denitrificatie zijn afhankelijk van de hoeveelheid minerale N in de bodem en ze kunnen daarom verschillen tussen de varianten. Maar het effect van uitspoeling en vooral van denitrificatie is gering. Voor alle varianten is de stikstofaanvoer met mest gelijk (ca 770 kg N over drie jaar).

De hoeveelheid stikstof die beschikbaar is voor gewasopname en de effecten van de bemesting op het gehalte aan organische stof staan weergegeven in Tabel 13. Meer uitkomsten van de berekening staan in Bijlage 2. Na drie jaar wordt de hoogste stikstofbeschikbaarheid verwacht uit kunstmest, gevolgd door de gangbare mest van de Marke en daarna door de vergiste mest en de mest van de Minderhoudhoeve. De laagste stikstofbeschikbaarheid wordt verwacht uit de vaste mest. Daarnaast mag ook verwacht worden dat er een cumulatieve opbouw van organische stikstof uit mest zal plaatsvinden. Daardoor zal op den duur het aandeel mineralisatie uit mest stijgen. Die stijging is het grootst bij vaste mest en het laagst bij de vergiste mest van de Marke (Bijlage 3).

Wanneer de resultaten van de samenstelling, de mineralisatie en de XCLNCE uitkomsten met elkaar worden vergeleken ontstaat een divers beeld voor de stikstofbeschikbaarheid. Over het algemeen is de beschikbaarheid het laagst in de vaste mest gevolgd door die van de Minderhoudhoeve. De gangbare en de vergiste mest van de Marke verschillen onderling gering. (Tabel 14).

Tabel 13. Aanvoer van stikstof met mest, N uit mineralisatie van mest en N beschikbaar voor gewasopname (kg N/ha; B1, uit mest alleen, B2, inclusief N uit bodem) en het % organische stof berekend over een periode van drie jaar m.b.v. XCLNCE. N-wc, N-werkingscoëfficiënt (%); nvt, niet van toepassing

Mestsoort	N-aanvoer	Nmin	N-mineralisatie	B1	N-wc	B2	% OS
geen	0	0	0	2	nvt	409	4.4
Kunstmest	770	770	0	697	89	1158	4.4
vaste stalmest (WUR)	770	24	166	177	22	589	5.0
vaste stalmest (BLGG)	772	83	153	225	25	612	4.9
Minderhoudhoeve	774	355	131	434	60	876	4.6
Marke	773	276	155	479	53	821	4.7
Marke vergist	772	399	80	444	60	873	4.6

Tabel 14. Volgorde in mate van N-beschikbaarheid (1 het hoogst, 4 het laagst) op basis van de samenstelling van mest, de mineralisatie van de vaste fractie en van berekeningen met XCLNCE

Mest	Samenstelling		Mineralisatie		
	BLGG	WUR	N	C	XCLNCE
Vaste mest	3	4	3	4	4
Minderhoudhoeve	4	3	4	1/2	1/2
De Marke gangbaar	1/2	2	2	1/2	3
De Marke vergist	1/2	1	1	3	1/2

3.3 Gebruik van regressie relaties voor de voorspelling van mineralisatie in bodemmonster

In 3.1 is beschreven dat het N-min gehalte in het voorjaar een zwakke positieve relatie had met de stikstofmineralisatie. Uit de eerder gerapporteerde resultaten van de proefboerderij De Marke (Zwart, 2003) leek N-totaal de beste indicator voor stikstofmineralisatie te zijn. Maar dat gold alleen indien zowel de laag 0-30 cm als de laag 30-60 cm samen werden samengevoegd in de analyse. Iedere relatie verdween wanneer er binnen een bodemlaag werd gezocht. Daaruit zou men kunnen afleiden dat er alleen een goede relatie tussen de mineralisatie en een of meerdere bodemparameters kan worden gevonden indien het bereik tussen de laagste en de hoogste waarden van de verschillende parameters voldoende groot is, evenals het bereik in mineralisatie zelf. Indien dat klopt, dan moet de conclusie ook zijn dat toepassing van de relatie op individuele percelen of bedrijven met een betrekkelijk homogene bodemsamenstelling erg onzeker wordt.

Dit aspect is nader onderzocht in een selectie van percelen van proeflocaties van PPO-PAV die gekenmerkt worden door vrij sterk uiteenlopende bodemeigenschappen. De resultaten worden in dit hoofdstuk besproken.

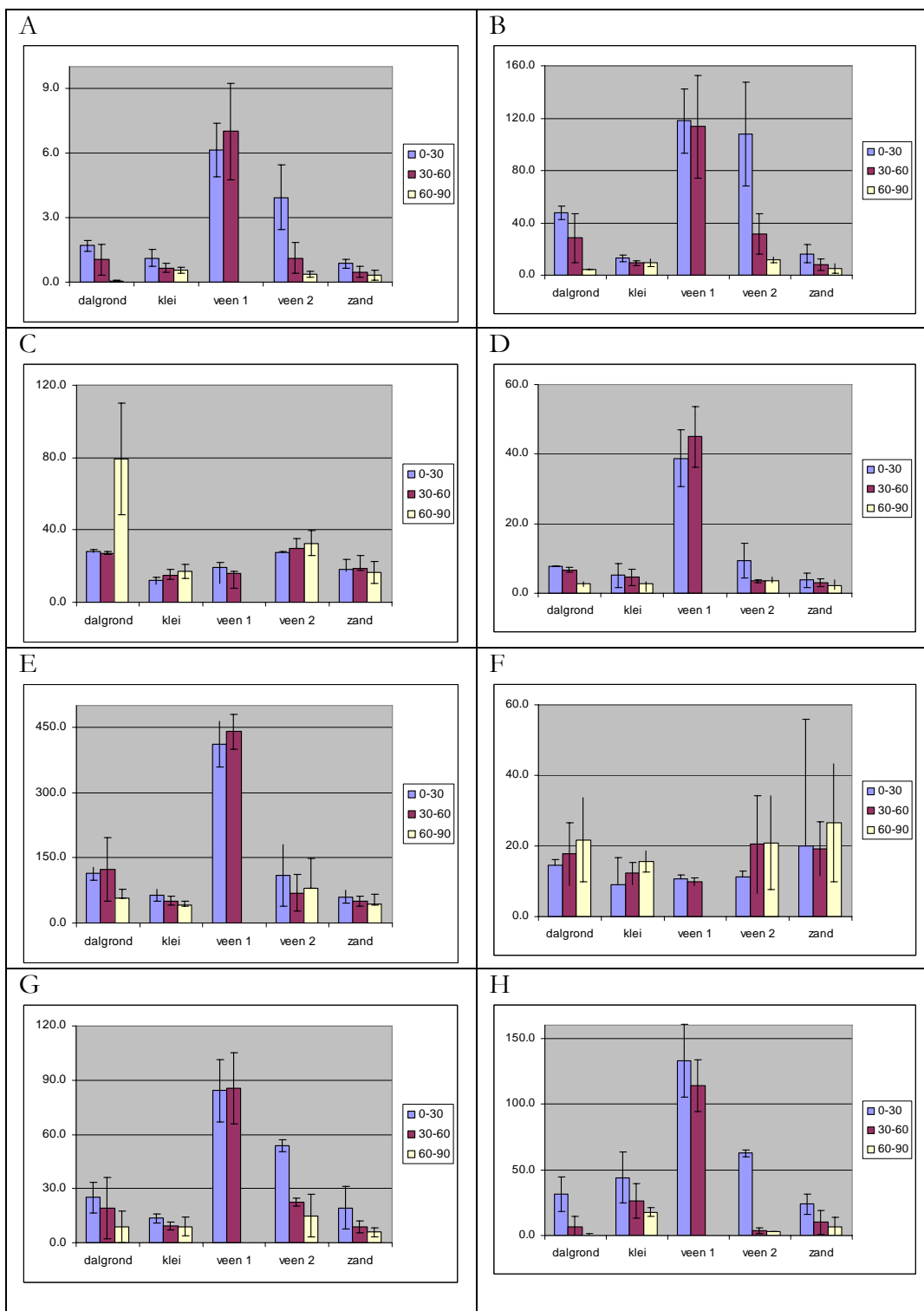
De chemische samenstelling van de bodem van de verschillende percelen is weergegeven in Bijlage 3. De gegevens zijn per grondsoort gemiddeld en samengevat in Figuur 6. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen de veensoorten van Boskoop (veen 1) en Valthermond (veen 2) omdat veen uit Boskoop rijk is aan nutriënten en veen uit de veenkoloniën arm.

Totaal N en C

Het gehalte aan totaal stikstof (Fig. 6A) varieerde tussen de 0.1 g/kg grond in de laag 60-90 cm van de dal grond tot 6.1 g/kg in het veen uit Boskoop. Het aandeel anorganische N was klein tot verwaarloosbaar klein ten opzichte van het N-totaal gehalte (minder dan 2%). Voor alle gronden, met uitzondering van het veen uit Boskoop, gold dat de bovenlaag het hoogste en de onderste laag het laagste stikstofgehalte had. Het stikstofgehalte dus altijd lager dan 2 g/kg met uitzondering van het veen uit Boskoop en de bovenlaag veen uit Valthermond, was. De onderste twee lagen van het veen uit Valthermond vertoonden grote overeenkomst met die van de dalgrond van dezelfde locatie. Het gehalte aan koolstof (Fig. 6B) varieerde tussen 4.7 en 118 g/kg grond en er was een grote overeenkomst met de wijze waarop de stikstof was verdeeld over de lagen en de grondsoorten. Van de bovenste laag (de bouwvoor) had zandgrond het laagste N en C gehalte gevolgd door klei, dalgrond, veen 1 en veen 2. Voor de laag 30-60 cm gold hetzelfde, met uitzondering van die van het veen uit Valthermond, die veel overeenkomsten met de dalgrond had. Voor de laag 60-90 cm had zand het laagste C gehalte gevolgd door dalgrond en veen 2, klei en veen 1.

C/N quotiënt

Het C/N gehalte (Fig. 6C) veranderde niet met de diepte, met uitzondering van de dalgrond. Maar daar kwam het lage nutriëntengehalte tot uiting in een zeer hoog C/N quotiënt.



Figuur 6. Samenstelling van de bodem per grondsoort en laagdiepte. A, N-totaal; B, C-totaal; C, C/N ratio; D, SON oplosbaar in 0.01M CaCl₂; E, SOC oplosbaar in 0.01M CaCl₂; F C/N van oplosbare organische stof; G, N-NH₄ in 1M hot KCl extract; H, N-mineralisatie in mg per kg grond per 6 weken. Alle gehalten zijn in mg/kg grond, behalve N- en C-totaal (g/kg grond) en C/N dimensieloos. De balkjes geven de standaarddeviatie

Bij dergelijk lage gehalten geeft een kleine afwijking al snel een veel hoger of lager C/N quotiënt. De laag 60-90 cm van de dalgrond is niet gebruikt in de regressieanalyse. Tussen de grondsoorten waren wel verschillen. Het laagste C/N quotiënt werd in kleigrond gevonden (tussen de 12 en 17) en de hoogste in de dalgrond en het veen uit Valthermond (tussen 27 en de 32.)

Oplosbaar N-organisch en oplosbaar C

Het gehalte aan in 0.01M CaCl₂ oplosbaar N (SON, soluble organic N, Fig. 6D) varieerde tussen de 2.2 mg/kg in de onderste laag van de zandgronden en 45 mg/kg in de laag 30-60 van het veen uit Boskoop. De verdeling over de gronden en de verschillende lagen vertoonde grote overeenkomsten met die van het totaal N gehalte, met een uitzondering. De bovenste laag van het veen uit Valthermond leek veel meer op dalgrond dan op het veen uit Boskoop. Dit in tegenstelling tot het N-totaal gehalte, waarin het veen uit Valthermond veel leek op dat uit Boskoop.

Het gehalte aan in 0.01M CaCl₂ oplosbaar koolstof (SOC, dissolved organic carbon, Fig. 6E) varieerde tussen de 42 en 440 mg per kg. Het patroon van verdeling kwam sterk overeen met dat van SON. Het SOC gehalte van het veen uit Valthermond leek nog meer op dat van de dalgrond dan het SON- gehalte.

Het C/N quotiënt van de oplosbare organische fractie (Fig. 6F) varieerde tussen de 9.1 voor de bovenste laag in de kleigrond en 26.6 in de onderste laag van de zandgronden. Het C/N quotiënt van de oplosbare organische fractie was over het algemeen wat lager dan dat van de totale organische fractie, behalve in de zandgrond. De oplosbare fractie van zandgrond had een hoger C/N quotiënt.

N-min hot KCl

Het gehalte aan N-min na hot KCl extractie (Fig. 6G) varieerde tussen de 5.9 mg/kg in de onderste zandlaag en 85 mg/kg in het veen uit Boskoop. Het patroon van verdeling vertoonde zeer grote overeenkomst met totaal N.

Stikstofmineralisatie

De stikstofmineralisatie (Fig. 6H) varieerde tussen de -0.4 mg per kg grond in 6 weken in de onderste laag van de dalgrond en ruim 133 mg per kg voor veen uit Boskoop. Zandgrond had de laagste mineralisatie gevolgd door dalgrond en veen uit Valthermond (met uitzondering van de laag 0-30 cm) en daarna gevolgd door klei en veen uit Boskoop. Voor alle grondsoorten gold dat de bovenlaag de hoogste en de onderste laag de laagste mineralisatie had.

De negatieve mineralisatie van de onderste laag van de dalgrond was waarschijnlijk het gevolg van een combinatie van een zeer lage mineralisatie en een relatief hoog N-min gehalte en niet van immobilisatie. Een kleine afwijking in de N-min bepaling op t=0 en t=6 weken kan dan aanleiding geven tot negatieve waarde voor de mineralisatie.

3.3.1 Relatie tussen stikstofmineralisatie en een aantal bodemparameters

Om vast te stellen of er een relatie was tussen de gemeten stikstofmineralisatie en een of meerdere bodemparameters, is een lineaire regressieanalyse uitgevoerd met de N-mineralisatie als te verklaren parameter en N-totaal, C-totaal, het C/N quotiënt van de totale organische fractie, SON en SOC en NH₄-Hot-KCl als verklarende parameters. In de figuren 7A t/m E is de relatie uitgezet voor alle monsters bij elkaar. In de figuren 7F t/m J zijn de bodemlagen apart weergegeven. De verklaarde variantie (R²) voor de regressie vergelijkingen is weergegeven in Tabel 15.

Uit Tabel 15 en Figuur 7 blijkt dat er een goede correlatie werd gevonden voor alle parameters, behalve het C/N quotiënt. Ook de correlatie met N-min (CaCl₂-extractie) scoorde wat lager. Bovendien bestond er een zelfde soort verband voor de lagen 0-30 cm en 30-60 cm. Voor de laag 60-90 cm was het verband minder goed tot slecht. Daarmee werd dus de veronderstelling dat alleen een goede relatie zou worden gevonden indien de range in parameterwaarden maar groot genoeg was, bevestigd.

Tabel 15 Verklaarde variantie R² van de regressie tussen de potentiële mineralisatie en een aantal bodemparameters voor de gehele bodemlaag tussen 0 en 90 cm en voor de afzonderlijke lagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm

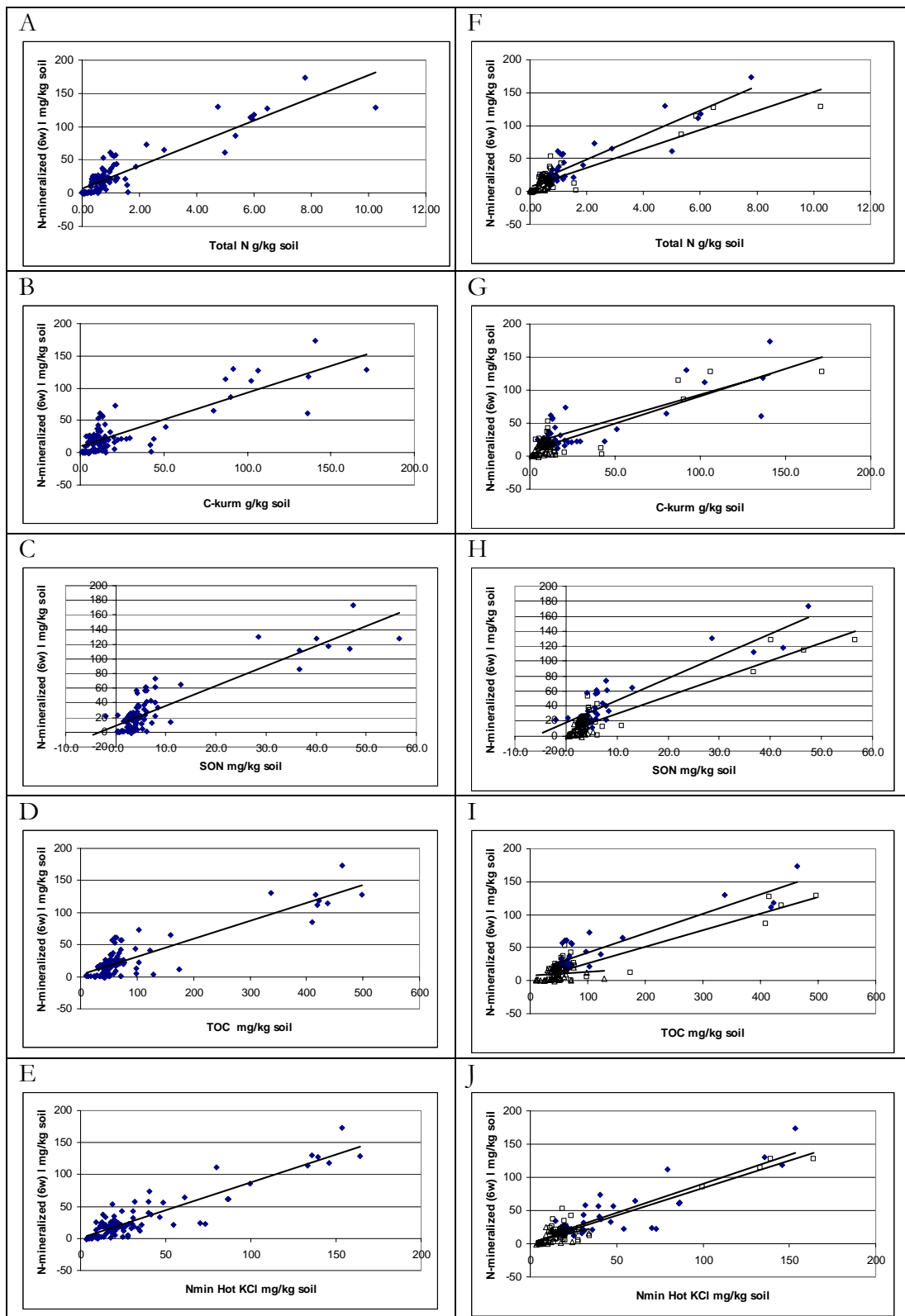
Variabele	Alle monsters laag				C-totaal < 80 g/kg	C-totaal >= 80 g/kg
	0-90 cm	0-30cm	30-60 cm	60-90 cm	0-30 cm	0-30 cm
N-totaal	0.8094	0.8224	0.822	0.5307	0.3200	0.6497
C-totaal	0.7023	0.6292	0.7393	0.3212	<0.01	0.7738
C/N	0.0275	0.0001	0.0106	0.1169		
SON	0.7983	0.8191	0.8426	0.1869	0.3099	0.8016
SOC	0.7667	0.8198	0.8283	0.0286	0.2021	0.7738
N-min CaCl ₂	0.5704	0.2758	0.8487	0.0607	0.1604	0.3597
N-min-hot KCl	0.8197	0.7394	0.8669	0.2493	0.4014	0.6877

De onderlinge verschillen tussen de correlatie met N-totaal, C-totaal, SON, SOC en NH₄-hot-KCl zijn gering. Aangezien SON gelijktijdig met N-min in de CaCl₂ extractie wordt bepaald, en de N-min bepaling bijna elk jaar wordt verricht, ligt het voor de hand om SON als parameter voor de stikstofmineralisatie te kiezen.

De parameters van de regressievergelijkingen voor SON zijn weergegeven in Tabel 16. Daaruit blijkt dat ook de richtingscoëfficiënten voor de vergelijkingen van de verschillende lagen sterk met elkaar overeenkomen. Alleen het snijpunt met de Y-as verschilde vrij sterk tussen de drie bodemlagen.

Tabel 16. Parameters voor de regressievergelijking tussen SON en de stikstofmineralisatie voor de bodem

Bodemlaag	a	c
0-90 cm	2.7278	8.9995
0-30 cm	2.9540	18.224
30-60 cm	2.3597	6.3988
60-90 cm	2.6452	3.3916



Figuur 7. Relatie tussen stikstofmineralisatie en een aantal bodemparameters voor de laag 0-90 cm (A t/m E) en voor de lagen 0-30 (◆), 30-60 (□) en 60-90 cm (Δ; F t/m J).

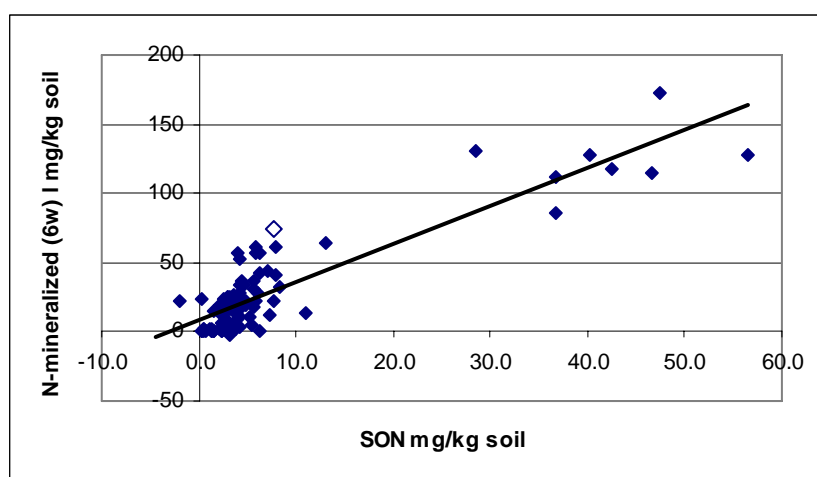
De standaardfouten van de parameters a en de constante c ten opzichte van het gemiddelde waren betrekkelijk klein (achtereenvolgens 0.14 en 1.9 voor alle bodemlagen).

Echter, zoals uit een deel van figuur 7 blijkt, het lijkt alsof er twee clusters in de populatie monsters te onderscheiden zijn, een groep met een zeer hoge C-gehaltes (de veengronden) en een groep met een lager gehalte. De spreiding lijkt het grootst te zijn bij de lage C-gehaltes. Daarom is de regressie ook nog een keer apart uitgevoerd voor beide clusters (alleen de laag 0-30 cm). Het resultaat (Tabel 15) laat zien dat het resultaat voor de groep met de lage C-gehaltes veel minder gunstig is dan voor de groep veengronden. Het hoge percentage verklaarde variantie dat wordt gevonden indien alle monsters samen worden genomen wordt dus voor een deel veroorzaakt doordat er sprake is van een tweetal groepen.

Een goede relatie tussen oplosbaar N en de stikstofmineralisatie werd ook gevonden in twee andere projecten (Smit et al, 2004 en Velthof, 2003).

De hoge spreiding heeft consequenties voor de praktische toepasbaarheid van de regressie. Om dat duidelijk te maken is figuur 6D hieronder nog een keer afgebeeld (Figuur 8), waarbij het punt op $x = 7.8$ en $y = 74$ als een open punt is weergegeven. In werkelijkheid werd voor dit punt dus een mineralisatie van 74 mg in 6 weken gevonden.

Als we de waarde van 7.8 voor SON in de regressieformule invullen dan is de berekende mineralisatie gelijk aan: $2.7278 \times 7.8 + 8.999 = 30.2$ mg N in 6 weken, ruim twee keer zo laag. Er bestaat dus weliswaar een vrij goede relatie tussen het oplosbaar organische N-gehalte en de stikstofmineralisatie, maar de praktische toepasbaarheid lijkt nog vrij gering, helemaal wanneer men in ogenschouw neemt dat in de meeste landbouwgronden het SON gehalte lager dan 10 is.



Figuur 8. Relatie tussen SON en stikstofmineralisatie. Voor het open gemarkeerde punt zie tekst.

Voor alle bodemmonsters samen bestond er een goede correlatie tussen de gemeten stikstofmineralisatie en de volgende bodemparameters: N-totaal, C-totaal, SON,

SOC en met hot-KCl extraheerbaar ammonium. De relatie was goed in de bodemlagen 0-30 en 30-60 cm en veel minder goed in de laag 60-90 cm.

De goede relatie werd vooral veroorzaakt door de bodems met een zeer hoog organische stofgehalte. Indien die niet werden meegenomen in de regressie daalde het de fractie verklaarde variantie sterk. Binnen de groep met een hoog organisch stofgehalte bleef de relatie goed.

Door de hoge spreiding is de toepasbaarheid van de relatie tussen de mineralisatie en de bodemparameters voor de landbouwpraktijk waarschijnlijk gering.

Literatuur

Bloem, J., P.R. Bolhuis, M.R. Veninga and J. Wieringa, 1995. Microscopic methods for counting bacteria and fungi in soil. In "Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry" (K. Alef and P. Nannipieri, editors), pp. 162-173. Academic Press, London.

Bloem, J. and A.M. Breure, 2003. Microbial indicators. In "Bioindicators / Biomonitoring - Principles, Assessment, Concepts" (B.A. Markert, A.M. Breure and H.G. Zechmeister, editors), pp. 259-282. Elsevier, Amsterdam.

Chapman, P.J., Edwards, A.C. & Cresser, M.S., 2001. The nitrogen composition of streams in upland Scotland: some regional and seasonal differences. *The Science of the Total Environment*, 265: 65-83

Gianello, C. & Bremner, J.M., 1986. A simple method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Commun. In Soil Sci. Plant Analysis* 17: 195-214

Groot, J.J.R, & Houba, V.J.G., 1995. A comparison of different N indices for nitrogen mineralization. *Biology and fertility of Soils* 19, 1-9

Houba, V.J.G., van der Lee, J.J. & Novomzamsky, I., 1997. Soil analysis procedures; other procedures (Soil and Plant Analysis, part 5B). Department of Soil Science and Plant Nutrition, Wageningen Agricultural University, 217 p

Houba, V.J.G., Temminghoff, E.J.M., Gaikhorst, G.A. & Van Vark, W., 2000. Soil analysis procedures using 0.01 M calcium chloride as extraction reagent. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 31, 1299-1396

Murphy, D.V., Macdonald, A.J, Stockdale, E.A., Goulding, K.W.T., Fortune, S., Gaunt, J.L., Poulton, P.R., Wakefield, J.A., Webster, C.P. & Wilmer, W.S., 2000. Soluble organic nitrogen in Agricultural soils. *Biol. Fertil. Of Soils* 30: 374-387

Schröder, J.J., Jansen, W, Hilhorst, 2002. Bemestingswaarde en milieu-effecten als functie van de verhouding van minerale en organische N-verbindingen in mest-documentatieverslag Mestkwaliteitsproef De Marke 2002, Intern PRI rapport

Smit, A., Radersma, S., van 't Riet, S., Hack- ten Broeke, M., & Conijn, S., 2004. Zoeken naar een indicator voor mobiel N in de bodem Alterra report 892

Velthof, G., 2003. Relaties tussen mineralisatie, denitrificatie en indicatoren voor bodemkwaliteit in landbouwgronden. Reeks Sturen op Nitraat 6, Alterra report 769

Velthof, G. & Oenema, O., 2001. Effects of ageing and cultivation of grassland on soil nitrogen Alterra report 399

Zwart, K.B., 2002. XCLNCE, een spreadsheet voor het berekenen van stikstof en koolstof in de bodem. Alterra rapport 427, 39 pp

Zwart, K.B., 2003. Mineralisatie van bodem en mest, een indicator op basis van (bio) chemische parameters. Alterra report 741

Bijlage 1 Schema bemestingsproef op gras op De Marke.

De geel gemarkeerde veldjes zijn bemonsterd in 2002 en 2005, de groen gemarkeerde veldjes zijn alleen bemonsterd in 2005.

Korte en lange termijn werking van verschillende dierlijke mesten
Proefveld De Marke 2002-2004



Bijlage 2 Samenstelling mest

Tabel 2-1 Gemiddelde samenstelling van de mest in g per kg vers materiaal (BLGG bepaling), N-org, organische N

Mestsoort	Gift	N-NH ₃	N-org	N-tot	P ₂ O ₅	K ₂ O
Vaste mest	1	1.9	3.9	4.8	2.1	12
Minderhoudhoeve (oppervlakkig bemest)	1	1.3	1.6	2.9	0.94	5.4
	2	1.3	1.6	2.9	1.12	5.2
	3	1.5	1.5	2.9	1.12	5.3
	4	1.4	1.3	2.7	0.98	5.5
Minderhoudhoeve (zodenbemester)	1	1.3	1.6	2.9	0.94	5.4
	2	1.3	1.3	2.5	0.8	5.2
	3	1.5	1.5	2.9	1.12	5.3
	4	1.4	1.3	2.7	0.98	5.5
Marke (gangbaar)	1	2.2	1.4	3.5	0.96	5.1
	2	1.9	1.6	3.4	1.17	5
	3	2.0	1.5	3.4	1.13	5.2
	4	1.9	1.8	3.6	1.35	5.3
Marke (vergist)	1	2.3	1.3	3.6	0.99	5.3
	2	2.1	1.5	3.5	1.09	5
	3	2.1	1.5	3.6	1.39	4.9
	4	2	1.8	3.8	1.29	5.5

Tabel 2-2 Samenstelling van de mest in g per kg vers materiaal (WUR bepaling)

Mestsoort	Gift	N-tot	P ₂ O ₅	K ₂ O	C-tot
Vaste mest	1	3.2	2.2	8.8	81.2
Minderhoudhoeve	1	2.4	0.8	5.3	22.6
	2	2.7	1.1	5.3	39.2
	3	2.9	1.1	6.1	35.8
Marke (gangbaar)	1	3.2	1.1	5.4	36.7
	2	3.2	1.0	5.0	35.5
	3	3.0	1.0	5.1	32.5
Marke (vergist)	1	2.2	1.0	5.4	31.5
	2	4.5	1.4	7.5	38.3
	3	3.3	1.4	4.7	49.3

Tabel 2-3. Samenstelling van de mest, na CaCl₂ extractie of hot-KCl extractie (in g per kg vers materiaal, tenzij anders vermeld)

Mestsoort	Gift	CaCl ₂				Hot KCl
		N-NO ₃ mg/kg	N-NH ₄	SON	SOC	N-NH ₄
Vaste mest	1	2.6	0.0	0.1	2.4	0.1
Minderhoudhoeve	1	0.1	1.2	1.4	2.3	1.2
	2	0.1	1.1	1.5	2.7	1.2
	3	0.1	1.1	1.5	2.6	1.3
Marke (gangbaar)	1	0.1	1.5	1.9	2.4	1.7
	2	0.2	1.7	1.9	1.9	1.7
	3	0.1	1.5	1.8	1.9	1.7
Marke (vergist)	1	0.1	0.7	1.0	2.0	1.8
	2	0.2	2.5	2.7	2.6	1.9
	3	0.1	1.6	2.0	2.6	1.7

Tabel 2-4 Recovery (% van niet gecentrifugeerde mest) van koolstof en stikstof in het pellet van gecentrifugeerde mest en de hoeveelheden C en N die zijn toegevoegd aan de grond bij de incubatie

Mestsoort	Gift	C- totaal %	N- totaal %	N- NO3 %	N- NH4 %	Toegediend aan grond voor mineralisatie (mg per kg)	
						C	N
Mest vast	1	nvt	nvt	nvt	nvt	931.5	37.5
Minderhoudhoeve	1	109.8	48.6	341.6	1.5	947.0	40.2
	2	111.1	46.1	78.7	2.3	968.4	40.6
	3	114.4	49.1	183.3	1.6	806.7	34.7
Marke (gangbaar)	1	105.6	69.7	78.7	2.0	856.1	40.2
	2	91.4	58.2	118.3	2.1	999.6	37.5
	3	93.1	55.9	340.8	2.5	953.0	47.9
Marke (vergist)	1	112.3	56.1	26.4	6.5	1038.7	47.1
	2	109.4	52.8	39.7	2.2	835.1	36.2
	3	106.3	47.8	78.5	2.4	938.4	37.9

Bijlage 3 Aannames en berekeningen met XCLNCE

De proef start op 1 januari 2002 en eindigt op 31 december 2005. Elk jaar zijn er 5 sneden en er wordt vijf keer bemest met gelijke giften. Alleen de vaste mest wordt in één keer gegeven. De datums voor bemesting en maaien zijn:

Bemesting	Maaien
14 maart	16 mei
19 mei	20 juni
23 juni	29 juli
1 augustus	12 september
14 september	5 november

In XCLNCE wordt berekend hoeveel stikstof beschikbaar is voor gewasopname. Die hoeveelheid wordt bepaald door de aanvoer met mest en depositie en de mineralisatie van mest en organische stof aan de ene kant en de uitspoeling, denitrificatie en atmosferische emissie aan de andere kant.

De dikte van de bewortelde laag is dertig cm en het organische stofgehalte bij het begin van de proef is 4.6%. Het weerjaar is voor alle jaren gelijk (2001) qua temperatuur en neerslag. De atmosferische stikstofdepositie is gesteld op 50 kg N per jaar.

In de berekening was de stikstofbemesting gelijk voor alle dierlijke mesttypen (770 kg N in drie jaar. Voor alle mesttypen is de BLGG samenstelling aangehouden, behalve voor de vaste mest. Daarvoor is zowel de BLGG analyse als de WUR analyse gebruikt. In de berekeningen is de vaste mest oppervlakkig toegediend en de dunne mestsoorten op een emissiearme wijze.

De hoeveelheid stikstof uit de mest die beschikbaar is voor gewasopname is als volgt berekend. Eerst is de totale hoeveelheid beschikbare stikstof berekend (gift, mineralisatie uit mest en bodem en depositie). Vervolgens is het totale verlies berekend door uitspoeling, denitrificatie en emissie als fractie van de beschikbare hoeveelheid. Aangenomen is dat die fractie gelijk is voor alle minerale stikstof, ongeacht of het met de mest wordt aangevoerd of ontstaat door mineralisatie. Dan kan de netto beschikbare hoeveelheid N-min uit mest worden berekend en delen door de totale aanvoer met mest geeft dan de beschikbare fractie uit mest. Tot slot is berekend hoe het gehalte aan organische stof verandert in de loop van de drie jaar bij deze mestgiften.

De hoeveelheid beschikbare stikstof, de hoeveelheid die verloren gaat en de verandering in organische stikstof in de bodem staat weergegeven in Tabel 3-1. (De balans van Tabel 3-1 is niet gelijk aan nul doordat er ook een deel van de stikstof in gras wordt opgenomen en er een zekere hoeveelheid N-min in de bodem achterblijft; de stikstofbalans van alle berekeningen in XCLNCE is wel nul).

De laagste beschikbare fractie stikstof wordt geleverd door de vaste mest, gevolgd door de vergiste mest van de Marke en daarna door de overige mestsoorten. De

verschillen tussen de mest van de Minderhoudhoeve en, de gangbare mest van De Marke en kunstmest zijn gering. De denitrificatie is gelijk voor alle mesttypen. De uitspoeling is het hoogst bij kunstmest, wat wordt veroorzaakt door het feit dat alle stikstof dan in minerale vorm aanwezig is. Dat zorgt ook voor een relatief hoge emissie naar de atmosfeer. De hoogste atmosferische emissie komt van de vaste mest volgens de BLGG analyse, door een combinatie van een hoog N-min gehalte van de mest en de niet-emissiearme aanwending.

Tabel 3-1 Beschikbare hoeveelheid stikstof (B) uit verschillende mesttypen voor opname, verlies door uitspoeling (U), denitrificatie (D), atmosferische emissie (A) en verandering in minerale en organische stikstof in de bodem (ΔN -min en Δ -SOM) en % organische stof na 4 jaar.

A. Bijdrage uit mest alleen, B. bijdrage uit SOM en mest samen

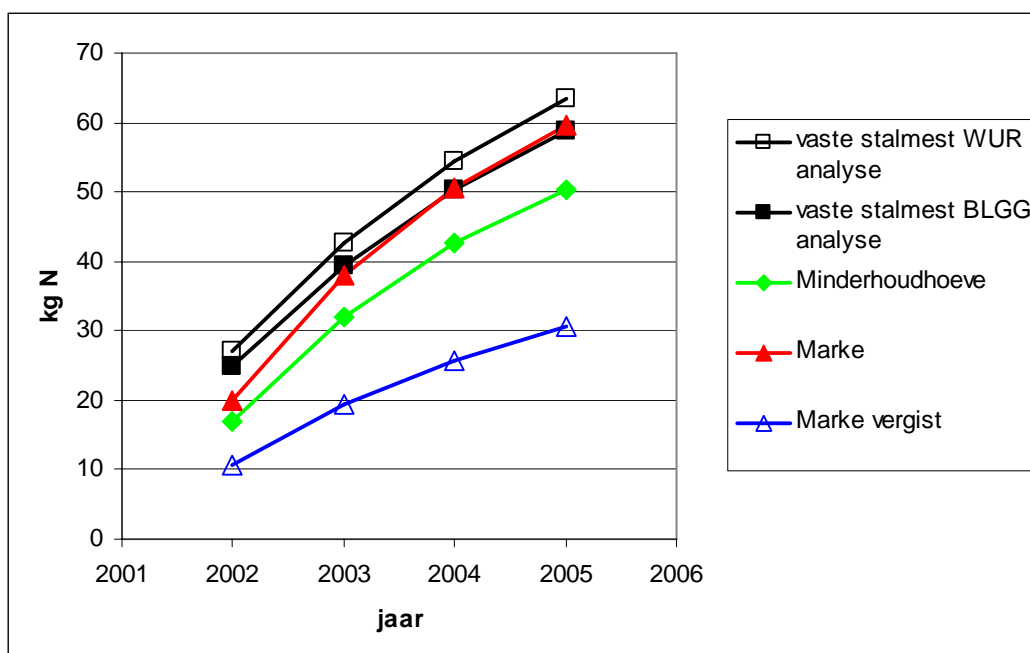
A. mestsoort	N-aanvoer	Nmin	N-mineralisatie	NWC	U	D	A	ΔN -min	B	Δ SOM
Kunstmest	770	770	0	98	2	0	15	-1	755	nvt
vaste stalmest (WUR)	770	24	166	22	13	1	10	5	180	562
vaste stalmest (BLGG)	772	83	153	25	12	1	33	4	203	519
Minderhoudhoeve	774	355	131	60	13	1	7	4	468	280
Marke	773	276	155	53	15	1	6	5	413	332
Marke vergist	772	399	80	60	9	1	8	2	465	287

B. mestsoort	N-aanvoer	Nmin	N- mest mineralisatie	NWC	U	D	A	ΔN -min	B	Δ SOM	% OS
geen	0	0	0	nvt	43	3	0	11	409	-466	4.4
Kunstmest	770	770	0	89	47	3	15	11	1158	-466	4.4
vaste stalmest (WUR)	770	24	166	22	54	4	10	16	589	97	5.0
vaste stalmest (BLGG)	772	83	153	26	54	3	33	16	612	54	4.9
Minderhoudhoeve	774	355	131	58	55	4	7	16	876	-185	4.6
Marke	773	276	155	51	57	4	6	17	821	-132	4.7
Marke vergist	772	399	80	58	51	3	8	14	873	-177	4.6

Op grond van deze uitkomsten zou men dus mogen verwachten dat de hoogste N-opname door gras wordt gevonden bij kunstmest, gevolgd door de dunne mesten en pas daarna door de vaste mest. De vergiste mest van de Marke leidt tot een hogere opname dan de gangbare mest.

Slechts een deel van de organische stikstof die per jaar wordt aangevoerd wordt ook in dat jaar gemineraliseerd. De rest mineraliseert later. Bij jaarlijkse aanvoer van mest moet dat dus leiden tot een stijging van de mineralisatie uit mest. Dat wordt zichtbaar in figuur 2-1, waaruit blijkt dat in het eerste jaar het laagste aandeel uit de mineralisatie van de vergiste mest van de Marke komt en het hoogste aandeel van de vaste mest. Bij jaarlijkse toepassing stijgt de jaarlijkse mineralisatie uit de vergiste mest het minst en die uit de vaste mest het meest. Op grond daarvan zou men mogen verwachten dat de opname met gras nog wat zal toenemen in de loop van de jaren. Die toename zal het snelst stoppen bij de vergiste mest en het langst doorgaan bij de overige mesttypen. De verschillen in stikstofopname tussen de vaste mest en de vergiste mest van de Marke zullen dus waarschijnlijk kleiner worden naarmate de

bemesting langer duurt. Bovendien mag men verwachten dat de hogere stikstofwerking van de vergiste mest op langere termijn zal verdwijnen.



Figuur 2-1 Toename van de jaarlijkse stikstofmineralisatie uit mest (kg N/ha) bij jaarlijkse toediening

Tot slot blijkt uit Tabel 2-1B dat de veranderingen in % organische stof verwaarloosbaar klein zullen zijn bij de dunne mestsoorten, terwijl toepassing van de vaste mest tot een geringe stijging zal leiden.

Dat er stikstof uit de bodemorganische stof kan verdwijnen en tegelijkertijd toch het organische stofgehalte gelijk blijft in het geval van dunne mest, komt doordat er netto aanvoer van C plaatsvindt als gevolg van de vrij hoge C/N quotiënten van de organische mest.

Bijlage 4 Typering van de bemonsterde percelen van de PPO-PAV bedrijven

Tabel 4-1 Bodemgebruik, teeltsysteem, perceelsnaam (voor zover bekend) en C en N-gehaltes van de bemonsterde percelen. Laag 1, 2 en 3 zijn achtereenvolgens 0-30 cm, 30-60 cm en 60-90 cm

Bedrijf	Gebruik	Bedrijfssysteem	Perceelsnaam	laag	N-totaal (g/kg)	C-totaal (g/kg)
Kooijenburg	akkerbouw	Geïntegreerd	HO2	1	0.74	14.92
Kooijenburg	akkerbouw	Geïntegreerd	HO2	2	0.12	3.08
Kooijenburg	akkerbouw	Geïntegreerd	HO2	3	0.06	1.21
Kooijenburg	akkerbouw	Geïntegreerd	HO4	1	0.89	22.65
Kooijenburg	akkerbouw	Geïntegreerd	HO4	2	0.31	5.77
Kooijenburg	akkerbouw	Geïntegreerd	HO4	3	0.11	2.14
Kooijenburg	akkerbouw	Geïntegreerd	15-27	1	0.96	18.04
Kooijenburg	akkerbouw	Geïntegreerd	15-27	2	0.18	3.10
Kooijenburg	akkerbouw	Geïntegreerd	15-27	3	0.09	1.31
Kooijenburg	akkerbouw	Geïntegreerd	28-30	1	0.70	14.71
Kooijenburg	akkerbouw	Geïntegreerd	28-30	2	0.23	4.47
Kooijenburg	akkerbouw	Geïntegreerd	28-30	3	0.14	1.30
Kooijenburg	akkerbouw	Biologisch	N14	1	0.98	24.56
Kooijenburg	akkerbouw	Biologisch	N14	2	0.20	5.40
Kooijenburg	akkerbouw	Biologisch	N14	3	0.00	2.39
Kooijenburg	akkerbouw	Biologisch	N11	1	0.90	20.18
Kooijenburg	akkerbouw	Biologisch	N11	2	0.10	3.42
Kooijenburg	akkerbouw	Biologisch	N11	3	0.00	1.90
Lelystad	akkerbouw	Geïntegreerd	B1	1	0.80	10.77
Lelystad	akkerbouw	Geïntegreerd	B1	2	0.61	8.86
Lelystad	akkerbouw	Geïntegreerd	B1	3	0.35	8.05
Lelystad	akkerbouw	Geïntegreerd	B9	1	0.99	10.63
Lelystad	akkerbouw	Geïntegreerd	B9	2	0.33	6.51
Lelystad	akkerbouw	Geïntegreerd	B9	3	0.35	7.29
Lelystad	akkerbouw	Geïntegreerd	B12	1	0.73	10.48
Lelystad	akkerbouw	Geïntegreerd	B12	2	0.40	6.14
Lelystad	akkerbouw	Geïntegreerd	B12	3	0.30	4.76
Lelystad	akkerbouw	Geïntegreerd	A7 (suikerbiet)	1	0.96	12.33
Lelystad	akkerbouw	Geïntegreerd	A7 (suikerbiet)	2	0.46	8.97
Lelystad	akkerbouw	Geïntegreerd	A7 (suikerbiet)	3	0.62	9.42
Nagele	akkerbouw	Geïntegreerd	E98-2	1	1.16	13.23
Nagele	akkerbouw	Geïntegreerd	E98-2	2	0.72	10.95
Nagele	akkerbouw	Geïntegreerd	E98-2	3	0.56	10.98
Nagele	akkerbouw	Geïntegreerd	E98-6	1	1.17	15.01
Nagele	akkerbouw	Geïntegreerd	E98-6	2	0.61	9.76
Nagele	akkerbouw	Geïntegreerd	E98-6	3	0.55	11.28
Nagele	akkerbouw	Biologisch	E97-5	1	1.12	13.05
Nagele	akkerbouw	Biologisch	E97-5	2	0.73	11.20
Nagele	akkerbouw	Biologisch	E97-5	3	0.66	11.28
Nagele	akkerbouw	Biologisch	E97-7	1	1.06	13.03
Nagele	akkerbouw	Biologisch	E97-7	2	0.70	10.09
Nagele	akkerbouw	Biologisch	E97-7	3	0.78	13.12

Bedrijf	Gebruik	Bedrijfsysteem	Perceelsnaam	laag	N-totaal (g/kg)	C-totaal (g/kg)	
Nagele	akkerbouw	Biologisch	E96-9	1	0.88	11.77	
Nagele	akkerbouw	Biologisch	E96-9	2	0.71	10.90	
Nagele	akkerbouw	Biologisch	E96-9	3	0.73	13.98	
Nagele	akkerbouw	Biologisch	E97-9	1	0.98	11.99	
Nagele	akkerbouw	Biologisch	E97-9	2	0.66	10.60	
Nagele	akkerbouw	Biologisch	E97-9	3	0.67	12.21	
Valthermond	akkerbouw	Geïntegreerd	68V	1	1.52	43.87	
Valthermond	akkerbouw	Geïntegreerd	68V	2	0.54	15.10	
Valthermond	akkerbouw	Geïntegreerd	68V	3	0.05	4.95	
Valthermond	akkerbouw	Geïntegreerd	68V (veen)	1	4.99	135.96	
Valthermond	akkerbouw	Geïntegreerd	68V (veen)	2	1.62	42.21	
Valthermond	akkerbouw	Geïntegreerd	68V (veen)	3	0.28	10.44	
Valthermond	akkerbouw	Geïntegreerd	69V	1	1.86	51.03	
Valthermond	akkerbouw	Geïntegreerd	69V	2	0.60	20.38	
Valthermond	akkerbouw	Geïntegreerd	69V	3	0.08	4.41	
Valthermond	akkerbouw	Geïntegreerd	69V (veen)	1	2.87	80.02	
Valthermond	akkerbouw	Geïntegreerd	69V (veen)	2	1.56	41.70	
Valthermond	akkerbouw	Geïntegreerd	69V (veen)	3	0.49	13.42	
Vredepeel	akkerbouw	Geïntegreerd	Vredeweg 38	1	1.17	27.60	
Vredepeel	akkerbouw	Geïntegreerd	Vredeweg 38	2	0.39	9.14	
Vredepeel	akkerbouw	Geïntegreerd	Vredeweg 38	3	0.12	1.77	
Vredepeel	akkerbouw	Geïntegreerd	Vredeweg 39	1	1.23	29.82	
Vredepeel	akkerbouw	Geïntegreerd	Vredeweg 39	2	0.50	12.34	
Vredepeel	akkerbouw	Geïntegreerd	Vredeweg 39	3	0.23	3.57	
Westmaas	akkerbouw	Geïntegreerd	Kavel 1	1	2.26	20.88	
Westmaas	akkerbouw	Geïntegreerd	Kavel 1	2	1.10	10.79	
Westmaas	akkerbouw	Geïntegreerd	Kavel 1	3	0.59	6.80	
Westmaas	akkerbouw	Geïntegreerd	Kavel 2b	1	1.28	12.50	
Westmaas	akkerbouw	Geïntegreerd	Kavel 2b	2	0.84	7.48	
Westmaas	akkerbouw	Geïntegreerd	Kavel 2b	3	0.51	4.81	
Boskoop	boomteelt			1	1	6.01	136.80
Boskoop	boomteelt			1	2	6.48	106.30
Boskoop	boomteelt			1	3		
Boskoop	boomteelt			2	1	7.78	140.57
Boskoop	boomteelt			2	2	10.26	171.29
Boskoop	boomteelt			2	3		
Boskoop	boomteelt			3	1	5.94	102.41
Boskoop	boomteelt			3	2	5.35	90.20
Boskoop	boomteelt			3	3		
Boskoop	boomteelt			4	1	4.75	91.67
Boskoop	boomteelt			4	2	5.86	87.20
Boskoop	boomteelt			4	3		
Horst	boomteelt			1	1	0.76	16.56
Horst	boomteelt			1	2	0.64	14.28
Horst	boomteelt			1	3	0.35	8.34
Horst	boomteelt			2	1	0.72	14.08
Horst	boomteelt			2	2	0.63	12.57
Horst	boomteelt			2	3	0.48	10.58

Bedrijf	Gebruik	Bedrijfssysteem	Perceelsnaam	laag	N-totaal (g/kg)	C-totaal (g/kg)	
Horst	boomteelt			3	1	0.96	20.21
Horst	boomteelt			3	2	0.75	14.68
Horst	boomteelt			3	3	0.61	8.95
Horst	boomteelt			4	1	0.86	16.81
Horst	boomteelt			4	2	0.63	14.95
Horst	boomteelt			4	3	0.51	10.68
De Noord	bollenteelt	Geïntegreerd		1	1	0.75	7.48
De Noord	bollenteelt	Geïntegreerd		1	2	0.71	7.43
De Noord	bollenteelt	Geïntegreerd		1	3	0.73	7.56
De Noord	bollenteelt	Geïntegreerd		2	1	0.70	7.59
De Noord	bollenteelt	Geïntegreerd		2	2	0.69	7.12
De Noord	bollenteelt	Geïntegreerd		2	3	0.61	6.09
De Noord	bollenteelt	Biologisch		3	1	0.39	4.45
De Noord	bollenteelt	Biologisch		3	2	0.56	5.69
De Noord	bollenteelt	Biologisch		3	3	0.31	3.09
De Noord	bollenteelt	Biologisch		4	1	0.73	8.39
De Noord	bollenteelt	Biologisch		4	2	0.37	3.35
De Noord	bollenteelt	Biologisch		4	3	0.42	12.63
Postema	bollenteelt	Biologisch		1	1	1.18	14.80
Postema	bollenteelt	Biologisch		1	2	0.92	11.06
Postema	bollenteelt	Biologisch		1	3	0.46	5.92
Postema	bollenteelt	Biologisch		2	1	1.01	11.30
Postema	bollenteelt	Biologisch		2	2	0.70	7.91
Postema	bollenteelt	Biologisch		2	3	0.42	5.87