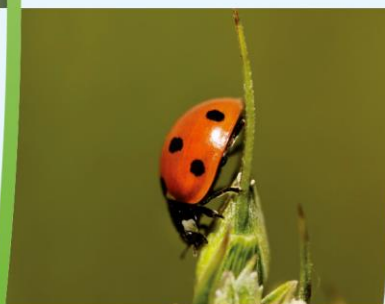


Soil for life

Rapport 1248.N.07

N-advies op nieuwe leest



februari 2012

rapport 1248.N.07

N-advies op nieuwe leest

Dr. ir. G.H. Ros

Dr. ir. L. van Schöll

Dr. ir. D.W. Bussink

nutriënten management instituut nmi bv

postbus 250

6700 ag wageningen

agro businesspark 10

6708 pm wageningen

tel. (0317) 46 77 00

fax (0317) 46 77 01

e-mail nmi@nmi-agro.nl

internet www.nmi-agro.nl

© 2012 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Verspreiding

Inhoud

	pagina
Samenvatting en conclusies	2
1 Inleiding	5
1.1 Aanleiding/probleemstelling	5
1.2 Schatten van stikstof mineralisatie	5
1.3 Belang voor de melkveehouderij	6
1.4 Doel van deze studie	7
1.5 Leeswijzer	8
2 Totstandkoming huidig NLV in bemestingsadvies voor grasland en maïs	9
2.1 NLV in bemestingsadviesbasis 1994	9
2.2 NLV in bemestingsadviesbasis 1998	11
2.3 NLV in adviesbasis 2008	12
2.4 Samenvattende conclusies	13
3 Naar een nieuw N-bemestingsadvies	14
3.1 Vernieuwing van bestaand NLV concept	14
3.2 Voorspellen van potentiële hoeveelheid beschikbaar N	14
3.3 Vertaalslag van potentiële naar actuele N beschikbaarheid	15
3.3.1 Factoren die N mineralisatie beïnvloeden	15
3.3.2 Vertaalslag van potentiële naar actuele N-mineralisatie	16
3.3.3 Afleiding correctiefactoren	17
3.3.4 Extra gegevens gebruikt voor visualisatie en vastleggen geldigheidsgrenzen	19
3.3.5 Richting een advies	19
3.4 Een illustratie	20
4 Validatie vernieuwd NLV-advies: gebruikte datasets	23
4.1 Inleiding	23
4.2 Beschrijving datasets	23
4.2.1 Incubatie-experiment 2010	23
4.2.2 Incubatie experiment 2008	24
4.2.3 Veldexperiment 2010	25
4.2.4 Dataset Zorg voor Zand	26
4.2.5 Veldexperiment K-proef 2011	27
5 Validatie vernieuwd NLV advies: resultaten	28
5.1 Inleiding	28
5.2 Incubatie-experiment 2010	28
5.2.1 Beschrijving N mineralisatie	28
5.2.2 Relaties tussen gemeten bodemparameters	29
5.2.3 Validatie ontwikkelde mineralisatie modellen	29
5.3 Incubatie-experiment 2008	30
5.3.1 Beschrijving N-mineralisatie	30
5.3.2 Relaties tussen gemeten bodemparameters	31
5.3.3 Validatie ontwikkelde mineralisatie modellen	32
5.4 Veldexperiment 2010 maïs	33
5.4.1 Beschrijving N-mineralisatie	33

5.4.2	Validatie ontwikkelde mineralisatie modellen	34
5.5	Dataset Zorg voor Zand	35
5.5.1	Beschrijving N-mineralisatie	35
5.5.2	Relaties tussen gemeten bodemparameters	36
5.5.3	Validatie ontwikkelde mineralisatie modellen	37
5.6	Dataset veldexperiment K-proef 2011	38
5.6.1	Beschrijving N-mineralisatie	38
5.6.2	Relaties tussen gemeten bodemparameters	38
5.6.3	Validatie ontwikkelde mineralisatiemodellen	40
6	Conclusies	41
6.1	Resultaten validatie vernieuwd NLV	41
6.1.1	Achtergrond	41
6.1.2	Voorspelling N-mineralisatie onder gecontroleerde omstandigheden	41
6.1.3	Voorspelling N-mineralisatie in het veld	42
6.2	Kennislacunes	43
6.3	Toepassingsmogelijkheden	43
7	Literatuur	45
8	Bijlage I. Effect van temperatuur	48
8.1	Inleiding	48
8.2	Relatie tussen temperatuur en N-mineralisatiesnelheid	49
8.2.1	De Q10 waarde	49
8.2.2	De Arrhenius functie	49
8.2.3	Afleiding van de bodemtemperatuur uit meetgegevens	51
9	Bijlage II. Vochtgehalte	55
9.1	Uitdrukkingen voor vochttoestand	55
9.2	Relatie tussen vochttoestand en N-mineralisatiesnelheid	57
9.2.1	Afleiding van vochtgehalte uit meetgegevens	58
9.3	Nat-droog cycli	61
10	Bijlage III. Effect van textuur, voorgeschiedenis en bemesting	62
10.1	Textuureffecten: Onderscheid klei-zand	62
10.2	Voorgeschiedenis, waaronder bemesting	62

Samenvatting en conclusies

Het is algemeen geaccepteerd dat er een grote behoefte is aan een nieuwe en snelle methode, die algemeen toepasbaar en goedkoop is, voor het kwantificeren van de N die vrijkomt via organische stof mineralisatie in grond. Recent WU onderzoek heeft duidelijk gemaakt dat er diverse mogelijkheden zijn om de huidige voorspelling van de N-levering van de bodem te verbeteren. Deze verbeteringen zijn voornamelijk gerelateerd aan de gebruikte bodemanalyse(s) om de potentiële N-levering te schatten en de gebruikte seizoenscorrectie om de beschikbare hoeveelheid N te verdelen over het seizoen.

Deze studie bouwt voort op de resultaten van het recent uitgevoerde WU onderzoek met als doel om de resultaten van het fundamentele onderzoek te vertalen naar een kengetal dat gebruikt kan worden in bemestingsadviezen in grasland en akkerbouw. Gebruik makend van labiele organische stof fracties en andere bodemeigenschappen wordt een schatting gemaakt van de hoeveelheid N dat potentieel beschikbaar kan komen. Vervolgens wordt deze voorspelling gecorrigeerd voor de actuele weersomstandigheden. Concreet betekent dit dat er een module is ontworpen die de potentiële N-beschikbaarheid vertaalt naar de actuele N-beschikbaarheid in het veld. De informatie die beschikbaar komt, kan niet alleen gebruikt worden voor de ontwikkeling van een nieuw kengetal, maar ook voor de ontwikkeling van beslissingsondersteunende systemen voor het bijbemesten van gewassen.

Deze vernieuwde aanpak is gevalideerd op een beperkte set incubatie- en veldexperimenten.

Gebaseerd op deze validatie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Het is mogelijk om een inschatting te geven van de N-levering in het veld op basis van bodemgegevens rekening houdend met de actuele weeromstandigheden.
- Het gebruik van labiele organische stof fracties - alleen of in combinatie met N-totaal - levert in de meeste gevallen een beter of vergelijkbaar resultaat dan het huidige NLV-advies.
- De ontwikkelde module om de potentiële N-mineralisatie te corrigeren voor variatie in vocht en temperatuur leidt tot een betere inschatting van de actuele N-beschikbaarheid dan het gebruik van een statische verdeling over het seizoen (gebaseerd op een gemiddeld jaar).

Uit dit onderzoek is tevens duidelijk geworden dat er nog enkele kennislacunes zijn die nader onderzoek vragen. Beantwoording van deze onzekerheden kan het bestaande en vernieuwde advies verder onderbouwen en de aanwezige foutenmarge verkleinen. De belangrijkste punten zijn:

- de afwezigheid of beperkte kennis van de onderliggende mechanismes. Kennis van deze mechanismes kan verklaren waarom er vrijwel altijd een statistisch verband wordt gevonden tussen organische stof (fracties) en de potentiële N-levering van gronden. Het kan tevens duidelijk maken waarom de resultaten zo verschillend kunnen zijn tussen uitgevoerde experimenten, tussen bodemindicatoren of tussen verschillende grondsoorten;
- dat veel van de uitgevoerde experimenten in Nederland gebruik maken van een dataset met een beperkte variatie in bodemeigenschappen. Relevante onderwerpen zijn hierbij het organische stof gehalte, de organische stof kwaliteit, de textuur, de bemestingsgeschiedenis en het landgebruik;
- dat ook in dit onderzoek duidelijk zichtbaar wordt dat de inschatting van N-levering op kleigronden nog een significante verbetering nodig heeft; en
- dat de resultaten van deze studie veelbelovend zijn. Echter ze zijn gebaseerd op een beperkt aantal experimenten. Gebruik makend van bestaande literatuur/ datasets, is het echter eenvoudig te testen of de hier gevonden resultaten ook breder toepasbaar zijn.

Concluderend, de in deze studie ontwikkelde methode verbetert het huidige NLV-advies op twee punten. Deze verbeteringen zijn gerelateerd aan de gebruikte bodemtest/ bodemeigenschap om de potentiële N-levering te voorspellen en aan de gebruikte verdeling over het seizoen. Concreet betekent dit dat de combinatie van de CaCl_2 -bodemtest (EON) en de CN-ratio tot een betere voorspelling leidt van de N-levering dan de huidige bodemtest die gebaseerd is op N-totaal. Gebruik van een combinatie van N_{totaal} en EON, en labiele organische stof fracties als Hot Water Carbon (HWC) of de BodemLeven indicator geven een vergelijkbaar beeld. De in deze studie geteste modellen geven daarmee een vergelijkbare of betere inschatting van de N-levering dan het huidige NLV. Toepassing van de in deze studie geteste indicatoren biedt voordelen, omdat deze gegevens beschikbaar zijn via standaard bodemanalyses en zodoende gebruikt kunnen worden om een snelle, nauwkeurige en goedkope indicatie te geven van de N-levering. Bovendien lijken de hier afgeleide algoritmes breed toepasbaar te zijn: voor zowel akkerbouw als grasland kan dezelfde bodemindicator worden gebruikt.

De hier ontwikkelde vocht en temperatuursafhankelijke correctie verbetert de voorspelling van de N-levering. Richting de adviesontwikkeling kan deze kennis op verschillende manieren worden toegepast om de huidige N-advisering te verbeteren.

- **Optie 1.** Er wordt een default voorspelling gedaan van de N-levering in een gemiddeld jaar. Hiervoor kunnen de meerjarig gemiddelde neerslag, verdamping en temperatuur gegevens worden gebruikt. Dit is de voorspelling die de boer krijgt toegezonden wanneer hij/zij een grondanalyse uit laat voeren. Gedurende het seizoen krijgt de boer automatisch een attendering van het lab wanneer de weersomstandigheden afwijken van het meerjarig gemiddelde én dit leidt tot een relevante afwijking van de verwachte N-levering. Tegelijk kan aangegeven worden tot welke bijstellingen van het N-advies dit kan leiden.
- **Optie 2.** Er wordt een default voorspelling gedaan van de N-levering in een gemiddeld jaar. Tegelijkertijd wordt er op het advies vermeld dat (en hoe) het N-advies aangepast kan worden wanneer de weersomstandigheden afwijken van het gemiddelde. De *gekwantificeerde* aanpassing van het advies is daarbij gebaseerd op de hier ontwikkelde weersafhankelijke correctie. Het vaststellen van relevante scenario's dient te gebeuren in samenspraak met de praktijk en de CBGV. Deze scenario's komen op www.bemestingsadvies.nl te staan. Denkbaar is dat op deze website ook een rekenmodule komt te staan die rekening houdt met de actuele weersgegevens en de weersvoorspellingen vergelijkbaar met optie 1.

In beide gevallen wordt er rekening gehouden met de grote invloed van actuele weersomstandigheden op de N-beschikbaarheid. Het N-advies verliest daarmee haar statisch karakter (uitgaand van een 'jaargemiddelde') en wordt meer dynamisch waardoor de boer sneller en beter in kan spelen op de weersomstandigheden.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding/probleemstelling

Afbraak van organische stof in de bodem door micro-organismen, een proces dat mineralisatie wordt genoemd, zorgt voor een natuurlijke bron van stikstof voor gewassen. Door mineralisatie kan jaarlijks 20 tot 200 kg N ha⁻¹ beschikbaar komen. Als deze natuurlijke stikstoflevering wordt meegenomen in bemestingsadviezen dan kan dat de stikstofefficiëntie op bedrijfsniveau significant verhogen. Het voorspellen van deze natuurlijke stikstoflevering is echter lastig: er bestaan namelijk geen nauwkeurige methoden om een goede voorspelling te doen.

In de huidige situatie wordt de N-levering op grasland geschat door gebruik te maken van het NLV concept (N-leverend vermogen), waarbij de N-levering wordt geschat op basis van de totale hoeveelheid stikstof in de bodem. Door gebruik te maken van een standaard verdeling over het seizoen wordt vervolgens berekend hoeveel kunstmest er gegeven moet worden voor de verschillende snedes. Deze benadering levert echter geen accurate voorspellingen op, in het bijzonder voor kleigronden. Daarentegen is het NLV-concept vooralsnog de enige indicator die breed toegepast wordt.

Vanuit de wetenschappelijke literatuur en gegevens uit de praktijk is bekend dat de hoeveelheid N die werkelijk beschikbaar komt gedurende het groeiseizoen niet alleen afhangt van de hoeveelheid totaal N in de bodem, maar ook van de kwaliteit van de organische stof, de bodemtextuur, en weersomstandigheden (Ros, 2011). Concreet betekent dit dat twee percelen met een identieke totale hoeveelheid stikstof toch kunnen verschillen in de hoeveelheid stikstof die via mineralisatie beschikbaar kan komen voor het gewas. Om deze reden is het niet vreemd dat er sinds de introductie van het NLV-concept vragen gesteld worden vanuit de praktijk (de veehouders/adviseurs) om tot een betere voorspelling te komen van de N-levering gedurende een groeiseizoen.

1.2 Schatten van stikstof mineralisatie

Mineralisatie van bodemorganische stof kan op verschillende manieren berekend of geschat worden. Het meest betrouwbaar zijn biologische georiënteerde experimenten waarbij een grondmonster gedurende een periode wordt weggezet bij optimale temperatuur en vochtgehalte. De toename in NO₃ gedurende deze incubatie periode wordt gemeten en deze toename geeft een indicatie van de beschikbaarheid van het aanwezige organische stof. In Nederland wordt veelal de volgende vuistregel toegepast: de hoeveelheid NO₃ dat in een jaar beschikbaar kan komen, komt overeen met 50% van de hoeveelheid die in het laboratorium (bij 20°C en op timaal vochtgehalte) in 8 weken beschikbaar komt. Vergelijkbare experimenten kunnen ook rechtstreeks in het veld worden uitgevoerd, maar daar zullen de temperatuur en het vocht dagelijks variëren. Hoewel de biologische benadering het beste rekening houdt met de werkelijke processen in de bodem, is het vanuit praktische overwegingen ongeschikt voor toepassing in bemestingsadviezen. De analyse is simpelweg te duur en vergt te veel tijd.

Een alternatieve benadering maakt gebruik van simpele of ingewikkelde modellen om het gedrag van N in de bodem te beschrijven. Het voordeel van deze benadering is dat het elk moment gebruikt kan worden en mogelijkheden biedt om scenario's door te rekenen. De verkregen informatie kan vervolgens gebruikt worden om het N-management te optimaliseren. Nadeel van deze benadering is dat de

resultaten vooralsnog locatiespecifiek zijn (en dus gekalibreerd moeten worden op elke locatie) en veel inputgegevens vragen van de gebruiker.

Een derde benadering maakt gebruik van chemische extractiemethoden om de hoeveelheid beschikbaar N te schatten. Deze benadering gaat ervan uit dat via een chemische extractiemethode het mogelijk is om ofwel de biologische processen na te bootsen ofwel de organische stof te verdelen in een beschikbare en niet beschikbare fractie. In de afgelopen 100 jaar zijn dan ook meer dan 20 bodemtesten ontwikkeld en tot op vandaag zijn verschillende (wetenschappelijke) groepen op zoek naar de beste indicator voor de beschikbare fractie organische stof. In een recente literatuurstudie heeft Ros et al. (2011a) laten zien dat circa 40% van deze bodemtesten een betere indicatie geeft van de N mineralisatie dan de totale hoeveelheid N.

Eén van deze bodemtesten is de 0,01M CaCl₂ methode, mede ontwikkeld door Houba et al. (2000) bij de Wageningen Universiteit. Hierbij wordt een gedroogd en gezeefd grondmonster voor 2 uren geschud met 0,01 M CaCl₂, waarna vervolgens de hoeveelheid oplosbaar organisch N in het extract wordt gemeten. Verschillende studies hebben voor Nederlandse bodems laten zien dat deze bodemtest een betrouwbare schatting kan geven van de hoeveelheid N dat via mineralisatie beschikbaar kan komen voor het gewas. In een recent promotietraject is door Wageningen Universiteit onderzoek uitgevoerd naar de fundamentele principes achter en potentiële toepassingsmogelijkheden voor het gebruik van deze bodemtest (Ros, 2011).

Dit onderzoek liep van 2007 tot 2010 en werd gefinancierd door Stichting Technische Wetenschappen (STW project nummer 7367) en betrokken partijen als Productschap Zuivel, Hoofdproductschap Akkerbouw, BLGG BV en het Nutriënt Management Instituut (NMI). Het NMI had binnen dit onderzoek de taak om de gegevens van het fundamentele onderzoek te vertalen naar een verbeterd N-advies/ bemestingsondersteunende systemen.

Op basis van het WU onderzoek is duidelijk geworden dat er diverse mogelijkheden zijn om de huidige voorspelling van de N-levering van een bodem te verbeteren. Ten eerste levert het gebruik van bodemtesten die relatief meer labiel (ofwel beschikbaar) stikstof bevatten een betere voorspelling van de N-levering dan de totale hoeveelheid N in een bodem. Informatie over de kwaliteit van de organische stof en de bodemtextuur kan een extra verbeteringslag geven. Ten tweede is duidelijk geworden dat een directe én accurate schatting van N-levering in het veld niet mogelijk is door de grote variatie in bodemeigenschappen en weersomstandigheden. Bodemtesten kunnen alleen gebruikt worden om de potentiële N-levering te schatten, d.w.z. de N-levering onder optimale weersomstandigheden (geen variatie in vocht en temperatuur). De actuele N-levering – datgene wat een boer wil weten – kan vervolgens geschat worden door de potentiële N-levering te corrigeren voor de actuele variatie in weersomstandigheden (Bless et al., 2010; Ros, 2011).

1.3 *Belang voor de melkveehouderij*

Het is algemeen geaccepteerd dat er een grote behoefte is aan een nieuwe en snelle methode, die algemeen toepasbaar en goedkoop is, voor het kwantificeren van de N die vrijkomt via organische stof mineralisatie in de grond. Het gebruik maken van de organische N in een CaCl₂-extract kan deze methode worden. BLGG AgroXpertus, het productschap Zuivel (PZ) en hoofdproductschap akkerbouw (HPA) voorzien een grote behoefte aan een betrouwbare methode om N-mineralisatie te meten voor een maatschappelijk en milieu verantwoord landbouw systeem.

De bestaande N-advisering is gebaseerd op een globale schatting van de N-mineralisatie op basis van N-totaal en gemiddelde waarden voor zand en klei. Hoeveel N er daadwerkelijk vrijkomt voor gras en maïs is echter onduidelijk. Wanneer via de CaCl_2 bodemtest en/of andere bodemeigenschappen een nauwkeurige inschatting kan worden gemaakt van de N die op korte termijn beschikbaar komt, dan kan dat de huidige N-adviezen aanzienlijk verbeteren.

Binnen dit project heeft tevens een groepje studenten gewerkt aan deze thematiek. De resultaten van hun studie en het genoemde promotieonderzoek zijn bovendien besproken met een aantal boeren. Een duidelijke conclusie was dat boeren op zoek zijn naar maatwerk, ook met betrekking tot een vernieuwd N-advies (Bless et al., 2010). De hier ontwikkelde systematiek speelt hier duidelijk op in.

1.4 Doel van deze studie

Deze studie bouwt voort op het hierboven genoemde promotie onderzoek naar de CaCl_2 bodemtest. Het belangrijkste doel is de ontwikkeling van een nieuw bodemkengetal waarmee een veehouder beter inzicht krijgt in de hoeveelheid N die op perceelsniveau beschikbaar kan komen voor gras gedurende het groeiseizoen. Het is echter niet alleen belangrijk om te weten hoeveel N er beschikbaar kan komen gedurende een groeiseizoen, maar het is ook nodig om inzicht te krijgen in het tijdstip wanneer deze N daadwerkelijk beschikbaar is. Wanneer deze informatie bekend is, kan een veehouder een goede afweging maken op welke percelen de beperkte hoeveelheid N uit kunstmest en organische mest het beste gebruikt kan worden. Concreet geeft het hem de mogelijkheid om de aanwezige N zo efficiënt mogelijk te benutten voor een optimale ruwvoerproductie. Een belangrijk neveneffect is dat N-verliezen naar het milieu afnemen wanneer in de bemestingsstrategie rekening wordt gehouden met de N-levering vanuit de bodem.

Oorspronkelijk was het de bedoeling om de CaCl_2 bodemtest te ontwikkelen, te valideren én te implementeren gedurende de onderzoeksjaren 2007-2010. De resultaten van het wetenschappelijke onderzoek hebben veel opgehelderd over de rol die de CaCl_2 bodemtest kan spelen om de huidige NLV-concept te verbeteren. De validatie van deze bodemtest is echter pas gestart in 2011, omdat de wetenschappelijke resultaten in de eerste jaren niet geschikt waren voor validatie en implementatie. Deze studie bouwt daarom voort op de resultaten van dit promotieonderzoek met een focus op validatie.

Het eindresultaat van deze studie is daarom een vernieuwde benadering die gebruikt kan worden om de actuele N-levering van grasland (en maïsland) te schatten. Uitgangspunt zijn de resultaten van het onderzoek uitgevoerd aan Wageningen Universiteit, gepubliceerd door Ros (2011). Gebruik makend van de daar ontwikkelde methodiek wordt het huidige NLV-concept op twee punten vernieuwd:

1. de schatting van de totale N-levering zal niet meer gebaseerd zijn op de totale hoeveelheid N in een bodem maar is gebaseerd op een bodemtest die een betere inschatting geeft van potentieel mineraliseerbaar N; en
2. de standaard en statische seizoenscorrectie wordt vervangen door een aanpak waarbij rekening wordt gehouden met dagelijkse variatie in weersomstandigheden.

Deze nieuwe benadering is vervolgens getest/gevalideerd voor verschillende experimenten. Dit rapport bespreekt de ontwikkeling van het vernieuwde NLV-concept en beschrijft de resultaten van deze validatie.

1.5 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de achtergronden en ontwikkeling van het vernieuwd NLV-concept. In het hierop volgende hoofdstuk (**hoofdstuk 2**) wordt ingegaan op de ontwikkeling en achtergronden van het huidige NLV-advies. In **hoofdstuk 3** wordt het vernieuwde NLV-advies beschreven en onderbouwd. **Hoofdstuk 4** bevat een beschrijving gegeven van de experimenten die gebruikt zijn om het nieuwe advies te valideren. **Hoofdstuk 5** beschrijft de resultaten van deze validatie, waarna in **hoofdstuk 6** de belangrijkste resultaten van deze studie worden samengevat, mogelijke kennislacunes worden aangegeven, en toepassingsmogelijkheden op een rijtje worden gezet. In **bijlage 1-3** worden de in de literatuur bekende gegevens over het effect van vocht, temperatuur, en bodemtextuur op de mineralisatiesnelheid samengevat en geëvalueerd.

2 Totstandkoming huidige NLV in bemestingsadvies voor grasland en maïs

2.1 NLV in bemestingsadviesbasis 1994

Vóór 1994 werd er bij het bemestingsadvies voor vrijwel alle gronden een gelijke N-levering aangehouden. Er werd alleen voor goed ontwaterde veengronden rekening gehouden met extra N-levering. Gebaseerd op de gegevens van Ruitenbergh et al. (1991) werd in het bemestingsadvies van 1994 een eerste schatting gegeven van de N-levering voor verschillende gronden (Vellinga et al., 1993). Het N-leverend vermogen werd daarbij gedefinieerd als de hoeveelheid stikstof die beschikbaar is voor gewasopname op een onbemest perceel. Bij de uitwerking van dit concept werd gekozen voor een eenvoudige benadering: er werd onderscheidt gemaakt tussen minerale gronden en veengronden (Tabel 2-1), waarbij binnen beide groepen twee klassen van N-leverend vermogen werden gedefinieerd.

Voor veengronden werd het onderscheid tussen beide klassen gebaseerd op de ontwateringstoestand van het perceel, waarbij dit laatste werd afgeleid van de grondwatertrap of het slootpeil. De minerale gronden werden geclassificeerd op basis van het gehalte aan organische stof, waarbij er nog een extra verschil werd gemaakt tussen klei- en zandgronden. Bij de zandgronden vielen de gronden met een hoog organisch stofgehalte in de hoge NLV-klasse. Op kleigronden werd de mineralisatiesnelheid verondersteld lager te zijn door de "bescherming" van organische stof tegen afbraak door micro-organismen. Daarom vielen alleen kleigronden met een zéér hoog organisch stofgehalte (de enige kleigronden) in de hoge NLV-klasse; de overige kleigronden vielen in de lage NLV-klasse.

Gebaseerd op veldproeven werd de hoeveelheid N dat over het gehele groeiseizoen beschikbaar kan komen geschat op 230 tot 300 kg N ha⁻¹ voor de veengronden, op 200 kg N ha⁻¹ voor de minerale gronden met veel organische stof, en op 140 kg N ha⁻¹ voor de overige minerale gronden (Tabel 2-1).

Tabel 2-1. NLV-advies (Vellinga et al., 1993)

NLV klasse	Stikstoflevering (kg per ha)	Grondsoort	Omschrijving / grondwatertrap	Slootpeil
1	300	Veen	GWT II, III	40-70 cm
2	230	Veen	GWT I, II	< 40 cm
3	200	Zand/klei	Zeer humeus zand (C:N ratio <13) Humusrijk zand en zavel Venig zand en venige klei	-
4	140	Zand/klei	Overige minerale gronden	-

De klassen van N-leverend vermogen werden bewust vrij grof gekozen omdat men toen oordeelde dat een fijne indeling alleen mogelijk was met behulp van nauwkeurige metingen. Deze metingen waren op veehouderijbedrijven niet standaard mogelijk.

Een verschil in NLV werd niet rechtstreeks terugvertaald naar een verschil in N-bemesting. Om een verschil in N-bemesting te kunnen afleiden van een aanwezig verschil in NLV moet namelijk rekening worden gehouden met het feit dat maar een beperkt deel van de N wordt opgenomen. Concreet betekent dit dat om een verschil in NLV te vertalen naar een verschil in bemesting, de geschatte N-levering moet worden gecorrigeerd voor de schijnbare N-terugwinning (*Apparent Nitrogen Recovery*,

ANR). Ter illustratie: als de schijnbare N-terugwinning laag is, zoals bij veengronden (~60%), dan is het verschil in bemesting dus $1/0,6 = 1,67$ keer zo groot als het verschil in N-leverend vermogen. Voor zandgronden werd aangenomen dat de schijnbare N-terugwinning circa 80% bedraagt.

Gebaseerd op deze gegevens werd een N-bemestingsadvies afgeleid. Hierbij werd het advies gedifferentieerd voor 3 klassen met een verschillende opbrengst (1200, 1900 en 2000 kg ds ha⁻¹) en werd rekening gehouden het verschil tussen de eerste en latere sneden.

In het afgeleid bemestingsadvies werd ook opgemerkt dat de optimale N-gift afhankelijk is van het vochtleverend vermogen. Door de afhankelijkheid van weersomstandigheden varieert de optimale N-gift ieder jaar voor iedere locatie. In het advies ging men er vanuit dat een bemestingsadvies per snede al inspeelt op mogelijke groeivertraging door vochttekorten (zelfregulerend vermogen). Door een vertraagde groei worden minder sneden geoogst en dus ook weer minder sneden bemest. Een bemestingsadvies per snede zorgt dus al voor een aanpassing van de totale bemesting. Als een snede werd geoogst bij de geplande opbrengst was geen aanpassing nodig. Als een snede werd geoogst bij een lagere opbrengst dan gepland, dan werd geadviseerde de N-gift van de volgende snede te verminderen met 15 tot 30 kg N.

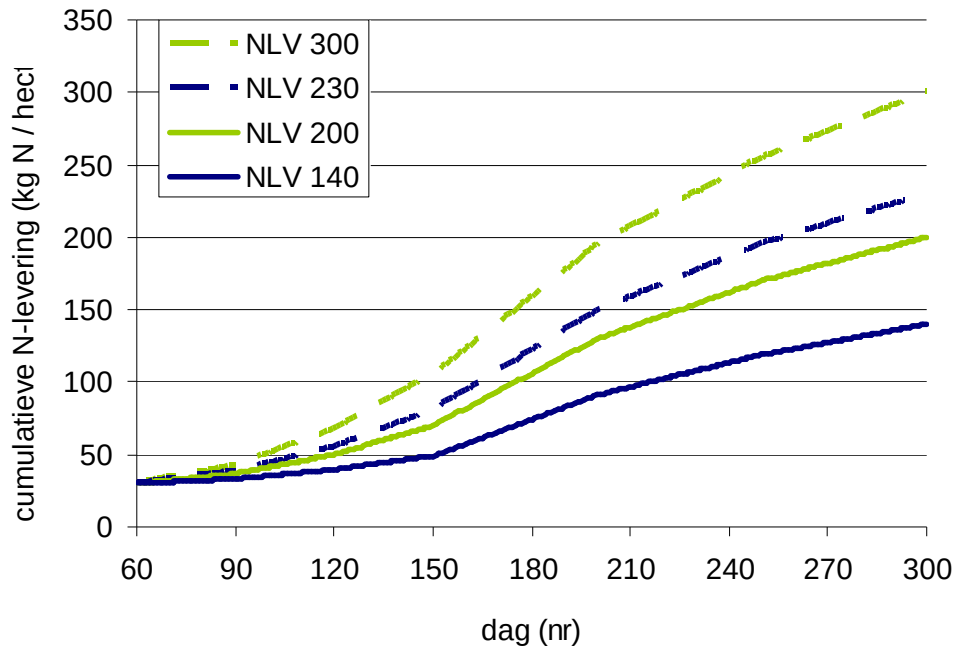
Naast een inschatting van de totale stikstoflevering (Tabel 2-1) is het moment waarop deze stikstof vrijkomt van belang. In het N-bemestingsadvies van 1994 wordt deze dynamische en weersafhankelijke component van de N-levering geschat door uit te gaan van een standaard verdeling over het groeiseizoen (Tabel 2-2). Deze verdeling van NLV over het groeiseizoen is afgeleid uit veldproeven (8 proeven, diverse grondsoorten, uitgevoerd in jaren '60-'70) en de verdeling over het seizoen kan grotendeels worden toegeschreven aan verschillen in temperatuur en daarmee samenhangend met verschillen in afbraaksnelheden. Er werd geen onderscheid gemaakt voor verschillende jaren (met variatie in temperatuur en neerslag); deze verdeling is daarom indicatief voor een 'gemiddeld' jaar. De hoeveelheid stikstof die voor de start van het groeiseizoen was gemineraliseerd, dat wil zeggen voor 1 maart, werd gesteld op 30 kg N ha⁻¹ (gebaseerd op veldproeven in 1992).

In de gebruikte seizoensverdeling komt in de eerste 3 maanden circa 35% van de jaarlijkse N-levering beschikbaar via mineralisatie. Gedurende het seizoen neemt de snelheid waarmee de N beschikbaar komt toe waarbij het maximum in de zomer ligt. Eind augustus is circa 85% van de totale hoeveelheid beschikbaar N gemineraliseerd.

Tabel 2-2 De berekening van de stikstoflevering over het groeiseizoen (Vellinga et al., 1993)

Dag nummer (vanaf 1 januari)	Periode	Stikstoflevering (kg N ha ⁻¹)
60	1 maart	30
61-90	maart	$\frac{1}{6} * 35\% * NLV - 30$
91-120	april	$\frac{2}{6} * 35\% * NLV - 30$
121-150	mei	$\frac{3}{6} * 35\% * NLV - 30$
151-200	juni/ juli	$30\% * NLV$
201-250	juli/ augustus	$20\% * NLV$
251-300	augustus/ september	$15\% * NLV$

Ter illustratie is de invloed van deze seizoensgerelateerde correctie gevisualiseerd voor de vier NLV klassen zoals die zijn gebruikt in het advies in 1994 (Figuur 2-1).



Figuur 2-1 Het berekende verloop van de cumulatieve N-levering gedurende het groeiseizoen zoals toegepast in het N-bemestingsadvies voor grasland 1998 (kg N ha^{-1}) (Vellinga et al., 1993).

2.2 NLV in bemestingsadviesbasis 1998

Ondanks de verbeteringen die in 1994 werden ingevoerd, waren er in 1998 verschillende redenen om het advies te herzien/ verbeteren:

- verschillende gebruikers gaven aan dat het wenselijk was om de adviezen te verfijnen;
- er was geen advies voor gronden met een erg laag organisch stofgehalte;
- in de periode 1992 tot 1996 werden veel proefveldgegevens verzameld die waardevolle informatie gaven om het N-leverend vermogen van minerale gronden nauwkeuriger te schatten; en
- door de invoering van het MINAS systeem werd de noodzaak van een optimaal N-bemestingsstrategie belangrijk. Door een verfijning van de bemesting kon op de N-aanvoer worden bespaard zonder grote verlaging van de grasopbrengst.

Het bemestingsadvies van 1998 gebruikt de gegevens die door Hassink (1995) zijn verzameld om het advies van 1994 verder te verfijnen. De belangrijkste wijziging is dat het NLV van minerale gronden onder grasland gerelateerd werd aan het gehalte organisch N in de bodem, waarbij het N-gehalte wordt gemeten in de eerste 20 cm van de bodem. Door gebruik te maken van deze continue functies werd de afwijking tussen de berekende en gemeten N-levering beduidend kleiner (Vellinga, 1998).

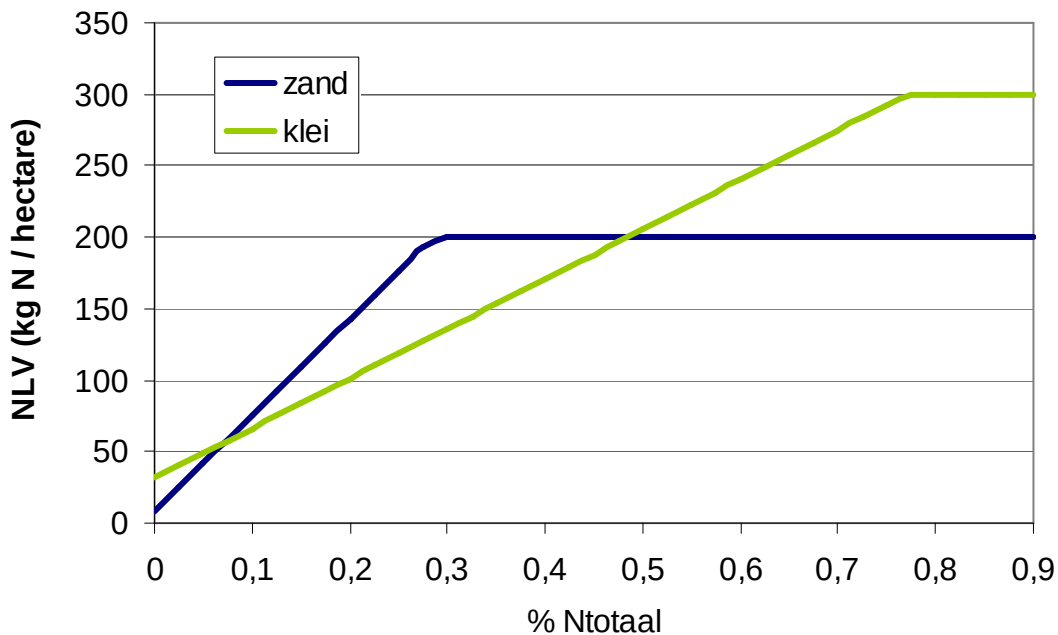
Het onderscheidt tussen zand- en kleigronden wordt gelegd bij een grens van 25% lutum. De hoeveelheid N die in een jaar beschikbaar kan komen wordt geschat via de statistische modellen:

$$\text{Stikstoflevering zandgrond (kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}) = 8,2 + 672 * \% \text{ Norg}_{(0-20 \text{ cm})}$$

$$\text{Stikstoflevering kleigrond (kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}) = 31,7 + 347,7 * \% \text{ Norg}_{(0-20 \text{ cm})}$$

Hierbij wordt voor zandgronden een maximum aangehouden van $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. Voor kleigronden geldt een maximum van $230 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ voor slecht ontwaterde percelen en maximum van $300 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ voor goed ontwaterde percelen.

Omdat de hoeveelheid inorganisch N verwaarloosbaar is ten opzichte van de hoeveelheid organisch N, kan ook gebruik gemaakt worden van N-totaal. De relatie tussen N-totaal en N-levering wordt gevisualiseerd in Figuur 2-2. Opvallend is het feit dat de aanname van $30 \text{ kg N}_{\text{min}}$ aan het begin van het groeiseizoen voor klei gehandhaafd wordt, maar voor zand sterk naar beneden wordt bijgesteld. De langzame stijging van NLV op kleigronden komt overeen met de aanname dat kleideeltjes in staat zijn om organische moleculen te beschermen voor microbiële afbraak.



Figuur 2-2 Relatie tussen N-totaal en N-leverend vermogen op zand- en kleigronden (Vellinga, 1998).

Voor veengronden was geen indicator beschikbaar waarmee het NLV van de bodem geschat kon worden. De bestaande indeling (advies 1994) in twee NLV-klassen voor veengronden, gebaseerd op ontwatering, bleef daarom gehandhaafd.

Naast de hierboven beschreven wijzigingen werden een aantal onderdelen geoptimaliseerd:

- in het advies van 1998 werd een betere schatting gegeven van de te verwachten streefopbrengsten gedurende het seizoen;
- er werd een duidelijker en concreter advies gegeven voor droge omstandigheden; en
- de invloed van de N-levering op de optimale N-gift per snede is nauwkeuriger bepaald.

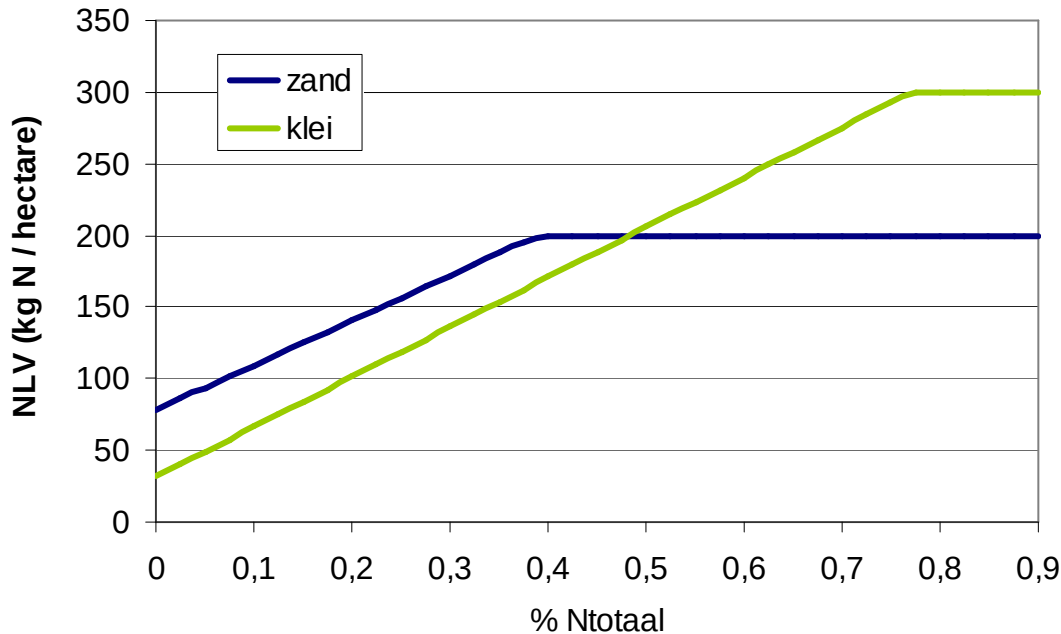
De verdeling van de N-levering over het seizoen is dezelfde als die voor het bemestingsadvies van 1994 is gebruikt (Vellinga et al., 1993).

2.3 NLV in adviesbasis 2008

De huidige adviesbasis voor N-bemesting van grasland gaat eveneens uit van een afleiding van NLV

van de bodem zoals afgeleid uit N-totaal. Voor de vernieuwing die in 2008 is doorgevoerd, is de oorspronkelijke dataset van Hassink (1995) uitgebreid met nieuwe experimentele gegevens. Vanwege grote onzekerheid over de verkregen gegevens van kleigronden is besloten om alleen een aanpassing door te voeren in de berekening van het NLV van zandgronden. De belangrijkste wijzigingen zijn:

- het NLV bij lage N-totaal is verhoogd van 8,2 naar 78 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ voor zandgronden;
- de relatie met N-totaal (de hellingshoek) is identiek voor zowel zand- als kleigronden; en
- voor veen is besloten om over te gaan tot één NLV van 250 kg N ha⁻¹ jr⁻¹.



Figuur 2-3 Relatie tussen N-totaal en N-leverend vermogen op zand- en kleigronden (Advies, 2008).

2.4 Samenvattende conclusies

Samenvattend kunnen we de ontwikkeling van het NLV-advies als volgt weergeven:

- Voor 1994 werd bij het opstellen van het bemestingsadvies geheel geen rekening gehouden met bodemsoortafhankelijke verschillen in stikstofleverend vermogen.
- Vanaf 1994 werden minerale bodems opgedeeld in twee klassen van stikstoflevering op basis van gehalte aan organisch stof en hoofdindeling zand, zavel en klei. Veenbodems werden opgedeeld in twee klassen op basis van drainage/ grondwaterpeil.
- Vanaf 1998 werd de stikstoflevering direct afgeleid van het gehalte aan N-totaal in de bodem. De indeling in klassen komt te vervallen. Hierbij wordt nog wel onderscheid gemaakt tussen klei en zandbodems. Voor veengronden wordt slechts één cijfer voor NLV gehanteerd, zonder onderscheid te maken naar grondwaterpeil. Gebruik makend van een vaste seizoenscorrectie wordt berekend hoeveel van de totale hoeveelheid beschikbaar N per maand beschikbaar komt voor het gewas.
- In 2008 is er op basis van aanvullende gegevens veldproeven een aanpassing gemaakt in de relaties voor zandgronden. Het advies voor klei- en veengronden, en de gebruikte seizoenscorrectie blijven ongewijzigd.

3 Naar een nieuw N-bemestingsadvies

Verskillende studies hebben laten zien dat de huidige berekening van de NLV van grasland kan worden verbeterd. De hoeveelheid N die werkelijk beschikbaar komt voor het gewas hangt namelijk niet alleen af van de hoeveelheid N-totaal in de bodem, maar ook van de kwaliteit van de organische stof. Daarnaast wordt bij de berekening van het huidige NLV geen rekening gehouden met seizoensverschillen tussen jaren en de dagelijkse variatie in temperatuur en neerslag, terwijl bekend is dat deze factoren in sterke mate bepalen hoeveel van de potentiële beschikbare hoeveelheid N ook echt beschikbaar komt. In dit hoofdstuk wordt op basis van literatuurgegevens (zie bijlages) en het onderzoek van Ros (2011) een module ontwikkeld om rekening te houden met de kwaliteit van de organische stof en de dagelijkse variatie in temperatuur en vocht.

3.1 *Vernieuwing van bestaand NLV concept*

Zoals in het vorige hoofdstuk is beschreven, bestaat de huidige schatting van de N beschikbaarheid in het groeiseizoen uit twee onderdelen:

1. schatting van N-leverend vermogen via de totale hoeveelheid N in de bodem, gevolgd door
2. toepassen van een vaste seizoenscorrectie.

Hierbij is de relatie tussen N-totaal en NLV gebaseerd op veldgegevens. Vanwege de grote variatie in meetgegevens is het echter onmogelijk om het N-leverend vermogen accuraat te schatten, in het bijzonder voor kleigronden. De ruis kan oplopen tot 60% van het geschatte N-leverend vermogen.

Het hier te ontwikkelen vernieuwde NLV-concept hanteert dezelfde systematiek, maar gebruikt:

1. een combinatie van bodemparameters die de potentiële hoeveelheid beschikbaar N schatten, gevolgd door;
2. variabele correctiefactoren voor vocht en temperatuur (variëren op dagbasis).

3.2 *Voorspellen van potentiële hoeveelheid beschikbaar N*

De schatting van de potentiële hoeveelheid beschikbaar N is niet gebaseerd op de totale hoeveel N in de bodem, maar wordt geschat op basis van labiele organische stof fracties in de bodem of andere relevante bodemeigenschappen. De keuze voor de hier gebruikte parameters volgt uit het WU onderzoek van Ros (2011), waarbij de potentiële hoeveelheid beschikbaar N is gedefinieerd als de hoeveelheid N die in 140 dagen beschikbaar komt wanneer een grondmonster wordt opgeslagen bij een optimaal vochtgehalte (veldcapaciteit) en een temperatuur van 20 graden. Omdat de mineralisatie snelheid constant bleek te zijn (voor graslandgronden en gronden onder continue maïsteelt), kan ook gebruik gemaakt worden van de potentiële mineralisatie snelheid (k_{pot}); de toename in beschikbaar N per dag.

Door gebruik te maken van diverse statistische technieken zijn die relevante bodemparameters geselecteerd die deze mineralisatie snelheid accuraat kunnen schatten (Ros, 2011). In deze studie

hebben we vervolgens 4 verschillende modellen getest¹. Dit zijn (alle variabelen in deze vergelijking zijn getransformeerd via natuurlijk logaritme)²:

1. $\text{LN}(\text{N}_{\text{beschikbaar (140 dagen)}}) = 4,111 + 0,914 * \text{LN}(\text{HWC})$ ($R^2=0,80$; $\text{SEP}=0,319$)
2. $\text{LN}(\text{N}_{\text{beschikbaar (140 dagen)}}) = 1,797 + 0,619 * \text{LN}(\text{BFI})$ ($R^2=0,76$; $\text{SEP}=0,347$)
3. $\text{LN}(\text{N}_{\text{beschikbaar (140 dagen)}}) = 1,559 + 1,085 * \text{LN}(\text{N}_{\text{tot}}) + 0,671 * \text{LN}(\text{EON (\% N}_{\text{tot}})})$ ($R^2=0,66$; $\text{SEP}=0,412$)
4. $\text{LN}(\text{N}_{\text{beschikbaar (140 dagen)}}) = 0,003 + 0,945 * \text{LN}(\text{EON}) + 0,791 * \text{LN}(\text{CN})$ ($R^2=0,69$; $\text{SEP}=0,476$)

Waar HWC staat voor Hot Water Carbon, BFI voor Bodemleven, EON voor Extractable Organic Nitrogen (de CaCl_2 bodemtest), N_{tot} voor N-totaal en CN voor de C-N ratio van een grond.

Ter vergelijking, de relatie met totaal N en/of NLV is:

1. $\text{LN}(\text{N}_{\text{beschikbaar (140 dagen)}}) = 1,639 + 0,879 * \text{LN}(\text{N}_{\text{tot}})$ ($R^2=0,51$; $\text{SEP}=0,496$)
2. $\text{LN}(\text{N}_{\text{beschikbaar (140 dagen)}}) = 0,918 + 0,738 * \text{LN}(\text{NLV})$ ($R^2=0,41$; $\text{SEP}=0,551$)

De bovenliggende relaties zijn gebaseerd op uitgebreid incubatie onderzoek dat in 2009 is uitgevoerd binnen het kader van het promotieonderzoek van Ros (2011). De hierboven gepresenteerde relaties zijn gebaseerd op gemeten N-mineralisatie in 98 gronden.

3.3 Vertaalslag van potentiële naar actuele N beschikbaarheid

3.3.1 Factoren die N mineralisatie beïnvloeden

Wanneer de potentiële mineralisatie snelheid bekend (ofwel geschat) is, kan deze vervolgens gecorrigeerd worden voor de aanwezige verschillen tussen een veldsituatie en een laboratoriumproef. In tabel 3-1 (volgende pagina) wordt een overzicht gegeven van de invloed die verschillende bodemeigenschappen en omgevingsfactoren hebben op de snelheid waarmee N beschikbaar komt. Tevens wordt aangegeven of deze effecten verschillend zijn voor proeven die in het veld of in het laboratorium worden uitgevoerd. Het beschreven effect is alleen geldig binnen de range waarbinnen de bodemparameters variëren binnen landbouwgronden.

Uit de analyse van de literatuurgegevens blijkt tevens dat vocht en temperatuur de belangrijkste factoren zijn die de verschillen tussen de potentiële mineralisatie (zoals gemeten in een incubatie-experiment in het laboratorium) en actuele mineralisatie (zoals gemeten in veldproeven) beïnvloeden (Bless et al., 2010). In de wetenschappelijke literatuur is daarom uitvoerig onderzoek gedaan naar correctiefactoren die gebruikt kunnen worden om een vertaalslag te maken van de potentiële naar de actuele situatie. Een overzicht hiervan wordt uitgewerkt in Bijlagen 1-3.

¹ Deze modellen zijn geselecteerd op basis van de resultaten gepresenteerd in Ros et al., 2011, *expert judgement* en praktische haalbaarheid.

² Dat betekent dat alle variabelen in deze vergelijking teruggetransformeerd moet worden om beschikbaar N in werkelijke eenheden (mg kg^{-1}) uit te drukken. R^2 is het percentage verklaarde variantie; SEP is de standaard fout op de voorspelling

Tabel 3-1 Kwalitatief overzicht van factoren die N-mineralisatie beïnvloeden in het veld en laboratorium.

Bodemvariabele	Invloed op N mineralisatie		Verschil in effect?	Belangrijkste oorzaak verschillend effect
	In labproef	In veldsituatie		
N-totaal	Erg groot	Erg groot	Nee	
% OS	Erg groot	Erg groot	Nee	
C-N ratio	Gemiddeld	Gemiddeld	Nee	
pH	Klein	Klein	Nee	
Kleigehalte	Groot	Groot	Ja	Vernietiging bodemaggregaten
Bodemstructuur	Klein	Erg groot	Ja	Vernietiging aggregaten, O ₂ en water beschikbaarheid
Temperatuur	Erg groot	Erg groot	Ja	Stimulatie biomassa activiteit; variatie aanwezig in veld; flush effecten
Vochtgehalte	Erg groot	Erg groot	Ja	Idem als temperatuur
OS-kwaliteit	Gemiddeld	Gemiddeld	Variabel	Afhankelijk van methodiek
Bodemleven	Groot	Groot	Ja	Aanwezigheid macrofauna
Ruimtelijke variatie	Geen	Groot	Ja	Homogenisatie
Plant invloeden	Geen	Gemiddeld	Ja	Productie labiel C substraat

Gebruik makend van deze gegevens is vervolgens een module ontwikkeld waarmee voor de dagelijkse variatie in bodemvocht en bodemtemperatuur kan worden gecorrigeerd. Voor de ontwikkeling van deze vertaalslag zijn de volgende stappen uitgevoerd:

1. schatting van de hoeveelheid bodemvocht in de bouwvoor;
2. schatting van de bodemtemperatuur;
3. afleiding correctiefactor voor vocht en temperatuur;
4. afleiding van een correctiefactor voor extra N mineralisatie bij bevochtiging in droge perioden; en
5. schatting van actuele mineralisatie snelheid.

Voor deze berekeningen wordt gebruik gemaakt van de volgende gegevens:

- weerdata (neerslag, temperatuur, evapotranspiratie) komen van KNMI database;
- chemische bodemgegevens komen uit standaard BLGG AgroXpertus meetpakket; en
- fysische bodemgegevens worden afgeleid uit de Staringreeks, een set van 20 meest voorkomende Nederlandse gronden die uitgebreid zijn gekarakteriseerd op fysische kenmerken.

3.3.2 Vertaalslag van potentiële naar actuele N-mineralisatie

In mathematische vorm kan de **vertaalslag van potentiële naar actuele N-mineralisatie snelheid** als volgt worden beschreven:

$$k_{act}(t) = k_{pot} * CFC_t$$

Waar $k_{act}(t)$ staat voor de actuele N-mineralisatiesnelheid op tijdstip t ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$), k_{pot} staat voor de potentiële N-mineralisatiesnelheid ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$), en CFC_t staat voor een gecombineerde correctiefactor (geen eenheid) om te corrigeren voor veranderingen in vochtgehalte, temperatuur en die rekening houdt

met een extra mineralisatieflush wanneer er regen valt na een langdurige droge periode.

Uit experimentele gegevens blijkt dat de potentiële N-mineralisatie snelheid in grasland en continue maïs-percelen relatief constant blijft over een periode van minimaal 140 dagen. Gebruik makend van deze observatie is het mogelijk om de hoeveelheid beschikbaar N te schatten via:

$$N_{\text{beschikbaar}} = \sum_{t=0}^{t=t} k_{\text{act}}(t)$$

Wat niets anders betekent dat de totale hoeveelheid beschikbaar N gelijk is aan de cumulatief gemineraliseerde hoeveelheid N over de periode t_0 tot t .

3.3.3 Afleiding correctiefactoren

De **gecombineerde correctiefactor voor vocht, temperatuur en mineralisatie flush** wordt berekend als:

$$CFc_t = C_{v_t} * C_{f_t} * C_{T_t}$$

Waar C_{v_t} staat voor de correctie die rekening houdt met het vochtgehalte ($0 < C_{v_t} < 1$, geen eenheid), C_{f_t} staat voor een correctiefactor die de mineralisatie snelheid verhoogt wanneer na erg droge omstandigheden regen valt ($1 < C_{f_t} < 4$, geen eenheid), en C_{T_t} staat voor een correctiefactor voor de bodemtemperatuur ($0 < C_{T_t} < 2$, geen eenheid).

De **empirische correctiefactor voor temperatuur** is afgeleid uit verschillende experimenten die zijn uitgevoerd door Kirschbaum (2000), waarbij de mineralisatiesnelheid wordt genormaliseerd naar een temperatuur van 40 graden. Omdat de gebruikte potentiële mineralisatie in de hier gebruikte opzet gedefinieerd is als de mineralisatie bij 20 graden, is een aanvullende correctie gebruikt om rekening te houden met het verschil tussen de actuele en potentiële situatie. De correctiefactor voor temperatuur kan als volgt worden berekend:

$$C_{T_t} = \frac{\exp\left(\frac{3.36 * (T_t - 40)}{T_t + 31.79}\right)}{\exp\left(\frac{3.36 * (20 - 40)}{20 + 31.79}\right)} \quad \text{met } C_{T_t} < 2$$

In deze formule is T_t de bodemtemperatuur op tijdstip t (in graden C). Omdat deze vaak niet bekend is kan de bodemtemperatuur worden geschat op basis van de luchttemperatuur via een empirische formule (voor de bespreking en afleiding zie Bijlage 1-3). Samengevat ziet deze afleiding er als volgt uit:

$$T_t = 0.2 * T_{l_t} + 0.2 * T_{l_{t-1}} + 0.5 * T_{l_{t2-t11}} + 0.2 * T_{l_{t12-t21}}$$

Waar T_{l_t} staat voor de luchttemperatuur op dag t , $T_{l_{t-1}}$ voor de luchttemperatuur op dag $t-1$, $T_{l_{t2-t11}}$ voor de gemiddelde luchttemperatuur tussen dag 2 en dag 11 voor dag t , en $T_{l_{t12-t21}}$ voor de gemiddelde luchttemperatuur tussen dag 12 en dag 21 voor dag t .

De **correctie voor vochtgehalte** (Cv_t) beïnvloedt de mineralisatie snelheid én de actuele gewasverdamping. Deze correctiefactor wordt als volgt berekend:

$$Cv_t = \frac{Vb_t}{Vb_{pF2}} \quad \text{met } 0 < Cv_t < 1$$

Waar Vb_t staat voor de hoeveelheid vocht op tijdstip t (in mm) en Vb_{pF2} voor de hoeveelheid vocht bij optimaal vochtgehalte (veldcapaciteit, in mm). De correctiefactor wordt gelimiteerd tussen 0 en 1, dat wil zeggen dat bij vochtgehaltes groter dan veldcapaciteit de correctiefactor gelijk blijft aan 1.

De **hoeveelheid beschikbaar vocht** in een bouwvoor (Vb) kan worden berekend via een waterbalans benadering:

$$Vb_t = Vb_{t-1} + P_t - ETa_t - U_t$$

Waar Vb_t staat voor de hoeveelheid vocht op tijdstip t (in mm), Vb_{t-1} voor de hoeveelheid vocht op tijdstip $t-1$ (de vorige dag, in mm), P_t voor de hoeveelheid neerslag dat gevallen is op dag t (gegeven door KNMI, in mm), ETa_t voor de actuele gewasverdamping op dag t (in mm), en U_t staat voor de uitspoeling naar diepere lagen op dag t (in mm). Aangenomen wordt dat de hoeveelheid vocht op $t=0$ (~1 januari) gelijk is de hoeveelheid vocht bij veldcapaciteit ($pF = 2$).

De **actuele gewasverdamping** (ETa_t) wordt berekend door de potentiële evapotranspiratie te corrigeren voor een vocht- en gewasgerelateerde correctiefactor.

$$ETa_t = ETp_t * Cv_{t-1} * Cg_{t-1}$$

Waar ETp_t staat voor de potentiële evapotranspiratie op dag t (gegeven door KNMI, in mm), Cv_{t-1} voor de correctie die rekening houdt met het vochtgehalte (onder droge condities kan er minder verdampen dan onder optimale vochtcondities; wordt berekend, geen eenheid), en Cg_{t-1} staat voor een gewasafhankelijke correctiefactor (actuele verdamping is gewasafhankelijk, gegeven in tabellen uit de literatuur, geen eenheid). De correctiefactoren worden berekend op basis van de gegevens van de vorige dag. Dit is nodig omdat voor een discontinue modelbenadering gekozen is. Op de tijdsperiode van een groeiseizoen heeft de hierdoor veroorzaakte ruis (of fout) echter weinig tot geen invloed.

Wanneer de hoeveelheid neerslag P en de actuele verdamping bekend zijn, kan aan de hand van de verandering in berging en het vochtgehalte berekend worden hoeveel water er uitspoelt naar diepere grondlagen. Deze **uitspoeling** wordt berekend als volgt:

$$U_t = Vb_t - Vb_{pF2} \quad \text{met } 0 < U < K_s \text{ en onder de voorwaarde dat } Vb_t > Vb_{pF2}$$

Waar U_t staat voor de hoeveelheid water dat uitspoelt op tijdstip t (in mm), Vb_t staat voor de hoeveelheid bodemvocht op tijdstip t (in mm), en Vb_{pF2} staat voor de hoeveelheid bodemvocht bij veldcapaciteit (in mm). De waarde K_s staat voor de verzadigde doorlatendheid: de snelheid waarmee water zich in deze

bodem kan verplaatsen als de bodem verzadigd is. De waarde K_s is bodemsoort afhankelijk en wordt afgeleid van de gegevens uit de Staringreeks.

Om rekening te houden met een **extra mineralisatieflush** na langdurige droogte hebben we de volgende vuistregel gehanteerd:

$$Cf_t = \left(\frac{pF_t}{2} \right) / Cv_t \quad \text{alleen als } pF_t > 3 \text{ en } P > ETa; \text{ met } 1 < Cf_t < 4$$

Deze vuistregel gaat ervan uit dat het flush-effect groter is als de grond langer is uitgedroogd (hogere pF waarden). De waarde wordt gedeeld door de correctie voor vocht, zodat de negatieve invloed van Cv_t bij lage vochtgehaltes wordt gecorrigeerd in de berekening van de gecombineerde correctie factor CFC_t .

3.3.4 Extra gegevens gebruikt voor visualisatie en vastleggen geldigheidsgrenzen

Wanneer de hoeveelheid bodemvocht bekend is, kan deze worden omgerekend naar een **volumetrisch vochtgehalte** Θ_t (in $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$):

$$\theta_t = \frac{Vb_t}{D * 1000} \quad \text{met } \Theta_r < \Theta_t < \Theta_s$$

Waar D staat voor de diepte van de bouwvoor (in m), Θ_s voor het vochtgehalte bij verzadiging (afgeleid van de Staringreeks, in $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), en Θ_r voor het vochtgehalte onder extreem droge condities, d.w.z. $pF > 7$ (afgeleid van de Staringreeks, in $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$). Als eerste schatting gebruiken we een bouwvoordiepte van 20 cm.

Door gebruik te maken van de door Van Genuchten (1980) opgestelde empirische vergelijking, kan de matrixpotentiala (h) worden uitgerekend. De empirische vergelijking is als volgt:

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left(1 + |\alpha h|^n\right)^{1-1/n}}$$

Omdat $\Theta(h)$ bekend is (de berekende Θ op tijdstip t) en de parameters (α , n , Θ_r en Θ_s) afgeleid zijn voor alle Nederlandse bodemtypes, kan h worden berekend.

De pF -waarde kan dan worden berekend als $^{10}\log(h)$, waarbij h wordt uitgedrukt in cm.

3.3.5 Richting een advies

De hierboven ontwikkelde rekenmethodiek vereist dagelijkse invoergegevens van neerslag, temperatuur en verdamping. Uiteraard zijn deze gegevens niet bekend wanneer voor een komend groeiseizoen een indicatie gegeven moet worden van de hoeveelheid stikstof dat beschikbaar zal komen. Om deze methodiek in te passen in de huidige bemestingsadvisering zijn er verschillende mogelijkheden:

- **Optie 1.** Er wordt een default voorspelling gedaan van de N-levering in een gemiddeld jaar. Hiervoor kunnen de meerjarig gemiddelde neerslag, verdamping en temperatuur gegevens worden gebruikt. Dit is de voorspelling die de boer krijgt toegezonden wanneer hij/zij een grondanalyse uit laat voeren. Gedurende het seizoen krijgt de boer automatisch een

attendering van het lab wanneer de weersomstandigheden afwijken van het meerjarig gemiddelde én dit leidt tot een relevante afwijking van de verwachte N-levering. Tegelijk zou aangegeven kunnen worden tot welke bijstellingen van het N-advies dit kan leiden. (In de tuinbouw wordt al volop gewerkt met deze vorm van adviesdiensten.)

- **Optie 2.** Er wordt een default voorspelling gedaan van de N-levering in een gemiddeld jaar. Tegelijkertijd wordt er op het advies vermeld dat (en hoe) het N-advies aangepast kan worden wanneer de weersomstandigheden afwijken van het gemiddelde. De *gekwantificeerde* aanpassing van het advies is daarbij gebaseerd op de hier ontwikkelde weersafhankelijke correctie. Denk hierbij aan de volgende scenario's/ opties: 1) een nat en koud voorjaar, 2) een nat en warm voorjaar, 3) erg droge zomer, 4) erg natte zomer. Het vaststellen van de relevante scenario's dient te gebeuren in samenspraak met de praktijk en de CBGV. Deze scenario's komen op www.bemestingsadvies.nl te staan. Denkbaar is dat op deze website ook een rekenmodule komt te staan die rekening houdt met de actuele weersgegevens en de weersvoorspellingen vergelijkbaar met optie 1.

3.4 Een illustratie

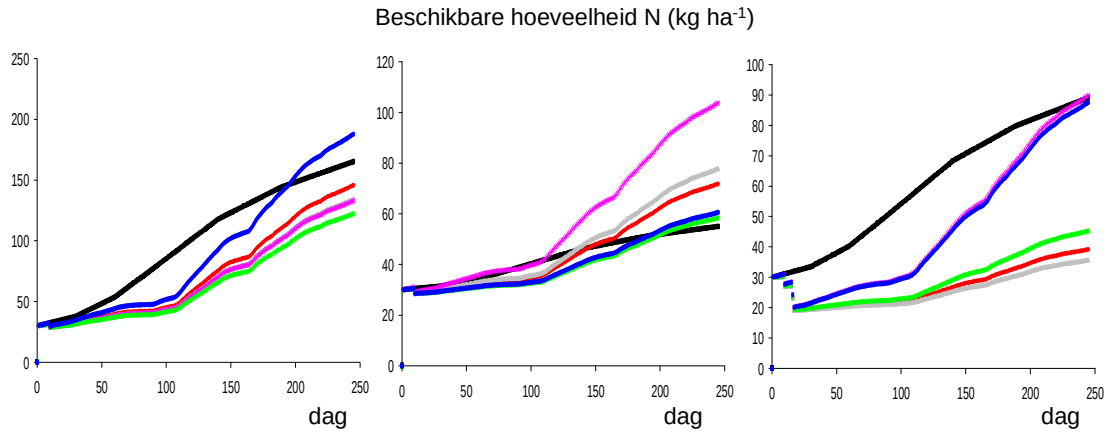
Ter illustratie is voor het jaar 1980 (een willekeurig jaar) doorerekend wat de effecten zijn van deze vernieuwde aanpak ten opzichte van het oude NLV-concept. Dit is gedaan voor een zandgrond met een lage NLV, een zandgrond met een hoge NLV en een kleigrond. De bodemparameters van de gebruikte gronden worden weergegeven in tabel 3-2.

Tabel 3-2 Gebruikte bodemgegevens voor illustratie effecten vernieuwd NLV concept

Bodemvariabele	Zand (hoog NLV)	Zand (laag NLV)	Lichte klei
N-totaal (g kg ⁻¹)	2,04	1,02	0,97
OS (%)	5,7	3,9	2
NLV (kg ha ⁻¹)	135	25	59
EON (mg kg ⁻¹)	21	5	4,6
HWC (g kg ⁻¹)	2,56	0,98	0,32
C-N ratio (-)	16	22	10
Lutum (%)	<5	<5	18
Bodemleven (mg kg ⁻¹)	165	80	80
Dichtheid (kg m ⁻³)	1253	1329	1216

In figuur 3-1 worden de resultaten gevisualiseerd hoe het NLV-advies er uit komt te zien wanneer gebruik wordt gemaakt van de hierboven beschreven benadering. De linkse figuur geeft de resultaten voor de zandgrond met een hoge NLV, de middelste figuur de resultaten voor de zandgrond met lage NLV en het rechtse figuur de resultaten voor de lichte kleigrond. In deze figuren stelt de zwarte lijn het huidige NLV-advies voor, terwijl de gekleurde lijnen de resultaten weergeven van de 5 geteste modellen.

Let op, de gegevens in figuur 3-1 geven geen informatie over wat er in werkelijkheid is gemineraliseerd. Het oude NLV-concept en het vernieuwde NLV-concept zijn hier schattingen van wat er kan plaatsvinden. Gezien de variatie tussen de verschillende geteste modellen is het belangrijk dat de voorgestelde aanpak wordt gevalideerd. Alleen op deze manier is het mogelijk om het juiste model te selecteren.

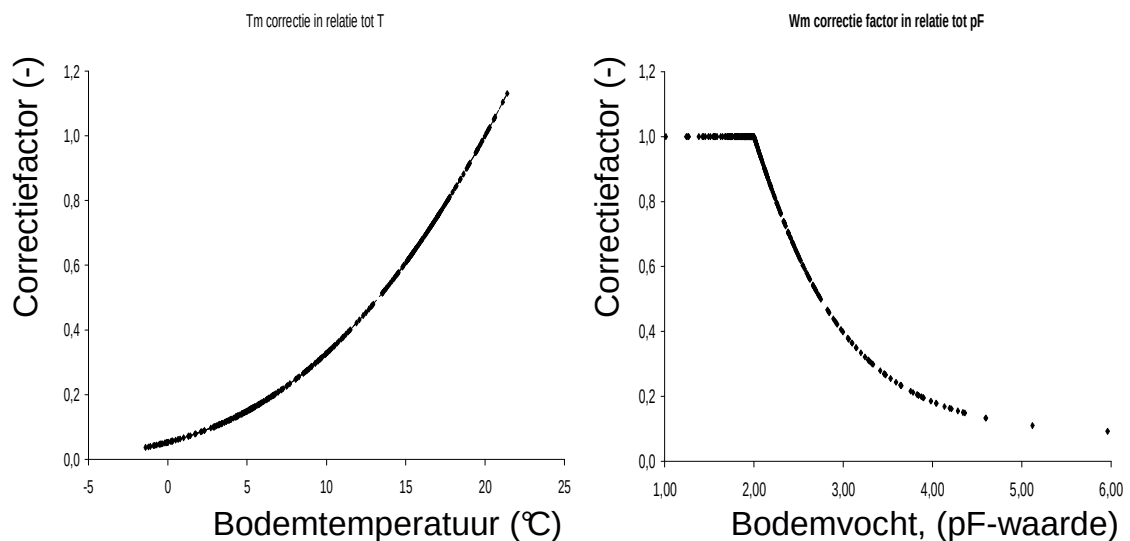


Figuur 3-1. Visualisatie van het verloop van oud en vernieuwd NLV-advies voor zandgrond met een hoge NLV (links), zandgrond met een lage NLV (midden) en licht kleigrond (rechts). Zwart is het huidige NLV-advies, en de gekleurde lijnen zijn de voorspellingen gebaseerd op de 5 geteste modellen die gebruik maken van totaal N, BFI, HWC, EON of de CN-ratio.

Duidelijk zichtbaar is dat het vernieuwde NLV-advies tot andere schattingen van de N-levering zal leiden:

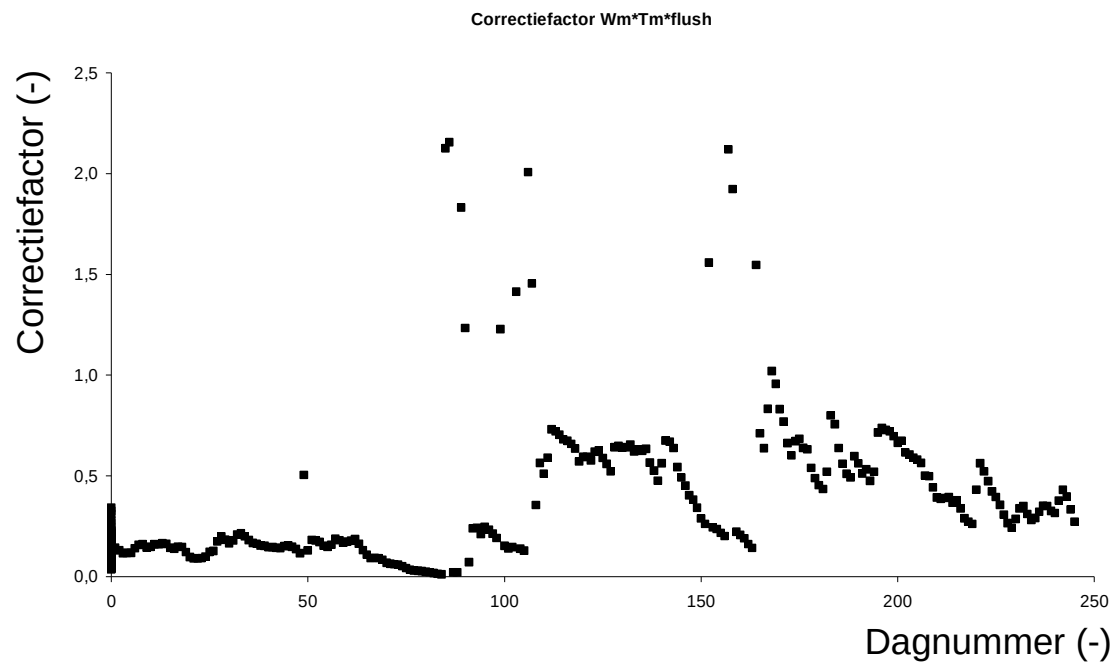
- De totale hoeveelheid N kan gelijk zijn aan het huidige NLV-advies, maar het kan ook sterk afwijken afhankelijk van de keuze van het gebruikte model.
- Het verloop over het seizoen kan sterk afwijken van de standaard seizoensverdeling zoals gebruik in het huidige NLV concept.
- Onder natte condities kan bij een laag bufferend vermogen stikstof verloren gaan (zoals zichtbaar bij kleigrond).

In figuur 3-2 worden de correctiefactoren voor vocht en temperatuur weergegeven. De linkse figuur geeft weer hoe de temperatuurcorrectie verandert met bodemtemperatuur, terwijl de rechtse figuur laat zien hoe de vochtcorrectie verandert bij afnemend vochtgehalte (hogere pF waarde).



Figuur 3-2. Correctiefactoren voor temperatuur (links) en vochtgehalte (rechts).

Figuur 3-3 laat vervolgens zien hoe de gecombineerde correctiefactor over het groeiseizoen verandert.



Figuur 3-3. Verloop van de berekende correctiefactor rekening houdend met de actuele situatie voor vocht, temperatuur, en mineralisatieflushes over de duur van een groeiseizoen in het jaar 1980 (illustratie voor zandgrond).

4 Validatie vernieuwd NLV-advies: gebruikte datasets

4.1 Inleiding

Uit de resultaten van het vorige hoofdstuk werd duidelijk dat de betrouwbaarheid van de inschatting van de jaarlijkse N-levering sterk afhangt van het gekozen statistische model. Aanvullend moet daarom getoetst worden welk model het beste in staat is om de N-levering te voorspellen. Invoering van de hierboven beschreven aanpak heeft alleen zin wanneer de onzekerheid op de voorspelling beter is dan het huidige NLV-advies. Bij de validatie spelen twee vragen een rol:

1. levert het vervangen van N-totaal door andere bodemparameters zoals EON, BodemLeven, en CN-ratio's (of combinaties daarvan met N-totaal) een betrouwbaarder voorspelling van de N-mineralisatie dan het huidige NLV advies? en
2. levert het vervangen van de statische seizoenscorrectie door een dynamische en weersafhankelijke correctie een verbeterde voorspelling van de N-beschikbaarheid?

Om deze vragen te testen is gebruik gemaakt van verschillende datasets. Deze datasets zijn gebaseerd op ofwel literatuurgegevens ofwel proeven uitgevoerd binnen het kader van het WU promotieonderzoek.

4.2 Beschrijving datasets

4.2.1 Incubatie-experiment 2010

Gebruikte grondmonsters

Dit experiment is uitgevoerd in het laboratorium onder dezelfde condities waarbij de in dit onderzoek ontwikkelde modellen zijn gekalibreerd. In bestaande veldproeven zijn in het voorjaar van 2010 grondmonsters gestoken op 27 percelen. Het landgebruik op de geselecteerde percelen bestond voor ~40% uit gras en voor ~60% uit akkerbouwgewassen. Van de 27 percelen zijn 7 percelen geclassificeerd als kleigrond. De overige percelen zijn zandgronden.

Analyses

Van het gestoken grondmonster is een submonster gedroogd en geanalyseerd op een basisset van bodemgegevens, waaronder C-totaal, N-totaal, NLV, pH, kleigehalte, WHC, CEC, EON, en ammonium en nitraat. In de monsters is bovendien HWC en EOC gemeten. Er zijn geen metingen gedaan aan de hoeveelheid BodemLeven (de door BLGG AgroXpertus ontwikkelde indicator).

Experimentele details

Een vochtig grondmonster (gezeefd over 5 mm) van elk perceel is geïncubeerd in polyethyleenzakjes (zakjes die wel door laatbaar zijn voor zuurstof en CO₂ maar niet voor water). Vooraf is het optimale vochtgehalte bepaald via een klassieke vuistregel dat het vochtgehalte bij veldcapaciteit overeenkomt met 55-60% van de vloeigrens. Het aantal zakjes per grondsoort bedraagt 8-10. De incubatie-temperatuur ligt op 20 °C. Na 0, 14, 84 en 140 dagen worden twee zakjes (duplo-meting) verwijderd en geanalyseerd op pH, NH₄, NO₃ en EON. De netto N mineralisatie kan vervolgens berekend worden als de toename in inorganisch N over de duur van de incubatie. Als de mineralisatiesnelheid constant is over de 140 dagen dan kan vervolgens de mineralisatiesnelheid worden berekend als de toename in

inorganisch N per dag. In de situatie dat de mineralisatiesnelheid afneemt gedurende de incubatietijd, dan kan deze snelheid geschat worden via het fitten van een eerste orde vergelijking.

Doel

Omdat de experimentele condities vergelijkbaar zijn met de condities die in het WU onderzoek zijn gebruikt om de 4 modellen te ontwikkelen die de N-beschikbaarheid kunnen voorspellen, kan dit experiment gebruikt worden om de gebruikte modellen te valideren. Validatie van de correctiefactoren is niet mogelijk omdat in dit geval alle correctiefactoren gelijk zijn aan één.

Variatie in bodemkenmerken

Er is een relatief grote variatie in bodemkenmerken aanwezig in dit experiment. De gemiddelde, minimum, en maximum waarden voor verschillende bodemkenmerken worden weergegeven in tabel 4.1. De gemeten mineralisatie over 140 dagen varieerde (afgerond) van 20 tot 245 mg kg⁻¹ grond, wat globaal overeenkomt met een N-levering van 25 tot 295 kg N ha⁻¹ (voor een bouwvoor van 10 cm).

Tabel 4-1 Variatie in bodemparameters in incubatie-experiment 2010

Bodemvariabele	Minimum	Gemiddelde	Maximum
N-totaal (g kg ⁻¹)	0,96	2,16	7,62
C-totaal (g kg ⁻¹)	8,6	32,5	101,4
NLV (kg ha ⁻¹)	25	126	250
EOC (mg kg ⁻¹)	63	179	681
EON (mg kg ⁻¹)	4,4	14	47
HWC (g kg ⁻¹)	0,23	1,55	4,30
C-N ratio (-)	9	15	24
Lutum (%)	<5	<5	45
Bodemleven (mg kg ⁻¹)	-	-	-

4.2.2 Incubatie experiment 2008

Experimenteel ontwerp

Dit experiment is uitgevoerd binnen het WU onderzoek en had als doel om relaties te leggen tussen bodemparameters en N-mineralisatie onder gecontroleerde temperatuur en vochtgehaltes. In het voorjaar van 2008 zijn op 5 graslandpercelen (vroeg voorjaar), 18 continue maïspercelen (normaal voorjaar), en 12 aardappelpercelen (laat voorjaar) intacte grondkolommen verzameld; circa één tot twee weken voor de 'eerste' bemesting/ zaaien/ poten. Dit gebeurde door PVC-buizen (diameter 10 cm, lengte 30 cm) in de grond te drukken/slaan zonder de bodemstructuur teveel te verstoren. Na vervoer zijn deze PVC-buizen afgesloten door gebruik te maken van plastic afdekkingsmateriaal waarin enkele gaten waren geprikt voor gasuitwisseling met de atmosfeer. Het vochtgehalte in de buizen werd op veldcapaciteit gebracht (door of in te drogen of water toe te dienen) en voor 2 weken weggezet bij lage temperatuur om op evenwicht te komen. Na deze pre-incubatieperiode zijn de monsters geïncubeerd bij de gemiddelde maandtemperatuur. De grondmonsters zijn geïncubeerd over een periode van 100 (grasland) tot 150 dagen (aardappel). De PVC-buizen werden bij temperaturen lager dan 10°C elke twee weken gewogen en indien nodig op gewicht gebracht door water toe te voegen (correctie voor de verdamping). Bij hogere temperaturen werd het vochtgehalte wekelijks gecontroleerd en aangepast.

Analyses

Van het gestoken grondmonster is een submonster gedroogd en geanalyseerd op een basisset van bodemgegevens, waaronder C-totaal, N-totaal, NLV, pH, kleigehalte, WHC, CEC, EOC, EON, en ammonium en nitraat. In de monsters is geen HWC of BodemLeven (BLGGAgroXpertus-indicator) gemeten.

Doel

Dit experiment was opgezet om de temperatuursafhankelijkheid van N-mineralisatie onder semi-natuurlijke omstandigheden te simuleren. De grondmonsters werden in situ gestoken; dit in tegenstelling tot de standaard incubatie experimenten waarbij een gezeefd (< 2 of 5 mm) veldvochtig of gedroogd grondmonster gebruikt wordt. Deze dataset is daarmee geschikt om te testen of de combinatie van bodemgegevens met een temperatuurscorrectie in staat is om de N-mineralisatie betrouwbaar te schatten.

Variatie in bodemkenmerken

Er was een relatief grote variatie in bodemkenmerken aanwezig in dit experiment. De gemiddelde, minimum-, en maximumwaarden voor verschillende bodemkenmerken worden weergegeven in tabel 4.1. De gemeten mineralisatie over 100 tot 140 dagen varieerde (afgerond) van 20 tot 121 mg kg⁻¹ grond, wat globaal overeenkomt met een N-levering van 24 tot 145 kg N ha⁻¹.

Tabel 4-2 Variatie in bodemparameters in incubatie-experiment 2008.

Bodemvariabele	Minimum	Gemiddelde	Maximum
N-totaal (g kg ⁻¹)	0,51	2,14	5,86
C-totaal (g kg ⁻¹)	0,71	2,72	6,76
NLV (kg ha ⁻¹)	10	93	230
EOC (mg kg ⁻¹)	40	160	531
EON (mg kg ⁻¹)	2,8	11,8	33,4
HWC (g kg ⁻¹)	-	-	-
C-N ratio (-)	8	14	24
Lutum (%)	<5	14	65
Bodemleven (mg kg ⁻¹)	-	-	-

4.2.3 Veldexperiment 2010

Experimenteel ontwerp

Binnen het kader van een project naar de voordelen van het telen van maïs onder folie is op een drietal percelen de N-mineralisatie gemeten in het veld. De proef is uitgevoerd in Friesland, op twee kleigronden en één zandgrond. De beide kleigronden waren ingezaaid met gras; de graszode is ondergewerkt voor het zaaien van de maïs. De percelen hadden een goede P- en K-toestand en een hoge tot zeer hoge NLV. Op elke boerderij is zowel maïs onder folie als maïs traditioneel geteeld (open). De N-mineralisatie in het veld is op twee manieren gemeten: 1) meting van de potentiële N-mineralisatie onder veldcondities (constant vochtgehalte, variërende temperatuur) en 2) meting van de actuele mineralisatie in het veld (variatie in vochtgehalte en temperatuur). Voor deze validatie wordt alleen gebruikt gemaakt van de eerste meting, omdat er in het veld geen nulveldjes waren aangelegd. Nadat voor het zaaien grondmonsters zijn gestoken, zijn deze gehomogeniseerd en op een optimaal vochtgehalte gebracht. De gehomogeniseerde grond is vervolgens in polyethyleen zakjes gedaan en

deze zijn vervolgens teruggebracht naar het veld en aangebracht op een diepte van circa 5 cm. Na 3, 6, 9 en 13 weken zijn er zakjes verwijderd en geanalyseerd op de verandering in N_{min}. Tijdens het veldonderzoek is de bodemtemperatuur en het vochtgehalte gemeten via in het veld geïnstalleerde sensoren. Voor meer informatie verwijzen we naar het rapport 'Maïs onder folie' (Bussink et al., 2010).

Doel

Dit experiment was opgezet om het effect van een verhoogde bodemtemperatuur op de N-mineralisatie en de N-opname te kwantificeren. Omdat bovendien het bodemvocht en de bodemtemperatuur zijn gemeten, is het mogelijk om de hier verkregen informatie te gebruiken voor validatie.

Variatie in bodemkenmerken

De relevante bodemgegevens van de drie percelen worden weergegeven in Tabel 4-3.

Tabel 4-3 Variatie in bodemparameters in veld experiment 2010

Bodemvariabele	Perceel 1 (Pander)	Perceel 2 (Feenstra)	Perceel 3 (De Jong)
N-totaal (g kg ⁻¹)	2,16	7,62	4,45
C-totaal (g kg ⁻¹)	3,25	9,69	5,10
NLV (kg ha ⁻¹)	170	250	160
EOC (mg kg ⁻¹)	181	664	681
EON (mg kg ⁻¹)	15,9	45,5	466
HWC (g kg ⁻¹)	1,55	4,30	3,71
C-N ratio (-)	15	13	11
Lutum (%)	<5	41	45
Bodemleven (mg kg ⁻¹)	-	-	-

4.2.4 Dataset Zorg voor Zand

Experimenteel ontwerp

Het project 'Zorg voor Zand' was een samenwerkingsproject van NMU, ASG-WUR en het Louis Bolk Instituut. Het project liep van 2004-2008 en was gefinancierd door het Productschap Zuivel. Het project moest een bijdrage leveren aan het ontwikkelen van kennis en identificatie van maatregelen om de bodemkwaliteit en daarmee de grasopbrengst op zandgrond te kunnen sturen/ verbeteren. De gegevens die gebruikt zijn in deze validatie zijn gebaseerd op 20 veldproeven die in 2006 in Drenthe zijn uitgevoerd.

Analyses

Binnen dit onderzoek zijn een heel aantal bodemparameters geanalyseerd. Dit zijn o.a. het organische stof gehalte, dichtheid, pH, P- en K-gehaltes, bodemleven, EOC, HWC, EON, NH₄, NO₃, totaal C, totaal N en NLV. De opbrengst en N-gehaltes zijn gevolgd over 3-4 sneden.

Variatie in bodemkenmerken

Er was een relatief grote variatie in bodemkenmerken aanwezig in dit experiment (Tabel 4.4.), alhoewel er alleen zandgronden zijn meegenomen in dit experiment. Bovendien is het organischstofgehalte overwegend hoog (gem. 5%). De N-opname over ~115 dagen varieerde (afgerond) van 55 tot 160 kg ha⁻¹.

Tabel 4-4 Variatie in bodemparameters in experiment Zorg voor Zand

Bodemvariabele	Minimum	Gemiddelde	Maximum
N-totaal (g kg ⁻¹)	0,84	2,04	2,94
C-totaal (g kg ⁻¹)	2,31	3,41	4,88
NLV (kg ha ⁻¹)	59	133	188
EOC (mg kg ⁻¹)	67	112	193
EON (mg kg ⁻¹)	7,5	12,2	20,4
HWC (g kg ⁻¹)	0,85	1,42	2,11
C-N ratio (-)	8,9	17,5	27,7
Lutum (%)	1	3	6
Bodemleven (mg kg ⁻¹)	94	135	181

4.2.5 Veldexperiment K-proef 2011

Experimenteel ontwerp

Het NMI heeft samen met Livestock Research in 2011 een K-proef uitgevoerd als onderdeel van een tweejarig onderzoeksproject met als doel het ontwikkelen van een K-bemestingsadvies dat adequaat rekening houdt met diverse factoren en nutriënten in de bodem die de beschikbaarheid van K beïnvloeden. Een van deze factoren is de interactie met stikstof. Op 12 praktijkbedrijven (4 op zand, 2 op kalkrijke klei, 2 op niet kalkrijke klei, 2 op veen grond, 2 op klei op veen) zijn (naast enkele K-gerelateerde behandelingen) per bedrijf 2 nulveldjes aangelegd waarna vervolgens de opbrengst en nutriëntenopname van gras zijn gevolgd voor de eerste 2 sneden. De resultaten van deze nulveldjes zijn gebruikt in dit onderzoek.

Analyses

Binnen het K-onderzoek zijn een heel aantal bodemparameters geanalyseerd. Dit zijn o.a. het organische stof gehalte, het C- en N-gehalte, de CEC, het kleigehalte, en een indicatie voor het BodemLeven. Er zijn geen extraheerbare organische C- en N-fracties bepaald als HWC, EOC of EON.

Variatie in bodemkenmerken

Er was een relatief grote variatie in bodemkenmerken aanwezig in dit experiment. De gemiddelde, minimum, en maximum waarden voor verschillende bodemkenmerken worden weergegeven in tabel 4.5. De N-opname over ~40 tot 150 dagen varieerde (afgerond) van 15 tot 190 kg ha⁻¹.

Tabel 4-5 Variatie in bodemparameters in experiment K-proef 2011

Bodemvariabele	Minimum	Gemiddelde	Maximum
N-totaal (g kg ⁻¹)	1,00	4,60	10,0
C-totaal (g kg ⁻¹)	1,10	5,80	15,0
NLV (kg ha ⁻¹)	73	185	250
EOC (mg kg ⁻¹)	-	-	-
EON (mg kg ⁻¹)	-	-	-
HWC (g kg ⁻¹)	-	-	-
C-N ratio (-)	9	13	18
Lutum (%)	1	7	31
Bodemleven (mg kg ⁻¹)	32	145	274

5 Validatie vernieuwd NLV advies: resultaten

5.1 Inleiding

Zoals in het vorige hoofdstuk is toegelicht, is het vernieuwde NLV-advies gevalideerd op een 5-tal datasets. Dit zijn achtereenvolgens een:

- incubatie-experiment met 27 grondmonsters, uitgevoerd in 2010;
- incubatie-experiment met 35 grondmonsters, uitgevoerd in 2008;
- incubatie-experiment in het veld, uitgevoerd in 2010;
- veldexperiment met 20 nulveldjes, uitgevoerd in 2006; en
- veldexperiment met 24 nulveldjes, uitgevoerd in 2011.

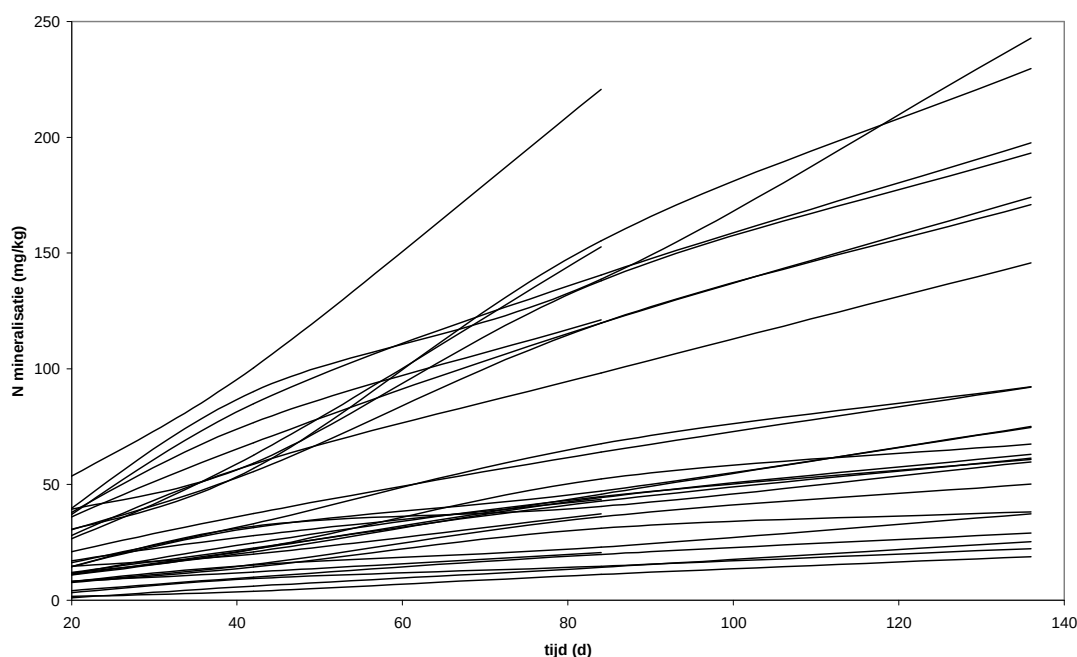
Per experiment zullen de volgende zaken worden toegelicht:

- een korte beschrijving van de N-mineralisatie;
- een analyse hoe de verschillende bodemeigenschappen met elkaar – en de gemeten of geschatte N-mineralisatie – samenhangen; en
- de resultaten van de validatie.

5.2 Incubatie-experiment 2010

5.2.1 Beschrijving N mineralisatie

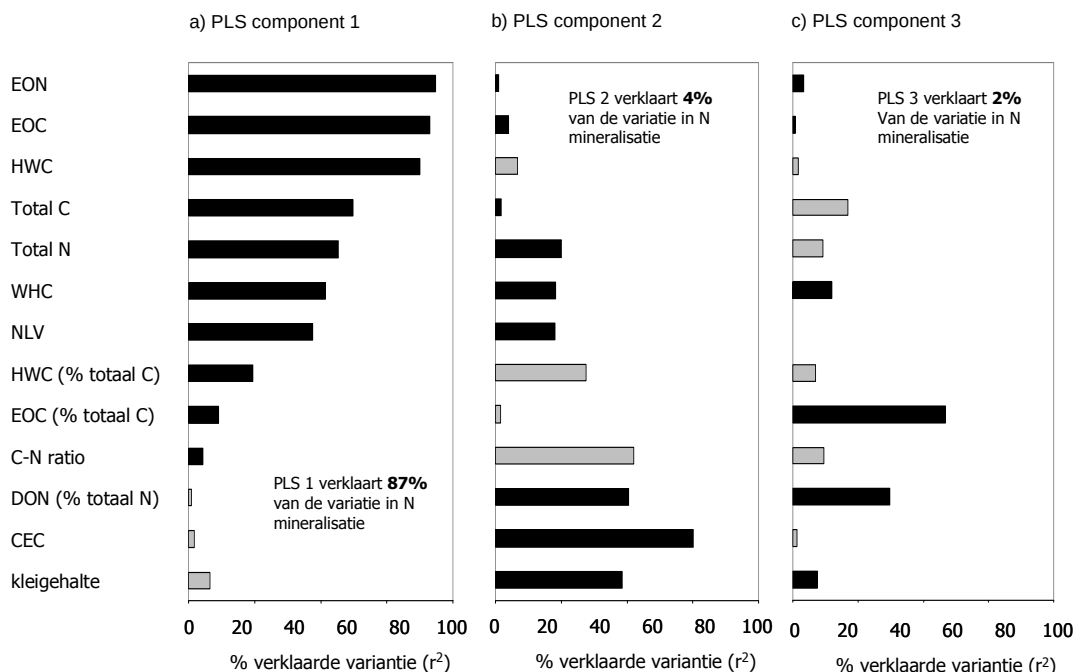
De gemeten mineralisatie over 140 dagen varieerde (afgerond) van 20 tot 245 mg kg⁻¹ grond, wat globaal overeenkomt met een N-levering van 25 tot 295 kg N ha⁻¹ (voor een bouwvoor van 10 cm). Het N verloop gedurende de 140 dagen wordt gevisualiseerd in figuur 5-1.



Figuur 5-1. Gemeten mineralisatie (in mg kg⁻¹) in 27 gronden over een periode van 135 dagen (van 6 gronden is het laatste meetpunt vervallen door verlies grondmonsters)

5.2.2 Relaties tussen gemeten bodemparameters

Gebruik maken van multivariate PLS-analyse is onderzocht welke combinatie van factoren de mineralisatiesnelheid het sterkst beïnvloedt (voor een toelichting van deze statistische techniek, zie Ros et al. (2011)).



Figuur 5-2. Resultaten PLS-analyse incubatie experiment 2010.

Uit de gegevens in figuur 5-2 blijkt dat het grootste deel van de variatie in mineralisatiesnelheid afhangt van de variatie in parameters die gerelateerd zijn aan het organischstofgehalte in de bodem. De beste voorspeller is daarbij de hoeveelheid organisch N of C in een CaCl_2 bodemtest of de hoeveelheid C in een heet water extract. Beide variabelen verklaren >90% van de variatie in de eerste component. Dit suggereert dat de drie fracties een goede indicatie geven van de potentiële hoeveelheid mineraliseerbaar N. De beide overige componenten (PLS component 2 en 3) zijn waarschijnlijk gerelateerd aan de bodemtextuur (component 2) en organische stof kwaliteit (componenten 2 en 3). Wanneer beide componenten worden gecombineerd dan verklaren ze 6% van de variatie in potentieel mineraliseerbaar N.

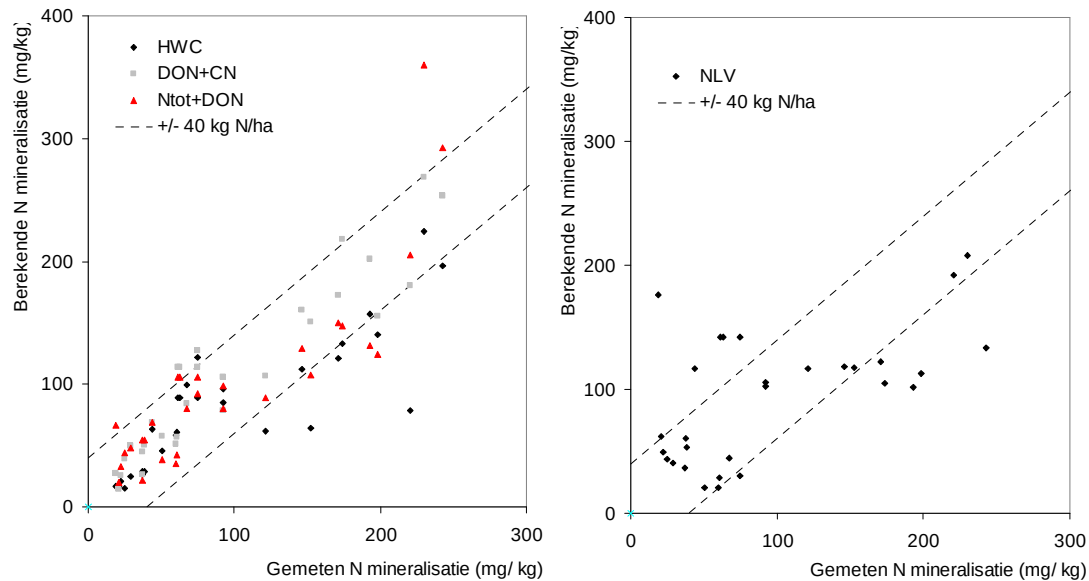
5.2.3 Validatie ontwikkelde mineralisatie modellen

Zoals eerder beschreven zijn er 4 modellen ontwikkeld die gebaseerd op bodemgegevens een inschatting kunnen geven van de potentiële mineralisatiesnelheid. Dit zijn samenvattend:

1. $\text{LN}(\text{N}_{\text{beschikbaar}} (140 \text{ dagen})) = 4,111 + 0,914 * \text{LN}(\text{HWC})$ ($R^2=0,80$; $\text{SEP}=0,319$)
2. $\text{LN}(\text{N}_{\text{beschikbaar}} (140 \text{ dagen})) = 1,797 + 0,619 * \text{LN}(\text{BFI})$ ($R^2=0,76$; $\text{SEP}=0,347$)
3. $\text{LN}(\text{N}_{\text{beschikbaar}} (140 \text{ dagen})) = 1,559 + 1,085 * \text{LN}(\text{N}_{\text{tot}}) + 0,671 * \text{LN}(\text{EON} (\% \text{ N}_{\text{tot}}))$ ($R^2=0,66$; $\text{SEP}=0,412$)
4. $\text{LN}(\text{N}_{\text{beschikbaar}} (140 \text{ dagen})) = 0,003 + 0,945 * \text{LN}(\text{EON}) + 0,791 * \text{LN}(\text{CN})$ ($R^2=0,69$; $\text{SEP}=0,476$)

In dit experiment is BFI niet gemeten, zodat model 2 niet gevalideerd kan worden. De overige variabelen zijn wel gemeten. De voorspelde N-mineralisatie is vervolgens gevalideerd op het hierboven beschreven

experiment. De resultaten van deze validatie worden weergegeven in figuur 5-3.



Figuur 5-3. Validatie resultaten incubatie-experiment 2010

Er is een goed verband tussen de berekende en gemeten N-mineralisatie wanneer gebruik gemaakt wordt van een model gebaseerd op HWC ($R^2=70\%$), EON+CN ($R^2=89\%$) of totaal N+EON(%N-totaal) ($R^2=72\%$). Gebruik makend van het huidige NLV is het verband matig: het percentage verklaarde variantie bedraagt 33%. Desondanks bedraagt in het merendeel van de gronden het verschil tussen de berekende en gemeten N-mineralisatie minder dan 40 kg N ha^{-1} .

De fout op de voorspelling is het kleinst bij het model gebaseerd op EON+CN: de standaard fout op de voorspelling afwijking bedraagt 24 mg kg^{-1} . Hierbij wordt de werkelijke mineralisatie met circa 8% onderschat. Voor de modellen die gebaseerd zijn op HWC of N-totaal+EON is de fout op de voorspelling $38\text{-}39 \text{ mg kg}^{-1}$ en wordt de werkelijke mineralisatie met 17% overschat (HWC) dan wel met 10% onderschat (N-totaal+EON). Gebruik makend van de huidige NLV wordt de gemeten mineralisatie met 2% onderschat, maar de voorspelde fout bedraagt 58 mg kg^{-1} .

Concluderend kan gesteld worden dat alle geteste modellen een betere voorspelling geven dan het huidige NLV; in het bijzonder de ruis rond de voorspelde mineralisatie wordt significant lager. Van de drie geteste modellen levert het model met een combinatie van EON en CN het beste resultaat over het hele traject.

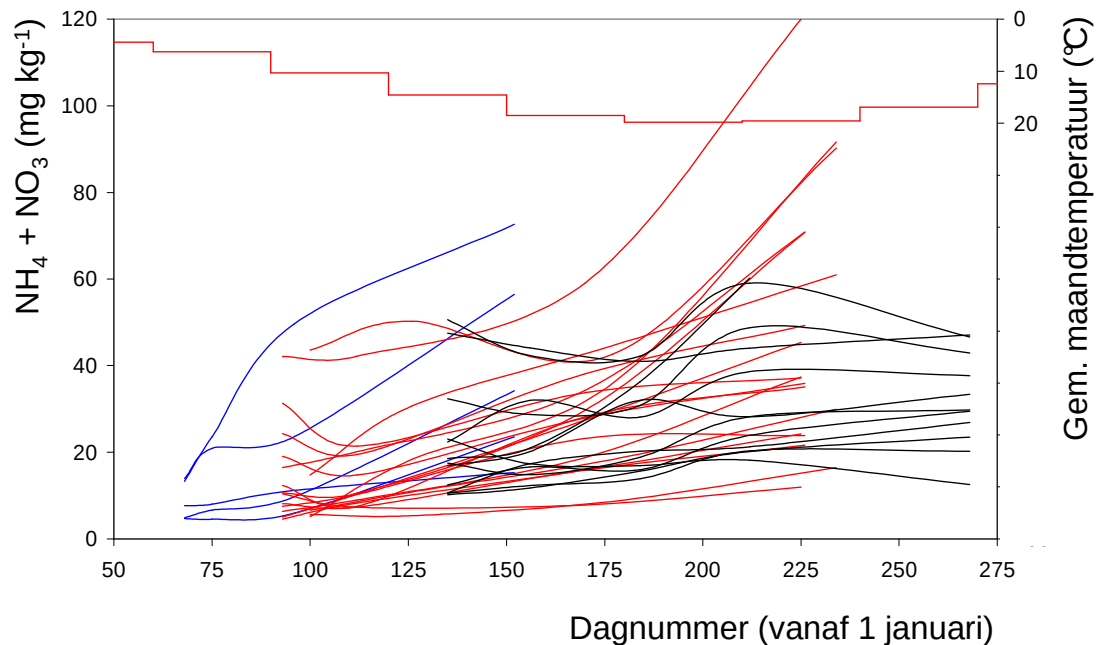
5.3 Incubatie-experiment 2008

5.3.1 Beschrijving N-mineralisatie

De gemeten mineralisatie over 140 dagen varieerde (afgerond) van 20 tot 121 mg kg^{-1} grond, wat overeenkomt met een hoeveelheid beschikbaar N variërend van 24 tot 145 kg N ha^{-1} (Figuur 4-4). De resultaten van alle grondmonsters worden zichtbaar gemaakt in figuur 5-4. Op de x-as staat het dagnummer geteld vanaf 1 januari 2008. Op de linkse y-as staat de hoeveelheid inorganisch N (ammonium + nitraat) uitgedrukt in mg kg^{-1} grond. Op de rechtse y-as staat de gemiddelde

bodemtemperatuur, weergegeven als de rode lijn in het figuur. Bij deze temperatuur zijn de verschillende bodems geïncubeerd.

Het experiment was zo opgezet dat voor het zaaien/ poten/ bemesting grondmonsters waren genomen. Dit betekent dat de variatie in bodemtemperatuur verschilt tussen de graslandmonsters (blauwe lijn), maïsmonsters (rode lijn), en aardappelmonsters (zwarte lijn).



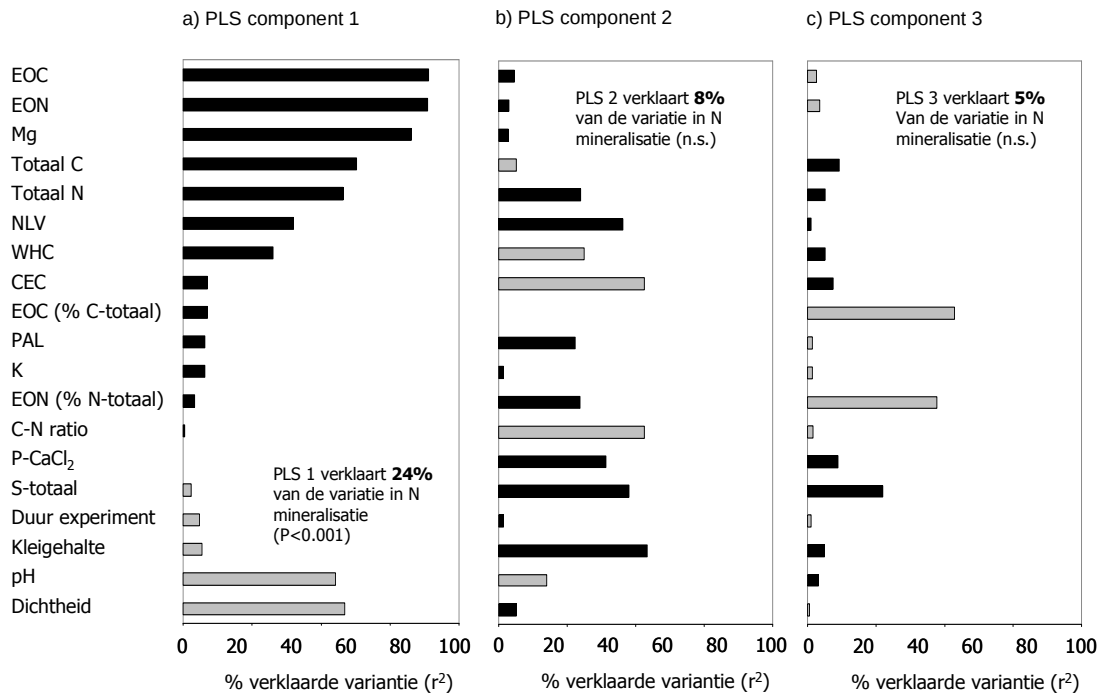
Figuur 5-4. Variatie in bodemmineralisatie bij de verschillende gronden en de gehandhaafde bodemtemperatuur gedurende het incubatie-experiment. Rode lijnen zijn maïsgronden, zwarte lijnen aardappelgronden en blauwe lijnen staan voor graslandgronden. Rechters is de temperatuur.

De grootste mineralisatie treedt op bij gras en maïspcelen, wat waarschijnlijk samenhangt met het veelvuldig gebruik van dierlijke mest en de aanwezigheid van een graszode. Bovendien zijn in dit experiment de meeste gras- en maïspcelen op zandgronden gelegen (55% bij gras, 75% bij maïs). De aardappelmonsters komen uit het poldergebied en zijn daarom allemaal kleigronden (lichte klei tot zware zavel).

Niet zichtbaar in deze figuur is het feit dat er een aanzienlijke variatie aanwezig is tussen de herhalingen ($n=3$). Deze variatie hangt sterk samen met de ruimtelijke variatie die aanwezig is op het perceel.

5.3.2 Relaties tussen gemeten bodemparameters

Gebruik maken van multivariate PLS-analyse is onderzocht welke combinatie van factoren de mineralisatiesnelheid het sterkst beïnvloedt. De mineralisatiesnelheid is in dit experiment gedefinieerd als de gemiddelde toename in inorganisch N over de duur van het experiment.



Figuur 5-5. Resultaten PLS analyse incubatie experiment 2008

Uit de gegevens in figuur 5-5 blijkt dat het grootste deel van de variatie in mineralisatiesnelheid afhangt van bodemeigenschappen die samenhangen met het organischstofgehalte. De labiele organische stof fracties verklaren daarbij meer van de variatie in de eerste component dan de totale hoeveelheid N of de daarvan afgeleide NLV. Duidelijk is echter ook dat de voorspellende waarde van bodemeigenschappen in dit experiment veel lager liggen dan in het hiervoor besproken experiment (paragraaf 5.2). In dit experiment wordt slechts 24+8+5=37% van de variatie in N-mineralisatie verklaard door de gemeten bodemeigenschappen. De grootste verschillen tussen beide experimenten zijn dat er:

- een invloed is van variërende temperatuur die niet voor elke grondmonster even groot is (afhankelijk van de startdatum);
- een grote mate van ruimtelijke variatie is die bij incubatie in zakjes verdwijnt door het homogeniseren van de grond;
- sprake is van een grotere variatie in vochtgehalte (in de zakjes van polyetheen is geen vochtverlies mogelijk), met een risico van eventuele verliezen wanneer teveel vocht wordt toegediend; en
- in enkele gevallen (n=3) sprake was van immobilisatie: de gegevens van deze gronden zijn niet meegenomen in de regressie analyse.

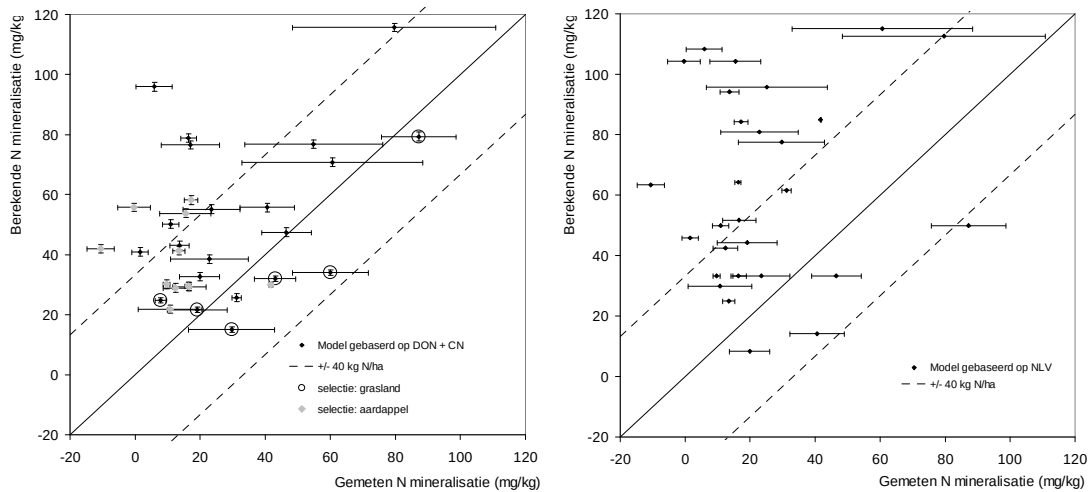
Desondanks blijkt uit figuur 5-5 dat gebruik van labiele organische stof fracties meer verklaren dan de totale hoeveelheid stikstof in de bodem, en ook in vergelijking met het daarvan afgeleide NLV. De variabelen HWC (koolstof gemeten in heet water extract) en BFI (Bodemindicator van BLGG) waren in dit experiment niet meegenomen.

5.3.3 Validatie ontwikkelde mineralisatie modellen

Zoals eerder beschreven zijn er 4 modellen ontwikkeld die gebaseerd op bodemgegevens een inschatting kunnen geven van de potentiële mineralisatiesnelheid. Omdat HWC en BFI in dit experiment niet zijn meegenomen zijn alleen de modellen getoetst die gebaseerd zijn op 1) een combinatie van

N_{totaal} en EON en 2) een combinatie van EON en de CN-ratio.

De resultaten van deze validatie worden weergegeven in figuur 5-6. Omdat de resultaten voor beide modellen erg op elkaar lijken, is gekozen om alleen de resultaten van optie 2 (combinatie EON en CN-ratio) weer te geven.



Figuur 5-6. Validatie resultaten incubatie experiment 2008 (links: vernieuwd NLV; rechts huidig NLV)

Vanwege de grote spreiding in de gemeten N-mineralisatie waarden, en de relatief kleine variatie in N-mineralisatie (de meeste gronden hebben een N-levering van 10 tot 60 mg kg⁻¹) is er geen significant verband tussen de gemeten en berekende N-mineralisatie ($R^2 < 10\%$). Wel blijkt uit figuur 5-6 dat de nieuwe aanpak tot betere resultaten leidt in vergelijking met het huidige NLV: de afwijking van de 1:1-lijn is voor de meeste monsters kleiner. De standaardfout op de voorspelling is 22-23 mg kg⁻¹ voor het model gebaseerd op EON + CN en het model gebaseerd op N-totaal + EON.

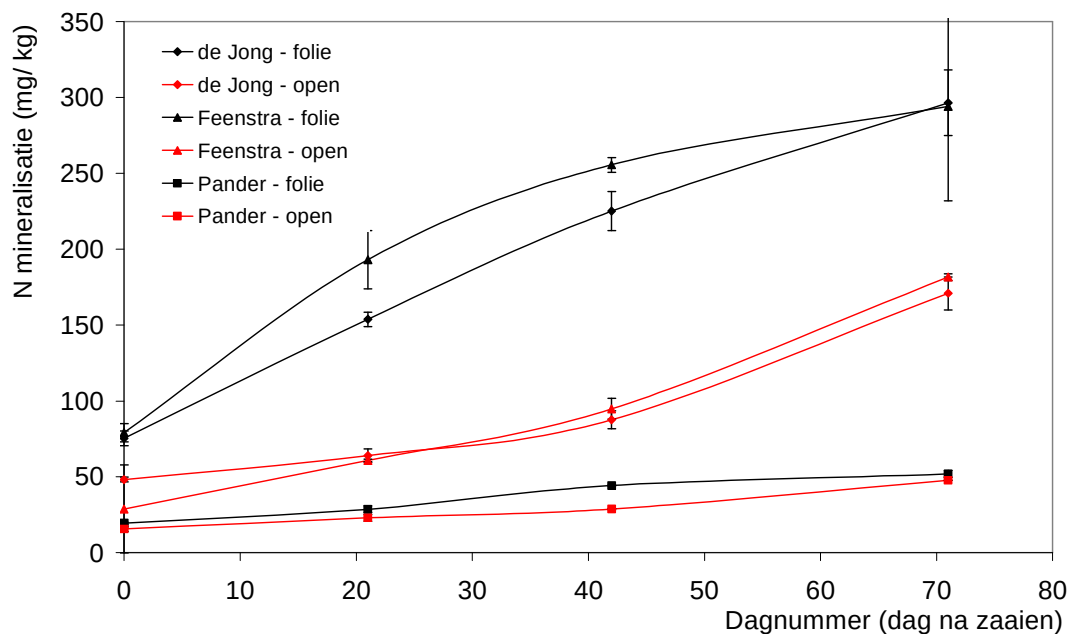
5.4 Veldexperiment 2010 maïs

5.4.1 Beschrijving N-mineralisatie

De hoeveelheid N dat onder optimaal vochtgehalte via mineralisatie beschikbaar kan komen varieert tussen ~40 en ~300 mg kg⁻¹ (Figuur 5-7). Voor bouwland betekent dit dat er circa 144 tot 750 kg N ha⁻¹ beschikbaar kan komen (let wel: bij een optimaal en constant vochtgehalte). De hoogte van deze N-beschikbaarheid hangt samen met het feit dat er voor de teelt een graszode is ondergeploegd wat resulteert in een flinke toename van de labiele hoeveelheid organische stof. Tegelijkertijd is het vochtgehalte constant en op een optimaal niveau gehouden voor N-mineralisatie.

De actuele N-opname in maïs bedroeg 140 tot 250 kg N ha⁻¹. Het verschil tussen de potentiële N-beschikbaarheid en actuele N-opname laat zien hoe belangrijk vocht is voor zowel de N-mineralisatie als de werkelijke N-opname van het gewas. Er is bovendien een duidelijk verschil tussen de behandelingen 'open' en 'folie'³: de extra N-mineralisatie bedraagt > 75 mg kg⁻¹. Omdat de zakjes dicht zijn en geen vocht doorlaten kan dit alleen het gevolg zijn van het verschil in temperatuur.

³ 'open' staat voor maïs teelt zonder folie, 'folie' staat voor een teelt waarbij de eerste maanden van het groeiseizoen de bodem bedekt is met folie om zo een hogere bodemtemperatuur te creëren (zie 4.2.3).

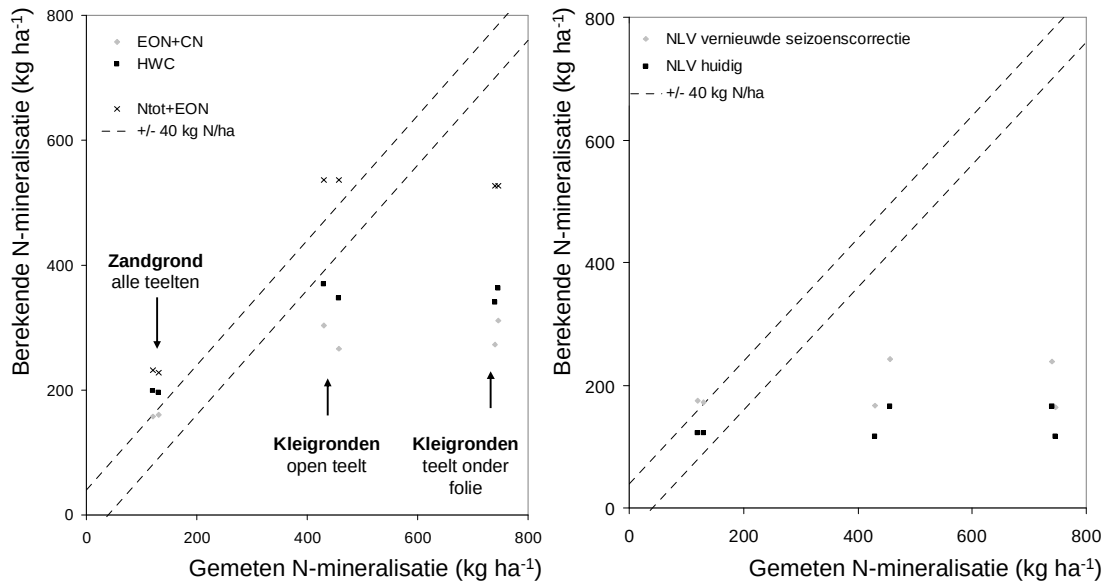


Figuur 5-7. Gemeten N-mineralisatie in de veldproeven onder maïs (open is lagere temperatuur, folie is hogere bodemtemperatuur). Grondmonsters zijn in het veld geïncubeerd bij optimaal vochtgehalte en fluctuerende temperatuur.

5.4.2 Validatie ontwikkelde mineralisatie modellen

Zoals eerder beschreven zijn er 4 modellen ontwikkeld die gebaseerd op bodemgegevens een inschatting kunnen geven van de potentiële mineralisatiesnelheid. Omdat in dit experiment de BodemLeven indicator (BFI) niet is gemeten, kan deze niet worden gevalideerd. Voor dit experiment worden daarom alleen de modellen meegenomen die gebruik maken van 1) HWC, 2) een combinatie van N_{totaal} en EON, en 3) een combinatie van EON en de CN-ratio.

De voorspelde N-mineralisatie is vervolgens gevalideerd op het hierboven beschreven experiment. De resultaten van deze validatie worden weergegeven in figuur 5-8.



Figuur 5-8. Validatie resultaten veldexperiment 2010 (links: NLV nieuw; rechts huidig NLV)

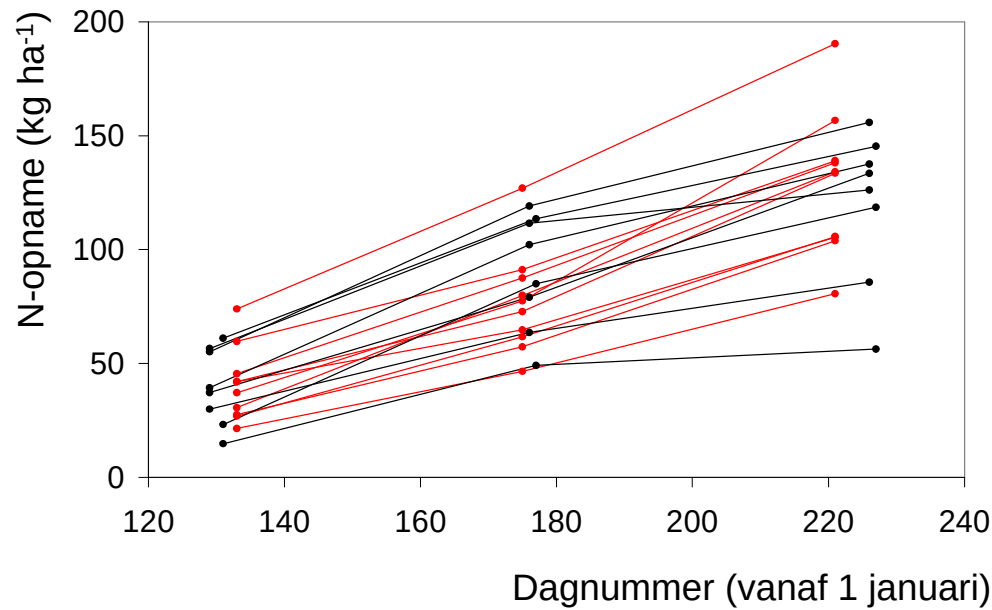
De N-beschikbaarheid wordt in figuur 5-8 weergegeven in kg ha^{-1} : de totale N-mineralisatie varieert van 144 tot 750 kg ha^{-1} . Dit benadrukt allereerst dat het onderploegen van een graszode en fluctuaties in het vochtgehalte een groot effect hebben op de hoeveelheid N die beschikbaar kan komen via mineralisatie. Tegelijk is zichtbaar dat een hogere temperatuur een significante invloed heeft op de N-mineralisatie, in het bijzonder bij de kleigronden. Door de hoge N-mineralisatie in deze grondmonsters is uiteraard de foutenmarge rond de gemeten waarde groot. Desondanks wordt met de huidige en vernieuwde aanpak de N-mineralisatie (sterk) onderschat in de kleigronden. Voor de open teelt op kleigronden kan de gemeten N-beschikbaarheid relatief nauwkeurig worden geschat; het gebruik van totaal N in combinatie van EON leidt voor tot het beste resultaat. In vergelijking met het huidige NLV-concept is er sprake van een significante verbetering. Het toepassen van de verbeterde seizoenscorrectie maakt de voorspelling beter, maar is niet in staat om de onderschatting op te heffen.

5.5 Dataset Zorg voor Zand

5.5.1 Beschrijving N-mineralisatie

De N-opname in onbemeste percelen varieert van 55 tot 190 kg N ha^{-1} (Figuur 5-9). Deze N-opname is berekend als de cumulatieve N-opname over de eerste drie sneden. De groeiperiode bedraagt 108 tot 115 dagen. Duidelijk zichtbaar is dat in de meeste gevallen de bijdrage van de bodem relatief constant is. Dit suggereert dat de N-mineralisatie met een vaste snelheid is verlopen of dat de aanwezigheid van stikstof niet de meest beperkende factor was voor gewasgroei.

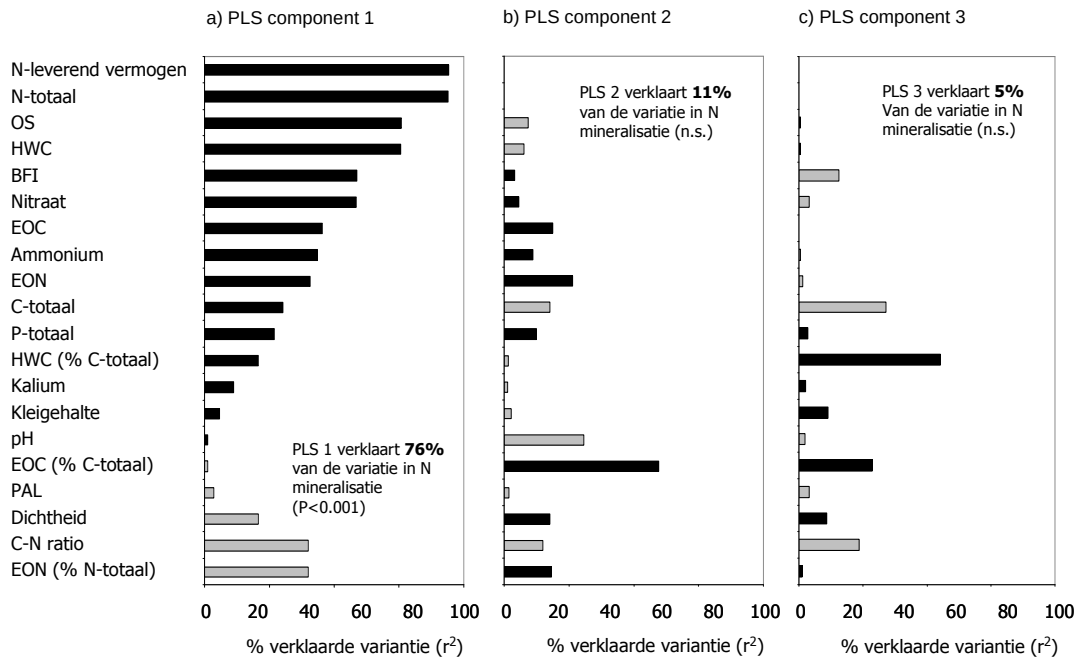
Er is geen verschil waarneembaar tussen de proeven uitgevoerd in de regio's rond Aver Heino (rode lijnen) of Vredepeel (zwarte lijnen).



Figuur 5-9. Gemeten N-opname in onbemeste grasveldjes; cumulatief in 3 sneden).

5.5.2 Relaties tussen gemeten bodemparameters

Gebruik maken van multivariate PLS-analyse is onderzocht welke combinatie van bodemfactoren de N-opname op een onbemest veldje het sterkst beïnvloedt. De resultaten van deze analyse zijn samengevat in figuur 5-10.



Figuur 5-10. Resultaten PLS-analyse dataset Zorg voor Zand.

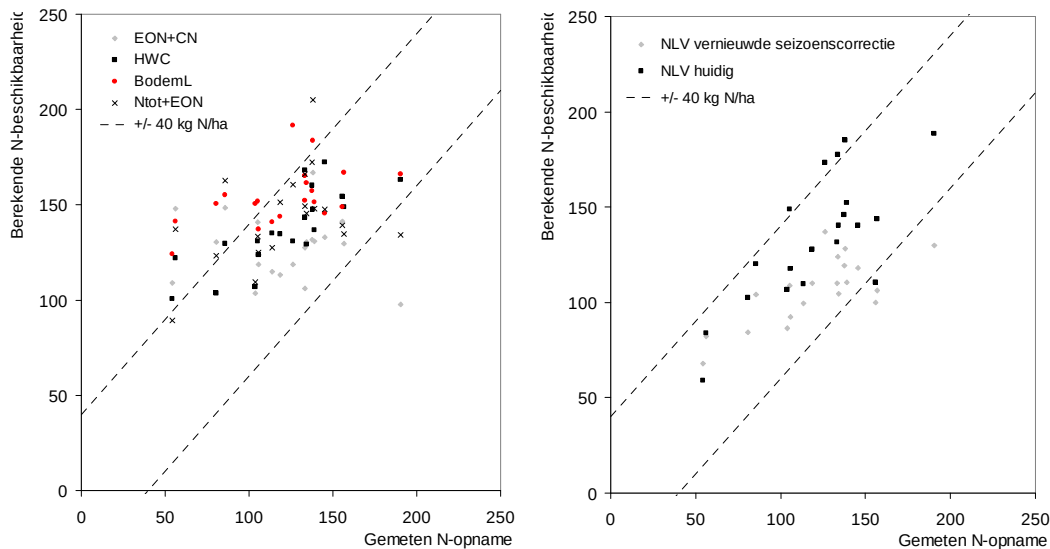
De belangrijkste factoren die de N-opname in een onbemest veldje beïnvloeden zijn gerelateerd aan het organischstofgehalte van de bodem (PLS-component 1). Deze factoren verklaren circa 76% van de variatie in de N-opname. Het is opvallend dat – in tegenstelling tot alle andere experimenten – het N-totaalgehalte (en de daarvan afgeleide NLV) veel sterker gerelateerd zijn aan de N-opname dan alle

overige variabelen. Er is bovendien een negatief verband aanwezig tussen N-totaal en de C-N ratio, wat suggereert dat de kwaliteit van de organische stof in gronden toeneemt met de hoeveelheid N-totaal. Een vergelijkbaar beeld is zichtbaar voor de relatieve hoeveelheid EON, een maat die gebruikt wordt als indicator voor de hoeveelheid labiel organisch N. De relatie tussen OS kwaliteit en N-totaal hangt waarschijnlijk samen met het feit dat de grondmonsters in twee specifieke regio's zijn genomen met een eigen geschiedenis. Er is geen eenduidige relatie tussen PLS-component 2 en de geanalyseerde bodemparameters. De beste link is te zien voor de relatieve hoeveelheid EOC.

5.5.3 Validatie ontwikkelde mineralisatie modellen

Zoals eerder beschreven zijn er 4 modellen ontwikkeld die gebaseerd op bodemgegevens een inschatting kunnen geven van de potentiële mineralisatiesnelheid. Deze 4 modellen zijn achtereenvolgens gebaseerd op 1) HWC, 2) BodemLeven, 3) een combinatie van N_{totaal} en EON of 4) een combinatie van EON en de CN-ratio.

De voorspelde N-mineralisatie is vervolgens gevalideerd op het hierboven beschreven experiment. De resultaten van deze validatie worden weergegeven in figuur 5-11.



Figuur 5-11. Validatie resultaten veldexperiment Zorg voor Zand. In de linker figuur staan de resultaten van de 4 geteste modellen gebaseerd op 1) HWC, 2) BodemLeven, 3) een combinatie van N_{totaal} en EON of 4) een combinatie van EON en de CN-ratio. De rechter figuur de resultaten laat zien voor het huidige NLV en een aangepaste versie van het NLV (andere seizoenscorrectie).

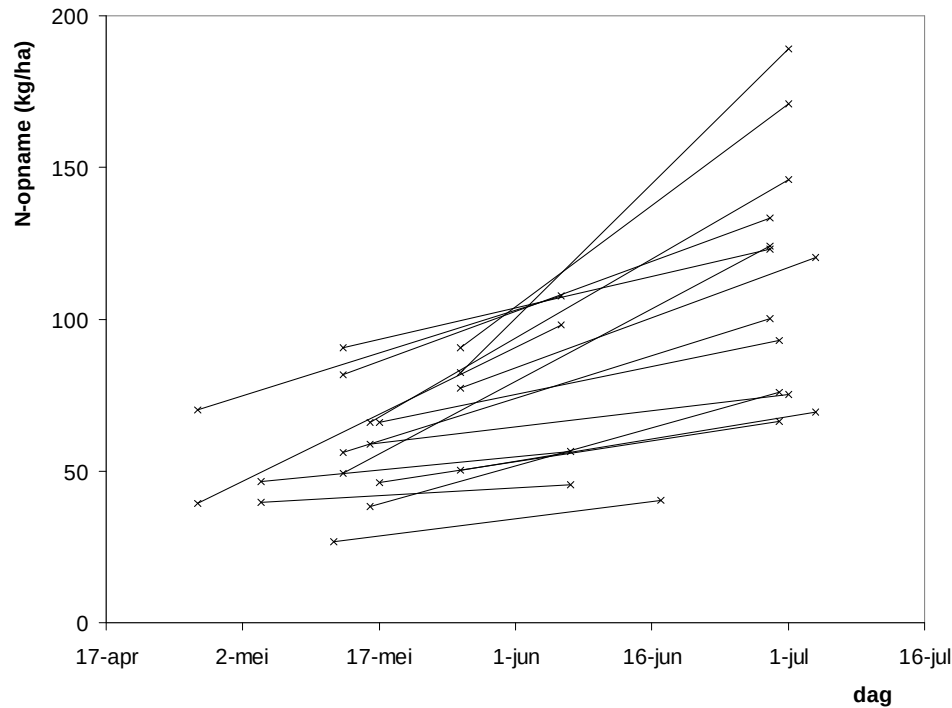
De gemeten N-opname op deze zandgronden wordt goed geschat met het huidige NLV-advies. De resultaten van dit onderzoek betreffen het jaar 2006, een jaar dat gekenmerkt werd door een relatief hoge temperatuur. Aanpassing van de seizoenscorrectie verandert een lichte overschatting in een lichte onderschatting, in het bijzonder voor percelen met een N-opname hoger dan 130 kg N ha^{-1} .

Het gebruik van labiele N- of C-fracties in dit onderzoek leidt niet tot relevante verbeteringen in de voorspelde N-opname. Het gebruik van labiele N- of C-fracties levert een vergelijkbaar resultaat op bij zandgronden met een N-opname hoger dan 100 kg N ha^{-1} . De N-opname op percelen met een lagere N-opname worden structureel overschat. De reden hiervoor is onbekend.

5.6 Dataset veldexperiment K-proef 2011

5.6.1 Beschrijving N-mineralisatie

Het N-leverend vermogen van een grond is in deze proef geschat door de N-opname in een onbemest veldje. De N-opname over 2 sneden varieerde van 45 tot 190 kg ha⁻¹ (Figuur 5-12). De groeiperiode varieerde van 102 tot 153 dagen.

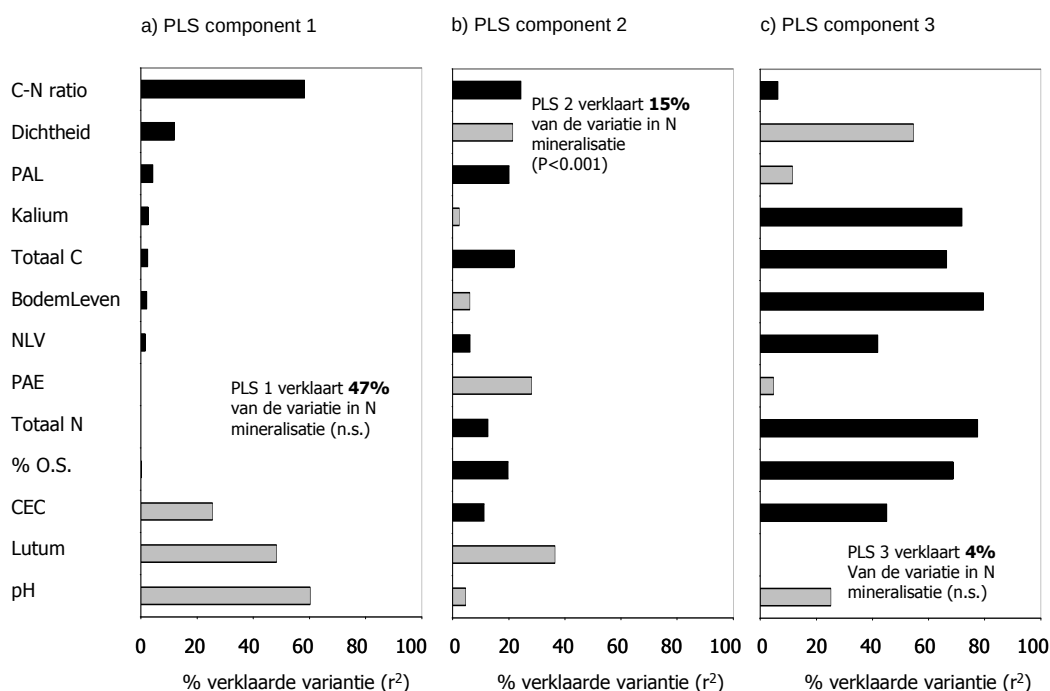


Figuur 5-12. Gemeten N-opname in onbemeste grasveldjes; cumulatief in 2 sneden.

5.6.2 Relaties tussen gemeten bodemparameters

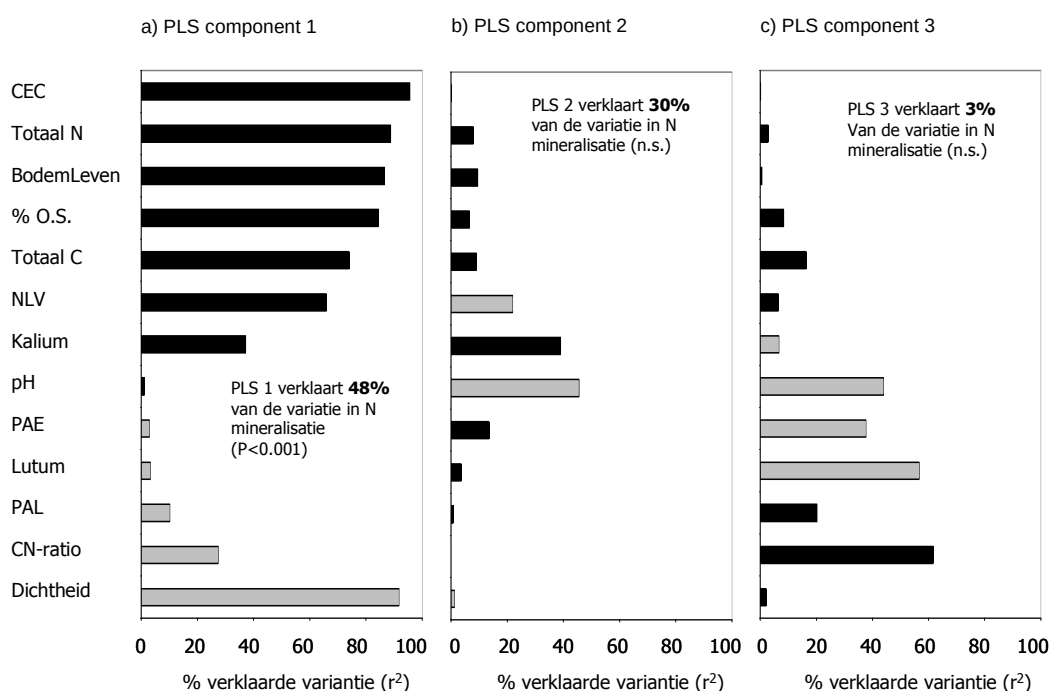
Gebruik maken van multivariate PLS-analyse is onderzocht welke combinatie van bodempactoren de N-opname op een onbemest veldje het sterkst beïnvloedt. De resultaten van deze analyse zijn samengevat in figuur 5-13.

Als eerste blijkt er geen duidelijk statistisch verband te zijn tussen één van de gemeten bodempactoren en de cumulatieve N-opname in 2 sneden. De PLS-component die de meeste variatie verklaart (~47%, $P > 0,05$) wordt voornamelijk gedomineerd door de C-N ratio, de pH, het lutumgehalte en de CEC. Dit suggereert dat de verschillen in N-opname voornamelijk zijn gerelateerd aan verschillen in textuur/ mineralogie. De variatie in organischstofgehalte, totaal C of totaal N binnen deze grondsoorten heeft statistisch weinig voorspellende waarde (PLS component 3).



Figuur 5-13. Resultaten PLS-analyse dataset K-proef 2011 (gebaseerd op totale dataset).

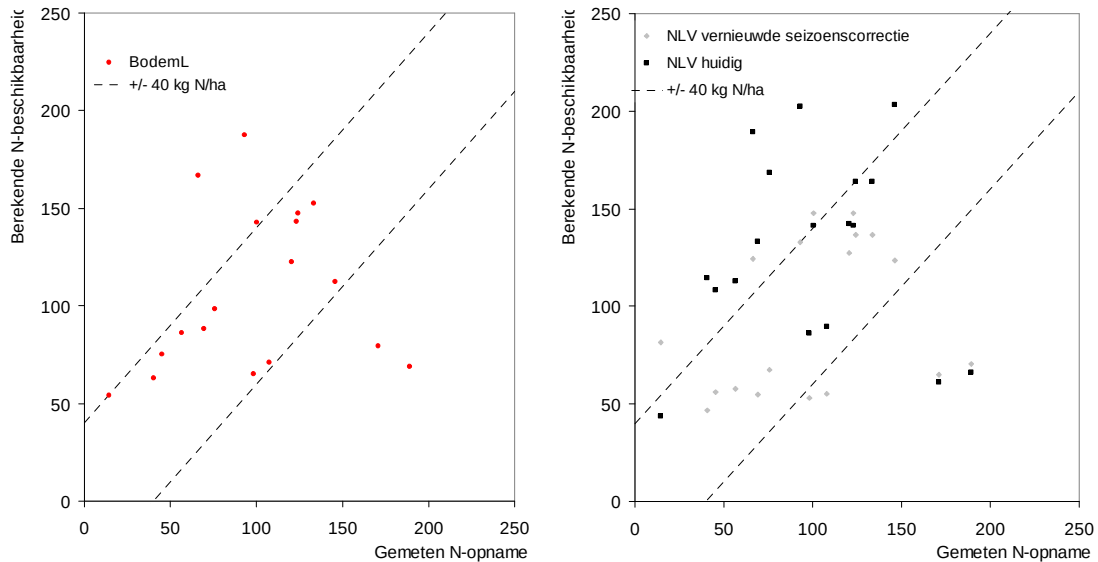
Echter, dit resultaat is sterk beïnvloed door de resultaten van 4 kalkrijke zeekleigronden ($pH > 7$) met een organisch stofgehalte lager dan 4%. Ondanks de relatief lage organischstofgehaltes (vergeleken met de overige gronden) varieert de N-opname op deze percelen van 100 tot 190 kg ha⁻¹. Wanneer deze gronden uit de analyse worden verwijderd, dan wordt duidelijk dat het organischstofgehalte (en daarmee samenhangend het N- en C-gehalte) een significante invloed heeft op de N-opname (Figuur 5-14). Alle variabelen die samenhangen met het organische stof gehalte zijn nu aanwezig in het eerste PLS component en deze verklaart circa 48% van de variatie in N-opname ($P < 0,001$).



Figuur 5-14. Resultaten PLS-analyse dataset K-proef 2011 (4 percelen verwijderd).

5.6.3 Validatie ontwikkelde mineralisatiemodellen

Zoals eerder beschreven zijn er 4 modellen ontwikkeld die gebaseerd op bodemgegevens een inschatting kunnen geven van de potentiële mineralisatiesnelheid. In dit experiment zijn echter geen labiele organische stof fracties geanalyseerd. Daarom is in de validatie alleen gebruik gemaakt van het model gebaseerd op de BFI indicator en het NLV. De voorspelde N mineralisatie is vervolgens gevalideerd op het hierboven beschreven experiment. De resultaten van deze validatie worden weergegeven in figuur 5-15.



Figuur 5-15. Validatie resultaten veldexperiment K-proef 2011. In de linker figuur staan de resultaten van het BFI-model, terwijl de rechter figuur de resultaten laat zien voor het huidig NLV en een aangepaste versie van het NLV (andere seizoenscorrectie).

Uit deze validatie blijkt dat door gebruik te maken van de BFI- indicator het mogelijk is om de N-opname redelijk accuraat te schatten. Er zijn vier uitzonderingen waarbij de N-beschikbaarheid sterk wordt overschat (2 kalkrijke zeekleigronden, $\text{pH} > 7$) dan wel onderschat (2 zeekleigronden, $\text{pH} \sim 6,2$). De oorzaak hiervan is onduidelijk. De voorspelling gebaseerd op deze indicator levert betere resultaten op dan het huidige NLV-concept: de gemiddelde overschatting daalt van $+30 \text{ kg N ha}^{-1}$ (huidig NLV) naar $+8 \text{ kg N ha}^{-1}$ (BFI indicator). Ook is zichtbaar dat de wijziging in de seizoenscorrectie tot een verbeterde voorspelling leidt (Figuur 5-15 rechts).

6 Conclusies

6.1 Resultaten validatie vernieuwd NLV

6.1.1 Achtergrond

Op basis van recent onderzoek (Ros, 2011) is duidelijk geworden dat er diverse mogelijkheden zijn om de huidige voorspelling van de N-levering van de bodem te verbeteren.

- Ten eerste levert het gebruik van bodemtesten die relatief meer labiel (ofwel beschikbaar) stikstof bevatten een betere voorspelling van de N-levering dan de totale hoeveelheid N in een bodem. Informatie over de kwaliteit van de organische stof en de bodemtextuur kan bovendien een extra verbeterslag geven.
- Ten tweede is duidelijk geworden dat een *directe* en accurate schatting van de N-levering in het veld niet mogelijk is door de grote variatie in bodemeigenschappen en weersomstandigheden. Hieruit volgt dat bodemtesten voornamelijk gebruikt kunnen worden om de potentiële N-levering te schatten, d.w.z. de N-levering onder optimale weersomstandigheden (geen variatie in vocht en temperatuur). De actuele N-levering – datgene wat een boer wil weten – kan vervolgens geschat worden door de potentiële N-levering te corrigeren voor de actuele variatie in weersomstandigheden.

Gebaseerd op literatuurgegevens is daarom in deze studie een vertaalslag ontwikkeld om de voorspelling onder laboratoriumcondities zodanig aan te passen dat er een accurate schatting gemaakt kan worden van de N-mineralisatie in het veld. Vervolgens is deze aanpak getest op een 5-tal datasets, variërend in experimentele omstandigheden.

6.1.2 Voorspelling N-mineralisatie onder gecontroleerde omstandigheden

De ontwikkelde algoritmes om de potentiële N-mineralisatie te schatten op basis van labiele organische stof fracties (Ros, 2011) kunnen gebruikt worden om de N-mineralisatie in andere gronden – en onder vergelijkbare condities als vocht en temperatuur – redelijk accuraat te schatten (zie paragraaf 5.2.). Van de geteste voorspellers wordt de N-mineralisatie het beste voorspeld door een combinatie van EON en de CN-ratio. Er blijft echter een bepaalde mate van onzekerheid. Dit hangt samen met het feit dat N-mineralisatie een biologisch proces is dat niet alleen samenhangt met de kwaliteit van de organische stof, maar ook beïnvloed wordt door abiotische factoren en de microbiële *community*. Desondanks is het mogelijk om de N-mineralisatie te schatten door gebruik te maken van indicatoren die de hoeveelheid organische stof weerspiegelen. De relatie tussen deze indicatoren en de N-mineralisatie lijkt een indirect verband te zijn dat afhangt van de hoeveelheid organische stof (Ros, 2011).

Wanneer gebruik wordt gemaakt van labiele fracties organische stof als voorspeller dan wordt de N-mineralisatie met circa 10-20% onderschat ofwel overschat (zie paragraaf 5.2.). De fout op de voorspelling bedraagt maximaal $\sim 50 \text{ kg N ha}^{-1}$. In de geanalyseerde laboratorium experimenten levert het gebruik van labiele organische stof fracties een betere voorspelling op van de N-mineralisatie dan N-totaal of het daarvan afgeleide NLV. Gebruik makend van de huidige NLV wordt de N-mineralisatie slechts met 2% onderschat, maar de fout op de voorspelling is groter dan $\sim 100 \text{ kg ha}^{-1}$.

Bovenstaande conclusies zijn afgeleid van een experiment waar het vochtgehalte en de temperatuur

constant en op een optimaal niveau zijn gehouden. Wanneer er meer variatie is in bodemvocht en temperatuur, dan is er een sterke toename in de spreiding van de gemeten N-mineralisatie. Binnen herhalingen van hetzelfde perceel (ofwel nulveldje) kan de variatie variëren van 5 tot 50 kg ha⁻¹. Variatie in vocht en temperatuur zorgt er echter ook voor dat het lastiger is om de gemeten N-mineralisatie accuraat te schatten: de voorspellende waarde van indicatoren is over het algemeen lager in vergelijking met experimenten waarbij vocht en temperatuur constant worden gehouden (Ros et al., 2011a). Deze resultaten bevestigen dat temperatuur en vocht een belangrijke rol spelen in het mineralisatieproces. Concreet betekent dit dat deze factoren meegenomen moeten worden om een accurate schatting te geven van de N-levering in het veld.

Wanneer gebruik wordt gemaakt van labiele organische stof fracties om de N-mineralisatie te voorspellen is het desondanks toch mogelijk om in meer dan 70% van de onderzochte percelen de N-mineralisatie gedurende het groeiseizoen te voorspellen met een fout kleiner dan 40 kg ha⁻¹. De N-mineralisatie wordt daarentegen in meer dan 50% van de situaties sterk overschat wanneer gebruik wordt gemaakt van het huidige NLV concept. Ook hier geldt dus dat labiele organische stof fracties beter in staat zijn om de N-mineralisatie te schatten dan het huidige NLV-concept (paragraaf 5.3).

Vergelijkbare resultaten worden zichtbaar in het experiment waar zakjes grond werden geïncubeerd in maïspercelen (paragraaf 5.4.). In beide experimenten werd tevens duidelijk dat het voorspellen van N-mineralisatie in kleigronden lastig is: de voorspelling in zandgronden is significant beter dan die in kleigronden. Dit resultaat is zichtbaar voor zowel het oude als het vernieuwde NLV-advies, al is het resultaat van het vernieuwde NLV-concept over het algemeen beter dan het oude concept. De hoeveelheid geanalyseerde kleigronden is echter te klein om duidelijke uitspraken te doen over de mogelijke oorzaak hiervan.

6.1.3 Voorspelling N-mineralisatie in het veld

Wanneer het ontwikkelde concept wordt toegepast op veldexperimenten dan is het op basis van de geanalyseerde data nog niet mogelijk om eenduidige conclusies te trekken:

- Op zandgronden in Drenthe – met een relatief beperkte variatie in bodemeigenschappen – kan de N-opname in gras redelijk accuraat worden geschat met het huidige NLV-concept maar ook met andere organische stof fracties (paragraaf 5.5.). In beide gevallen wordt de N-opname overschat. Introductie van de vernieuwde seizoenscorrectie verbetert de voorspelling, maar resulteert tegelijkertijd in een lichte onderschatting.
- In een graslandproef uitgevoerd in 2011 levert het vernieuwde NLV-concept tot betere resultaten dan het huidige NLV. Dit geldt voornamelijk voor de zand- en veengronden. Het huidige NLV concept wordt beter als de seizoenscorrectie wordt aangepast. De N-opname op kalkrijke zeekleigronden kan serieus worden over- dan wel onderschat bij zowel het huidige als het vernieuwde NLV concept.

Concluderend blijkt dat de N-mineralisatie in organische stof rijke zandgronden redelijk accuraat kan worden geschat met het huidige NLV-concept. De reden waarom het NLV-concept in het ene experiment wel en in het andere experiment geen nauwkeurige schattingen van de N-levering geeft, is onduidelijk. Mogelijk hangt dit samen met de variatie in organische stof kwaliteit/ bemestingsgeschiedenis/ textuur. Het vernieuwde NLV levert vergelijkbare ofwel verbeterde schattingen op van de werkelijke N-beschikbaarheid.

6.2 Kennislacunes

In het promotieonderzoek waaruit deze validatie voortvloeit, is duidelijk geworden dat er nog veel onduidelijkheden bestaan over de reden *waarom* organische stof fracties in de bodem een indicatie geven van de hoeveelheid N-mineralisatie. Vanwege deze onzekerheid is het onmogelijk om aan te geven waarom de voorspellende waarde van een bodemtest zo kan variëren tussen studies of textuurclasses. Recent heeft Ros (2011) dit onderzocht voor de organische N-fractie die geëxtraheerd wordt met CaCl_2 , maar voor alle andere ontwikkelde bodemtesten is het mechanisme nog onduidelijk. Fundamenteel onderzoek kan hierover meer inzicht geven.

Hierbij wordt ook opgemerkt dat de meeste experimenten die in het verleden zijn uitgevoerd gebruik maken van een relatief beperkte set gronden. De variatie in organische stof kwaliteit, bemestings-geschiedenis of textuurclasses binnen een experiment is vaak beperkt. Tevens ligt de nadruk voornamelijk bij het vinden/vastleggen van relaties tussen N-mineralisatie en bodemindicatoren, terwijl voor de toepassing van deze kennis (ofwel adviezen) nodig is dat ontwikkelde relaties gevalideerd worden onder verschillende omstandigheden. Deze kennislacune kan worden opgelost door 1) ofwel grootschalig veldonderzoek uit te voeren op praktijkpercelen ofwel 2) bestaande gegevens (van WUR, NMI, Alterra, PRI, PPO, etc) te combineren en te heranalyseren via bestaande of 'nieuwe' statische methoden.

De hier ontwikkelde vocht- en temperatuursafhankelijke correctie voor de N-mineralisatie geeft in vrijwel alle onderzochte situaties een verbetering ten opzichte van de seizoenscorrectie die gebruikt wordt in het huidige NLV advies. Wel wordt opgemerkt dat deze resultaten alleen zijn getest voor drie experimenten uitgevoerd onder gecontroleerde condities (de incubatie experimenten) en voor twee veldexperimenten met variabele weersomstandigheden (uitgevoerd in 2006 en 2011). Gebruik makend van bestaande literatuur waarin N-experimenten worden beschreven, is het echter eenvoudig te testen of de hier gevonden resultaten ook breder toepasbaar zijn. Hierbij gaat het niet alleen om verschillen tussen jaren, maar ook om metingen/analyses gedurende het groeiseizoen.

Het onderzoeksproject aan de WU begon met de verwachting dat het gebruik van labiele organische stof fracties zoals CaCl_2 -EON ook een inschatting zou geven van de N-levering vanuit vers organisch materiaal. Het onderzoek van Ros (2011) heeft echter laten zien dat het toedienen van vers organisch materiaal maar een kortstondig effect heeft op labiele bodemparameters als EON. Bovendien is nog niet bekend of de grootte van deze bodemparameters vervolgens een indicatie geeft van de hoeveelheid mineralisatie afkomstig uit het toegediende vers organische materiaal. De in dit rapport geïntroduceerde vernieuwing blijft op dit punt vergelijkbaar met de huidige NLV-systematiek waarbij ook separaat de bijdrage van dierlijke mest geschat moet worden. Of de conclusies van Ros (2011) geldig zijn voor alle labiele organische stof fracties is niet onderzocht en biedt mogelijkheden voor toekomstig onderzoek.

6.3 Toepassingsmogelijkheden

De Nederlandse landbouw heeft een jaarlijkse omzet van 40 miljard Euro hetgeen 44 % is van de handelsbalans. Het succes is gedeeltelijk te danken aan hoge gewasopbrengsten als gevolg van o.a. hoge stikstof (N) bemesting, het belangrijkste nutriënt in gewasproductie. Echter deze landbouwpraktijk resulteert in hoge N-verliezen naar het milieu waardoor de EU en nationale regelingen langzaam maar zeker het N-gebruik gaan inperken. De uitdaging is nu om N meer effectief te gebruiken en het risico van

afnemende gewasopbrengsten te minimaliseren. Optimalisatie van de N-gift is daarnaast ook gunstig voor de inkomsten van de boer.

Dit alles begint met de juiste kwantificering van de natuurlijke N die vrijkomt uit de grond, aangezien organischestofmineralisatie een belangrijke N-bron is voor gewasgroei tijdens het seizoen. Deze kwantificering maakt het mogelijk om de exacte N-behoefte van het gewas aan te vullen met een N-meststoffen en zodoende de verliezen naar het milieu zoveel mogelijk te beperken. Het huidige NLV-advies is hierin een eerste en goede stap in de goede richting, maar veldonderzoek uit de afgelopen jaren heeft laten zien dat er ook ruimte is voor verbetering. De in deze studie ontwikkelde methode verbetert het huidige NLV-advies op twee punten. Deze verbeteringen zijn gerelateerd aan de gebruikte bodemtest/ bodemeigenschap om de potentiële N-levering te voorspellen en aan de gebruikte verdeling over het seizoen.

Uit de validatie blijkt dat het gebruik van labiele organische stof fracties een verbeterde voorspelling kan geven van de N-levering op zandgronden. De hier afgeleide algoritmes lijken breed toepasbaar te zijn: voor zowel akkerbouw als grasland kan dezelfde bodemindicator worden gebruikt. Dit biedt voordelen omdat gegevens uit de standaard bodemanalyses nu gebruikt kunnen worden om een snelle, nauwkeurige en goedkope indicatie te geven van de N-levering. Helaas is het vooralsnog onduidelijk of de vernieuwde NLV ook goed zal werken voor kleigronden.

De hier ontwikkelde vocht en temperatuursafhankelijke correctie verbetert de voorspelling van de N-levering op perceelsniveau. Richting de adviesontwikkeling kan deze kennis op verschillende manieren toegepast worden om de huidige N-advisering te verbeteren (zie paragraaf 3.3.5).

- **Optie 1.** Er wordt een default voorspelling gedaan van de N-levering in een gemiddeld jaar. Hiervoor kunnen de meerjarig gemiddelde neerslag, verdamping en temperatuur gegevens worden gebruikt. Dit is de voorspelling die de boer krijgt toegezonden wanneer hij/zij een grondanalyse uit laat voeren. Gedurende het seizoen krijgt de boer automatisch een attendering van het lab wanneer de weersomstandigheden afwijken van het meerjarig gemiddelde én dit leidt tot een relevante afwijking van de verwachte N-levering. Tegelijk zou aangegeven kunnen worden tot welke bijstellingen van het N-advies dit kan leiden. (In de tuinbouw wordt al volop gewerkt met deze vorm van adviesdiensten.)
- **Optie 2.** Er wordt een default voorspelling gedaan van de N-levering in een gemiddeld jaar. Tegelijkertijd wordt er op het advies vermeld dat (en hoe) het N-advies aangepast kan worden wanneer de weersomstandigheden afwijken van het gemiddelde. De *gekwantificeerde* aanpassing van het advies is daarbij gebaseerd op de hier ontwikkelde weersafhankelijke correctie. Denk hierbij aan de volgende scenario's/ opties: 1) een nat en koud voorjaar, 2) een nat en warm voorjaar, 3) erg droge zomer, 4) erg natte zomer. Het vaststellen van de relevante scenario's dient te gebeuren in samenspraak met de praktijk en de CBGV. Deze scenario's komen op www.bemestingsadvies.nl te staan. Denkbaar is dat op deze website ook een rekenmodule komt te staan die rekening houdt met de actuele weersgegevens en de weersvoorspellingen vergelijkbaar met optie 1.

In beide gevallen wordt er rekening gehouden met de grote invloed van actuele weersomstandigheden. Het N-advies verliest daarmee haar statisch karakter ('jaargemiddelde') en wordt meer dynamisch waardoor de boer sneller en beter in kan spelen op de weersomstandigheden en zo de in te zetten hoeveelheid stikstof maximaal tot waarde kan brengen..

7 Literatuur

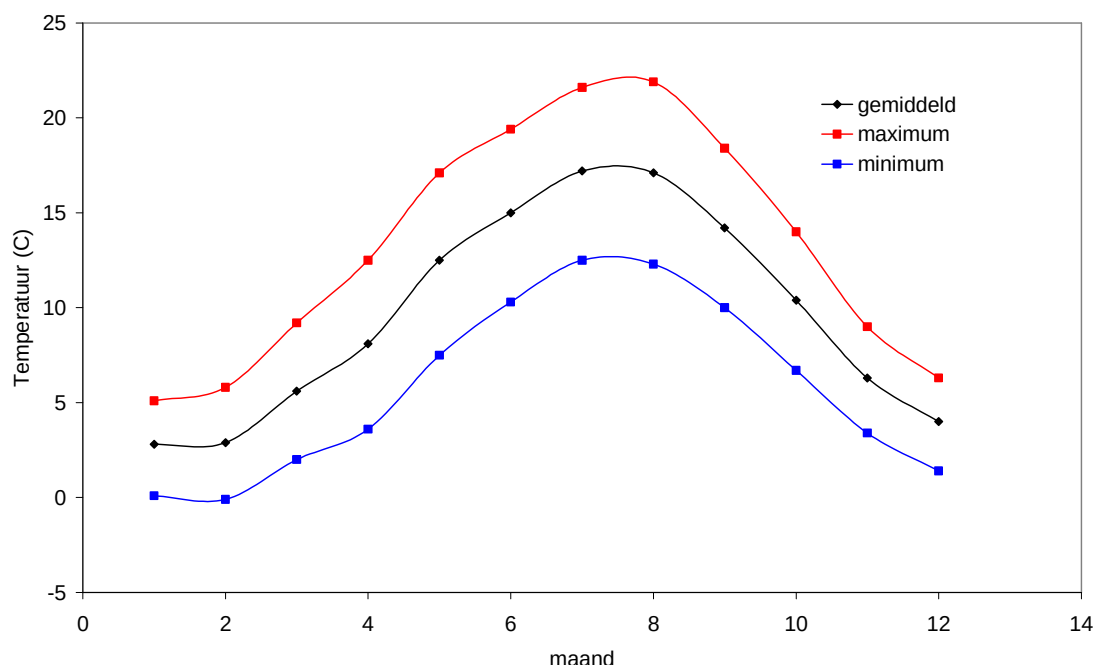
- Addiscott TM (1983) Kinetics and temperature relationships of mineralization and nitrification in Rothamsted soils with different histories. *Soil Science* 34, 343-353.
- Bless AE, De Sy N, Guzman CD, Gyeltshen P, Tielen J & Van der Zanden J (2010) Improving a DON-based nitrogen-mineralization model: investigation of farmers' perception and derivation of correction factors for field conditions. Report ACT program 615, Wageningen Universiteit, pp. 73.
- Borken W & Matzner E (2009) Reappraisal of drying and wetting effects on C and N mineralization and fluxes in soils. *Global Change Biology* 15, 808-824.
- Bregliani MM, Temminghoff EJM, Van Riemsdijk WH & Haggi ES (2006) Nitrogen fractions in arable soils in relation to nitrogen mineralization and plant uptake. *Communications in Soil Science & Plant Analysis* 37, 1571-1585.
- Burema WP & Bussink DW (2004). Schiet maïsbestemming haar doel voorbij. NMI-rapport O968. Wageningen. 64 pp.
- Bussink DW, Van Rotterdam-Los D & Van de Draai H (2010) Maïs onder folie. NMI rapport 1387.N.10., Wageningen, pp. 27.
- Chapin FS, Moilanen L & Kielland K (1993) Preferential use of organic nitrogen for growth by a non-mycorrhizal arctic sedge. *Nature* 361, 150-153.
- De Willigen P, Janssen BH, Heesmans HIM, Conijn JG, Velthof GJ & Chardon WJ (2008) Decomposition of organic matter in soil; comparison of some models. Wageningen, Alterra-rapport 1726, pp. 73.
- Feddes RA (1987) Crop factors in relation to Making reference-crop evapotranspiration. *Comm. Hydrol. Res. TNO, Den Haag, Proc. and Inf.* 39, pp 33-44.
- Hassink J (1995) Organic matter dynamics and N mineralization in grassland soils. Thesis Wageningen University, Wageningen, the Netherlands, pp. 250.
- Houba VJG, Temminghoff EJM, Galkhorst GA & Van Vark W (2000) Soil analysis procedures using 0.01M calcium chloride as extraction reagent. *Communications in Soil Science & Plant Analysis* 31, 1299-1396.
- Jones DL & Darrah PR (1994) Amino-acid influx at the soil-root interface of *Zea mays* L. and its implications in the rhizosphere. *Plant & Soil* 163, 1-12.
- Kätterer T, Reichstein M, Andrén O & Lomander A (1998) Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using literature data analyzed with different models. *Biology & Fertility of Soils* 27, 258-262.
- Kirschbaum MUF (1995) The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic storage. *Soil Biology & Biochemistry* 27, 753-760.
- Kirschbaum MUF (2000) Will changes in soil organic matter act as a positive or negative feedback on global warming? *Biogeochemistry* 48, 21-51.
- Kirschbaum MUF (2010) The temperature dependence of organic matter decomposition: seasonal temperature variations turn a sharp short-term temperature response into a more moderate annually averaged response. *Global Change Biology* 16, 2117-2129.
- Kladivko EJ & Keeney DR (1987) Soil nitrogen mineralization as affected by water and temperature interactions. *Biology & Fertility of Soils* 5, 248-252.
- Lloyd J & Taylor JA (1994) On the temperature dependence of soil respiration. *Functional Ecology* 8, 315-323.
- Moene AF & Van Dam JC (2010) Atmosphere Vegetation Soil Interactions. Springer, pp. 285.

- Murphy DV, Macdonald AJ, Stockdale EA, Goulding KWT, Fortune S, Gaunt JL, Poulton PR, Wakefield JA, Webster CE & Wilmer WS (2000) Soluble organic nitrogen in agricultural soils. *Biology & Fertility of Soils* 30, 374-387.
- Nordmeyer H & Richter J (1985) Incubation experiments on nitrogen mineralization in loess and sandy soils. *Plant & Soil* 83, 433-445.
- Paul KI, Polglase PJ, O'Connell AM, Carlyle JC, Smethurst PJ & Khanna PK (2003) Defining the relation between soil water content and net nitrogen mineralization. *European Journal of Soil Science* 54, 39-47.
- Rodrigo A, Recous S, Neel C & Mary B (1997) Modelling temperature and moisture effects on C-N transformations in soils: comparison of nine models. *Ecological Modelling* 102, 325-339.
- Ros GH, Temminghoff EJM & Hoffland E (2011a) Nitrogen mineralization: a review and meta-analysis of the predictive value of soil tests. *European Journal of Soil Science* 62, 162-173.
- Ros GH, Hanegraaf MC, Hoffland E & Van Riemsdijk WH (2011b) Predicting soil N mineralization: relevance of organic matter fractions and soil properties. *Soil Biology & Biochemistry* 43, 1714-1722.
- Ros GH, Hoffland E, Temminghoff EJM (2010) Dynamics of dissolved and extractable organic nitrogen upon soil amendment with crop residues. *Soil Biology & Biochemistry* 42, 2094-2101.
- Ros, GH (2011) Predicting soil nitrogen supply. Relevance of extractable soil organic matter fractions. Thesis Wageningen University, Wageningen, the Netherlands.
- Ros, GH (2012) Predicting soil N mineralization using organic matter fractions and soil properties: a re-analysis of literature data. *Soil Biology & Biochemistry* 45, 132-135.
- Ruitenbergh GH, Wopereis FA & Oenema O (1991) Berekenende optimale stikstofbemesting voor grasland als functie van grondsoort. Rapport 173, Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied, Wageningen, pp. 62.
- 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. Wageningen, Alterra-rapport 892, pp. 58.
- Stanford G & Epstein E (1974) Nitrogen mineralization-water relations in soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 38, 103-106.
- Strong DT, Sale PWG & Helyar KR (1999) The influence of the soil matrix on nitrogen mineralisation and nitrification. IV Texture. *Australian Journal of Soil Research* 37, 329-344.
- Van der Hoeven PCT & Lablans WT (1992) Grondtemperaturen KNMI rapport WR 92-05, KNMI, de Bilt, pp. 59.
- Van Genuchten MTh (1980) A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal* 44, 892-898.
- Van Schöll L (1995) Mineralization of nitrogen from an incorporated catch crop; Experiment and simulation. Afstudeerverslag vakgroep Theoretische productie ecologie Landbouwniversiteit Wageningen.
- Van Schöll L, Van Dam AM & Leffelaar PA (1997) Mineralisation of nitrogen from an incorporated catch crop at low temperatures: experiment and simulation. *Plant & Soil* 188, 211-219.
- Vellinga ThV, Noij IGAM, Teenstra ED & Beijer L (1993) Verfijning stikstofbemestingsadvies voor grasland. PR-rapport 148, Proefstation voor de Rundveehouderij, Lelystad, pp. 81.
- Vellinga ThH (1998) Verfijning bemestingsadvies 1998. PR rapport 173, Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, Lelystad, pp. 39.
- Wösten JHM, Pachepsky YaA & Rawls WJ (2001) Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *Journal of Hydrology* 251, 123-150.

8 Bijlage I. Effect van temperatuur

8.1 Inleiding

De temperatuur is een van de belangrijkste factoren die de mineralisatiesnelheid beïnvloeden. Daarbij geldt dat de temperatuur gedurende het groeiseizoen sterk varieert, en dat tussen de jaren sterke verschillen in temperatuursverloop op kunnen treden (Figuur 8-1). Hierdoor kan de N-mineralisatie tussen jaren sterk uiteenlopen. Voor een op maat gesneden advies is het daarom wenselijk de afbraaksnelheid te kunnen relateren aan het daadwerkelijk temperatuursverloop gedurende het groeiseizoen. In vergelijking met de huidige statisch seizoenscorrectie kan op deze manier meer rekening gehouden worden met de variatie tussen jaren. Ter illustratie: in een koud voorjaar komt de mineralisatie laat op gang, in een warm voorjaar zal er juist veel N beschikbaar komen.



Figuur 8-1. De gemiddelde, minimum, maximum van maandgemiddelden van de etmaaltemperatuur over de periode 1971-2000; gemiddelde van 15 meetstations in Nederland (Bron: www.KNMI.nl).

De afbraak van organische stof en de mineralisatie en nitrificatie van stikstof wordt uitgevoerd door micro-organismen. De activiteit en groei van deze micro-organismen – en daarmee de stikstofmineralisatie – wordt sterk beïnvloed door temperatuur. Bij lagere temperaturen ($<15^{\circ}\text{C}$) wordt de activiteit en de groei van de micro-organismen sterk geremd. Bij temperaturen onder 0°C is de mineralisatiesnelheid nagenoeg tot nul gereduceerd en komt er zodoende geen NH_4 of NO_3 beschikbaar. Bij hogere temperaturen ($>25^{\circ}\text{C}$) wordt de groei en activiteit van de micro-organismen sterk gestimuleerd. Voor het mineralisatieproces wordt er algemeen vanuit gegaan dat er boven de 35°C een afname plaatsvindt van de mineralisatiesnelheid. Dit is echter boven de temperatuur die normaliter in de bodem optreedt (afleiding van KNMI gegevens).

Om het effect van de temperatuur op de mineralisatiesnelheid en daarmee daadwerkelijke hoeveelheid

vrijgekomen N goed te kunnen voorspellen het daarom van belang om 1) de relatie tussen bodemtemperatuur en mineralisatiesnelheid goed te beschrijven en 2) gegevens te hebben over de bodemtemperatuur.

8.2 *Relatie tussen temperatuur en N-mineralisatiesnelheid*

De meest eenvoudige vorm om de relatie tussen temperatuur en mineralisatiesnelheid weer te geven is een lineair verband. Hierbij kan bijvoorbeeld worden aangenomen dat de mineralisatiesnelheid recht evenredig stijgt met de temperatuur. Experimenteel onderzoek heeft echter veelvuldig vastgesteld dat de relatie tussen deze variabelen niet lineair is: de toename van de relatieve afbraaksnelheid is bij hogere temperaturen groter dan bij lagere temperaturen.

Om de toename van mineralisatiesnelheid door een temperatuurstijging te beschrijven wordt vaak gebruik gemaakt van een Arrhenius functie of de daarvan afgeleide Q10-functie (Van Schöll et al., 1997; Rodrigo et al., 1997). Beide functies komen voort uit de biochemie waar zij worden gebruikt om de temperatuursafhankelijkheid van (bio)chemische processen te beschrijven. Voor de biologische omzettingsprocessen die bij de afbraak van organische stof een rol spelen gaat de thermodynamische basis die aan deze relaties ten grondslag liggen niet of slechts ten dele op. Desondanks geven zij een goede empirische beschrijving van de temperatuursafhankelijkheid van de afbraaksnelheid van organische stof binnen het in de bodem relevante temperatuurtraject van 0 tot 35°C.

8.2.1 De Q10 waarde

Voor de afleiding van de Q10-waarde (ook wel Van 't Hoff functie genoemd) wordt aangenomen dat bij een temperatuurstijging van 10 graden de relatieve processnelheid toeneemt met een vaste factor. Deze vaste factor wordt de Q10-waarde genoemd. De Q10-waarde is slechts geldig binnen een bepaald temperatuurtraject; voor organische stof afbraak wordt meestal het traject 15-35°C aangehouden. Bij temperaturen onder de 15°C stijgt de Q10-waarde (ofwel de relatieve mineralisatiesnelheid neemt sterker af met afname in temperatuur). De Q10-waarde boven de 35°C is nauwelijks van belang aangezien de temperatuur in de bodem slechts zelden boven de 35°C uitkomt.

$$k = Q10^{\{(T-T_{ref})/10\}}$$

waarbij k staat voor de correctiefactor die de processnelheid beïnvloed, Q10 staat voor de waarde waarmee de processnelheid toeneemt bij een T-toename van 10°C, T voor de behandelings-temperatuur, en T_{ref} de referentietemperatuur.

Voor de afbraak van organische stof wordt meestal een Q10-waarde van 2 tot 2,1 aangehouden. In Figuur 4-2 (sub b) is het effect van de temperatuur op de mineralisatiesnelheid uitgezet voor verschillende Q10-waarden. Als referentietemperatuur wordt 20 °C aangehouden.

8.2.2 De Arrhenius functie

De Arrhenius functie neemt aan dat elke stijging in temperatuur resulteert in een toename in de relatieve processnelheid. De toename is bij lagere temperaturen kleiner dan bij hogere temperaturen. De correctiefactor k neemt daarom toe met een toename in temperatuur T. De correctiefactor die gebruikt kan worden om de mineralisatiesnelheid te corrigeren voor temperatuursverschillen kan worden berekend als:

$$k = A \cdot e^{(-B/T)}$$

Uitgedrukt ten opzichte van een referentie temperatuur van 20°C geeft dit:

$$k = e^{B \cdot \{1/(T_{ref}+273) - 1/(T+273)\}}$$

waarbij k staat voor de temperatuursafhankelijke correctiefactor, A en B constanten zijn en T staat voor de absolute temperatuur (uitgedrukt in Kelvin; $K = ^\circ\text{C} + 273$). De waarde van k is sterk afhankelijk van de constante B , vooral bij temperaturen boven 20 graden. In figuur 4-2 (sub a) wordt de invloed van B gevisualiseerd voor gebruikte B -waarden in de literatuur. De gepubliceerde B waarden variëren tussen 5730 en 9800 (Nordmeyer & Richter, 1985; Van Schöll et al., 1997; Addiscott, 1983; Stanford et al., 1973; Kladvko & Keeney, 1987).

Binnen het voor mineralisatie relevante temperatuurstraject vallen er geen grote verschillen tussen Q_{10} en Arrhenius te verwachten (figuur 4-2). Opvallend is wel dat bij beide relaties de relatieve mineralisatiesnelheid ook bij temperaturen rond het vriespunt nog relatief hoog is. De meeste studies die de relatie tussen mineralisatie en temperatuur onderzochten, zijn uitgevoerd in de temperatuursrange tussen 10-35 °C. Door Van Schöll et al. (1997) is de mineralisatie bij de temperatuursrange 2-15°C gemeten. Er zijn geen data van experimenten waarbij het effect van temperatuur op mineralisatie over het gehele temperatuurstraject van 0-30 °C is gemeten.

Het gebruik van een constante Q_{10} -waarde voor het gehele temperatuurstraject in de bodem levert een overschatting van de mineralisatiesnelheid bij lagere temperaturen. Kirschbaum (1995) heeft een uitgebreide vergelijking van verschillende datasets gemaakt waarin het effect van temperatuur op de mineralisatiesnelheid werd vergeleken. Bij temperaturen boven de 20°C voldeed de Q -waarde van 2, maar bij lagere temperaturen zou de waarde van Q_{10} verhoogd moeten worden om de sterke afname van decompositiesnelheid met temperatuursverlaging te beschrijven. Eenzelfde conclusie werd getrokken door Kätterer et al. (1998). Kätterer et al. (1998) vergeleken het effect van temperatuur op de mineralisatiesnelheid van 25 experimenten waarbij verschillende temperatuurregimes waren aangelegd, zowel in hoger als lager temperatuurstraject. Bij het beschrijven van de temperatuursrespons in het lage temperatuurstraject alsook het hoge traject leverde zowel de Q_{10} als de Arrhenius functie een overschatting van de decompositie bij lage temperaturen.

Kirschbaum (2000) pleit daarom voor het gebruik van een aangepaste Arrheniusfunctie (Lloyd and Taylor 1994), waarbij de afbraaksnelheid bij lage temperaturen sneller daalt dan bij de klassieke Arrheniusfunctie. Deze aangepaste functie kan als volgt worden beschreven:

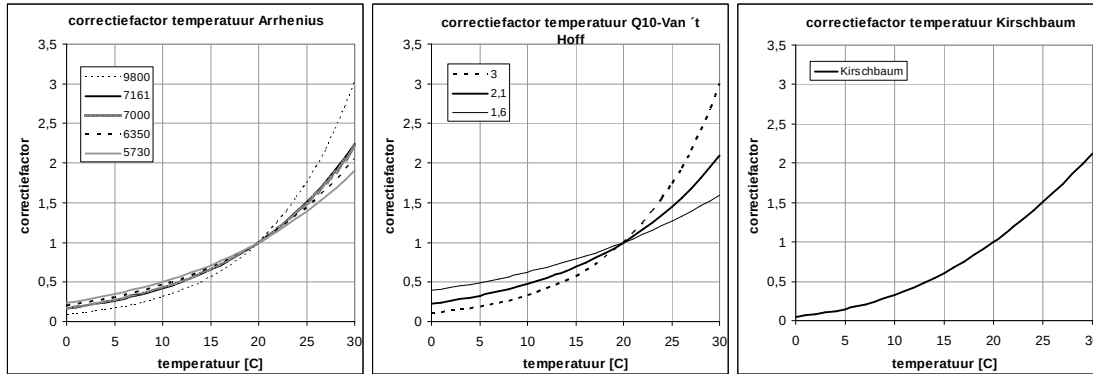
$$k = e^{35.41 \cdot \{1/(T_{ref}+273-T_0) - 1/(T+273-T_0)\}}$$

of wanneer deze genormaliseerd wordt naar een referentietemperatuur van 20°C (Kirschbaum 2000):

$$k = e^{\{3.36 (T_e - 40 / T_e + 31.79) + 1.297\}}$$

waarbij k staat voor de temperatuursafhankelijke correctiefactor en T_e staat voor de temperatuur (in °C).

In figuur 8-2 valt te zien dat de aangepaste correctiefactor van Kirschbaum in het temperatuurstraject 15-25 °C grotendeels overeenkomt met de Q10 en Arrhenius correctiefactoren, maar dat bij temperaturen onder de 15°C de mineralisatiesnelheid sterker afneemt bij afname van de temperatuur. De aangepaste Arrhenius functie lijkt daarom meest geschikt voor het in de bodem relevante temperatuurstraject omdat deze het verloop van de temperatuursgevoeligheid bij lage temperaturen beter beschrijft.



In figuur 8-2 zijn de drie meest gebruikte correctiefactoren voor temperatuur weergegeven. Daarbij is als referentietemperatuur een temperatuur van 20°C aangehouden.

Gebaseerd op de bovenstaande gegevens kan worden geconcludeerd:

- De mineralisatiesnelheid wordt sterk beïnvloed door de bodemtemperatuur.
- Voor de in Nederland in de bodem heersende temperatuurrange lijkt de aangepaste Arrhenius functie (Kirschbaum 2000) de beste beschrijving te geven.

8.2.3 Afleiding van de bodemtemperatuur uit meetgegevens

Om voor de vertaalslag van potentiële naar actuele mineralisatie rekening te houden met de temperatuur kan gebruikt worden van de aangepaste Arrhenius vergelijking. Het is daarvoor nodig om een schatting te maken van de bodemtemperatuur. Echter, het temperatuursverloop in de bodem wordt niet standaard gemeten, en zal daarom afgeleid moeten worden uit gegevens die wel beschikbaar zijn.

Bodem energie balans

Allereerst willen we kort nagaan welke factoren van belang zijn omdat zij de bodemtemperatuur beïnvloeden. Voor het beschrijven van die factoren gebruiken we de energiebalans (Moene & Van Dam, 2010). Van belang voor het temperatuursverloop in de bodem zijn de volgende factoren:

- Netto straling (Q^*): door de straling van de zon warmt de bodem op. De aarde straalt ook weer warmte uit. Hierbij is zowel de directe als indirecte straling van belang: op een heldere dag is de directe straling -en daarmee de opwarming of afkoeling- groter dan op een bewolkte dag. Netto is de instraling groter dan de uitstraling, waarbij er een verschil is tussen dag en nacht. Overdag is de instraling groter: de bodem warmt op. 's Nachts is de uitstraling hoger dan de instraling: de bodem koelt af.
- Δ warmteopslag bodem (Sh_s). De grond heeft een groot warmtebufferend vermogen, ze houdt de warmte of koude als het ware vast.
- Δ warmteopslag vegetatie en lucht (Sh_v , Sh_a): De bodem wisselt warmte uit met de vegetatie

en lucht ertussen en erboven. Deze warme lucht kan gedeeltelijk weggevoerd worden met de wind (H).

- Evapotranspiratie (LvE): het verdampen van water vanuit plant en bodem kost energie en leidt daarmee tot warmteverlies.
- Warmte (Gz): De aan de oppervlakte opgevangen energie wordt in de vorm van warmte doorgegeven naar diepere bodemlagen. Hierbij treedt er met de diepte een vertraging en een demping ten aanzien van minimum en maximum temperaturen op.

De warmtebalans van de bodem kan dan als volgt worden berekend:

$$Shs = Q^* - Shv - Sha - LvE - Gz - H$$

Daarbij is er ook nog een belangrijk verschil tussen bedekte en onbedekte grond. Bij onbedekte grond bereikt de directe en indirecte zonnestraling (licht) direct de grond, en wordt daar direct omgezet in warmte en uitgewisseld met de onderliggende bodemlagen en luchtlaag. Ook de uitstraling van verloopt direct vanaf het grondoppervlak. De grond warmt daardoor snel op maar koelt ook snel weer af. De bodemtemperatuur kan overdag aanzienlijk hoger zijn dan de luchttemperatuur. Bij bedekte grond is het de graslaag die de inkomende straling ontvangt en omzet in warmte en uitwisselt met de onderliggende bodemlaag en de luchtlaag erboven. De bodem wordt in dit geval indirect opgewarmd. De vegetatie werkt zo als een isolatielaag, waardoor de temperatuurschommelingen in de bodem onder gras ook minder sterk zijn dan in onbedekte grond of in de lucht erboven. Onder grasland zal de bodemtemperatuur daarom geleidelijk aan reageren op veranderingen in luchttemperatuur.

Berekening bodemtemperatuur

Voor een globale benadering van de bodemtemperatuur wordt vaak uitgegaan van een afleiding van de bodemtemperatuur uit de luchttemperatuur. Het warmtebufferend vermogen (ofwel het “opslaan” van opgeslagen warmte of koude in de bodem) wordt beïnvloed door de textuur en porievolume, het gehalte organische stof en de bulkdichtheid en het vochtgehalte van de bodem. Het samenspel van deze factoren maakt dat er geen eenvoudig af te leiden exacte omrekeningsfactor is voor de berekening van de bodemtemperatuur.

Het KNMI heeft voor de Bilt de maandgemiddelden van de etmaaltemperatuur van de lucht (150 cm hoogte) en de grondtemperatuur (5- 10- 20-50-100 cm diepte) geregistreerd voor periode 1961-1980. Gebaseerd op deze metingen is een empirische functie afgeleid waarmee de bodemtemperatuur kan worden berekend:

$$T_{\text{bodem-5cm}} = 1,12 \cdot T_{\text{lucht150}} + 0,3.$$

Gemiddeld over het jaar is de bodemtemperatuur op -5 cm onder grasland daarmee 1,4 °C hoger dan de luchttemperatuur op 150 cm.

In een recente studie bestudeert Kirschbaum (2009) de mogelijkheid om met een simpele empirische benadering de warmtebuffering van de bodem te kwantificeren. Gebruik makend van een grote dataset met gegevens van lucht en bodemtemperaturen (in Nieuw-Zeeland) wordt in dit onderzoek getest of het meenemen van een gemiddelde week, maand of jaartemperatuur de inschatting van de dagelijkse bodemtemperatuur kan verbeteren. Uit zijn studie bleek dat het gebruik van dag-, week-, of maandgemiddelden bij het berekenen van de totale mineralisatie over het hele jaar slechts tot kleine

verschillen leidde (5%). Blijkbaar middelden de gevonden afwijkingen in temperatuur zich over het hele jaar uit. Voor het voorspellen van de bodemtemperatuur op korte termijn was het gebruik van de gemiddelde maandtemperatuur te globaal.

Gebruik makend van een identieke benadering is voor de Nederlandse situatie een empirische afleiding gemaakt waarbij de bodemtemperatuur geschat wordt op basis van de dagelijkse, wekelijkse en maandelijkse bodemtemperatuur. Hiervoor is gebruik gemaakt van de meetdata van Wageningen Universiteit, weerstation Haarweg, Wageningen. Er is tevens een onderscheid gemaakt tussen bedekte en onbedekte bodem.

Voor T_{bodem} onder gras is er een sterke invloed van temperatuur lucht in voorgaande periode, en een relatief klein effect van de luchttemperatuur. De afgeleide empirische formule is als volgt:

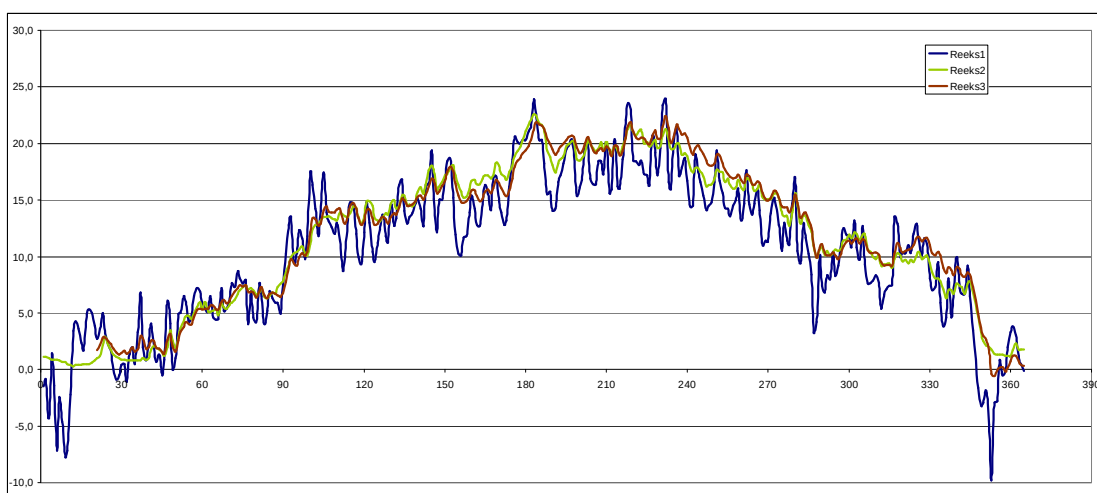
$$T_{\text{bodem } 5\text{cm}} = 0,2 T_{\text{dag}_i} + 0,2 T_{\text{dag}_{(i-1)}} + 0,5 T_{\text{decade}_{(i-2 \text{ tot } i-11)}} + 0,2 T_{\text{decade}_{(i-12 \text{ tot } i21)}}$$

Voor de temperatuur van de onbedekte bodem is er weinig warmte buffering, dat wil zeggen dat er een grote invloed is van de dagelijkse luchttemperatuur en een kleine invloed van de luchttemperaturen in voorgaande dagen. Deze invloed van de dagelijkse luchttemperatuur blijkt seizoensafhankelijk te zijn: de invloed van dagtemperatuur is in de winter veel kleiner dan in de zomerperiode. Om hiermee rekening te houden wordt een 'maandfactor' geïntroduceerd. De afgeleide empirische formule is als volgt:

$$T_{\text{bodem } 5\text{cm}} = 0,9 * \text{maandfactor} * T_{\text{dag}} + 0,2 * T_{\text{decade}_{(i-1 \text{ tot } i-10)}}$$

De gebruikte maandfactor varieert tussen 0.5 en 1.2 met de waarde 0,5 voor januari en december, de waarde 0,8 voor februari en november, de waarde 0,9 voor maart en oktober, de waarde 1 voor april, augustus en september, en de waarde 1,2 voor de maanden mei, juni en juli.

Met de hierboven gegeven empirische functie is het mogelijk om de bodemtemperatuur onder Nederlandse omstandigheden redelijk accuraat in te schatten aan de hand van de luchttemperatuur. Als illustratie worden de resultaten gevisualiseerd voor een perceel onder gras (Figuur 8-3, blauw is de luchttemperatuur, groen is de gemeten bodemtemperatuur, bruin is berekende bodemtemperatuur).



Figuur 8-3. Berekende en gemeten luchttemperatuur in grasland.

Concluderende samenvatting:

- temperatuur is een bepalende factor voor de actuele mineralisatiesnelheid
- tussen jaren zijn er sterk verschillen in temperaturen
- de relatie tussen temperatuur en mineralisatiesnelheid kan worden beschreven via in de literatuur afgeleide empirische functies. Veelgebruikt zijn de Arrhenius en de Q10-Van 't Hoff functie. Beide functies geven echter een overschatting van de mineralisatiesnelheid bij temperaturen $<15^{\circ}\text{C}$, ofwel gedurende het voorjaar.
- De aangepaste Arrheniusfunctie van Kischbaum geeft een betere weergave van effect temperatuur op de mineralisatie en zal daarom in onze afleiding worden gebruikt
- Bodemtemperatuur wordt niet algemeen gemeten en wijkt af van de luchttemperatuur
- De bodemtemperatuur kan met behulp van vuistregels worden afgeleid uit de luchttemperatuur. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen een onbedekte bodem en een bodem onder grasland.
- Bij de bodem onder grasland schommelt de temperatuur minder sterk dan de luchttemperatuur, maar er is een grote invloed van de temperatuur in de voorgaande periode (tot 20 dagen)
- Bij een onbedekte bodem schommelt de temperatuur sterker dan de luchttemperatuur, met een klein effect van de voorgaande periode (tot 10 dagen).

9 Bijlage II. Vochtgehalte

Vocht is naast temperatuur een belangrijke bepalende factor voor het verloop van de N-mineralisatie. De micro-organismen die verantwoordelijk zijn voor de mineralisatie van organische stof leven en verplaatsen zich in het bodemvocht. Onder erg natte omstandigheden zullen de aerobe bacteriën het loodje leggen en omdat nitrificatie (productie van NO_3) een aeroob proces is, zal de NO_3 productie verminderen ofwel afnemen tot nul. Afbraak van organische stof zal doorgaan, omdat het afbraakproces wordt overgenomen door anaerobe bacteriën. Onder verzadigde omstandigheden wordt er alleen NH_4 gevormd. Tegelijkertijd zal de hoeveelheid NO_3 afnemen omdat het gebruikt wordt als elektrondonor; NO_3 kan worden omgezet in N_2O of N_2 en als gas uit de bodem verdwijnen. Bij afwisseling van droogte en natperiodes treden er daarbij nog additionele effecten op: drogen verhoogt het gehalte beschikbaar koolstof (fysische of biologische oorzaak), maar het wordt niet opgenomen omdat er te weinig water is. Zodra er water bij komt, zullen de bacteriën explosief gaan groeien en er komt een flush aan beschikbaar N vrij.

Borken & Matzner (2008) hebben de mechanismen van het drogen en bevochtigen van gronden op de decompositie van organische stof via de microbiële biomassa op een rij gezet:

- Dehydratatie van micro-organismen: De bacteriën en schimmels leven in of op de waterfilm. Bij een afnemend watergehalte neemt de vochtspanning en de zoutconcentratie toe. De micro-organismen hebben een semidoorlatende celwand, en zullen hun inwendige concentratie aan zout en organische verbindingen moeten verhogen om niet uit te drogen. Bij verdere afname van de vochttoestand zijn deze osmotische regulatiemechanismen ontoereikend, waardoor de micro-organismen sterven.
- Diffusie: Bij afnemende vochttoestand neemt de diffusie af en daarmee de mobiliteit van de micro-organismen zelf en van de opgeloste organische en niet-organische voedingsstoffen.
- Indirecte effecten gerelateerd aan verminderde wortelgroei. Door droogte kan er een verminderde wortelgroei en verminderde aanvoer van organische bestanddelen vanuit de plant ontstaan, zowel exudaten als afgestorven wortel(delen). Deze producten vormen een belangrijke bron van beschikbare koolstof voor veel micro-organismen.
- Indirecte effecten gerelateerd aan veranderingen in de bodemstructuur. Door het indrogen van de grond kunnen micro- en macro-aggregaten verbroken worden waardoor er nieuwe oppervlakten en voorheen ingesloten en daarmee beschermde organische stof bereikbaar komen. Het uiteenvallen van aggregaten bij droogte is sterk afhankelijk van de poriegrootte verdeling, en de hoeveelheid en samenstelling van klei en organische stof deeltjes.

Bij hoge vochttoestand is niet zozeer het aanbod van vocht van belang maar een vooral een tekortschietende aeratie.

9.1 *Uitdrukkingen voor vochttoestand*

Bij het vastleggen van een relatie tussen het effect van de vochttoestand op de mineralisatiesnelheid speelt nog dat er meerdere wijzen zijn om de vochttoestand van een bodem weer te geven. De vochttoestand van een bodem kan op verschillende wijzen worden uitgedrukt. De eenvoudigste uitdrukking voor de vochttoestand van de bodem is waarschijnlijk **het gravimetrisch of volumetrisch vochtgehalte**, ofwel de hoeveelheid vocht in de bodem ten opzichte van de hoeveelheid (droge) grond. Dit kan zowel gravimetrisch (op gewichtsbasis: gram water per gram grond) als volumetrisch (op volumebasis: liter (of dm^3) water per liter (of dm^3) grond) worden uitgedrukt. Het gravimetrisch

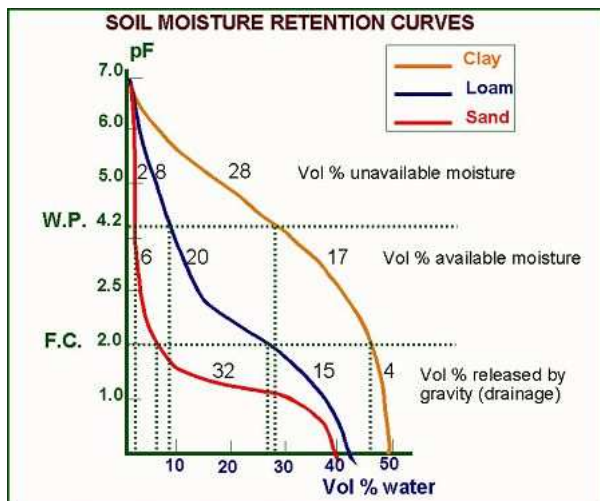
vochtgehalte laat zich eenvoudig bepalen met een routinematige meting. Nadeel bij het gebruik van het vochtgehalte is dat deze geen eenduidige relatie heeft met de mineralisatiesnelheid. De hoeveelheid water die een bodem kan bevatten voordat zij uitdroogt of verzadigt raakt is namelijk sterk afhankelijk van de textuur en structuur, ofwel bij een gelijke hoeveelheid water kan een bodem zowel droog of nat aanvoelen.

Andere veelgebruikte uitdrukkingen voor vochttoestand zijn **de zuigspanning** (=een maat voor de kracht waarmee de bodemdeeltjes het water binden), **de drukhoogte** (negatieve waarde van de zuigspanning) welke boven het grondwater altijd een negatieve waarde heeft, en de waterpotentiaal. De drukhoogte en de zuigspanning geven een maat voor de “zuiging” van de vaste deeltjes van de bodem aan het water, en daarmee voor de directe beschikbaarheid van vocht het gewas en voor het bodemleven. Een hoge zuigspanning geeft een lage beschikbaarheid en treedt op bij een laag vochtgehalte.

Bij lage vochtgehaltenes bereikt de drukhoogte een hoge negatieve waarde. Om de vergelijking tussen verschillende bodems inzichtelijk te maken wordt de drukhoogte dan ook vaak uitgedrukt op een logaritmische schaal. Deze schaal staat bekend als de **pF curve**, waarbij de pF als volgt wordt berekend:

$$pF = {}^{10}\log(-\text{drukhoogte}/[\text{cm}])$$

Een pF-waarde van 4,2 komt overeen met het verwelkingspunt, een vochtgehalte waarbij planten geen vocht meer kunnen opnemen. Een pF-waarde van 2,0 komt overeen met veldcapaciteit; een vochtgehalte waarbij de hoeveelheid vocht optimaal is voor gewasgroei. Ook is dit optimaal voor veel microbiologische processen. Bij een hoger vochtgehalte zal het water uitspoelen. In figuur 9-1 wordt het verloop van de pF bij verschillend vochtgehalte weergegeven voor een drietal gronden variërend in textuur.

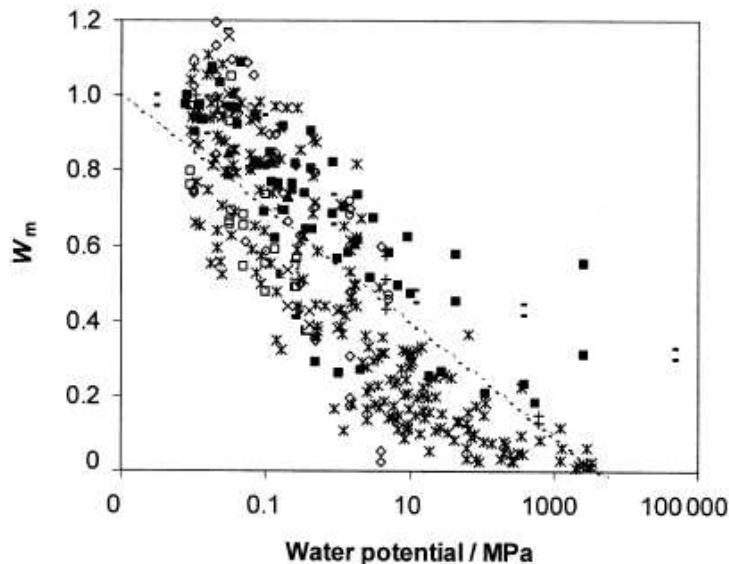


Figuur 9-1 pF curves voor een klei, leem en zandgrond (Bron: www.nivaa.nl).

De hoeveelheid water die een bodem bevat bij een bepaalde zuigspanning of pF-waarde is afhankelijk van de opbouw van bodemtextuur: een kleigrond bevat bij eenzelfde zuigspanning meer vocht dan een zandbodem (Figuur 8-1). Voor het gewas en het bodemleven is de hoeveelheid vocht in het traject tussen veldcapaciteit en verwelkingspunt van belang. Bij kleigronden is deze hoeveelheid groter dan bij

zandgronden. Daardoor zijn zandgronden droogtegevoelig.

De relatie tussen zuigspanning en mineralisatiesnelheid is redelijk constant (Figuur 9-2), onafhankelijk van de grondsoort. Nadeel is dat de bepaling van de zuigspanning niet standaard routinematig wordt bepaald. Als de textuur van de bodem redelijk nauwkeurig bekend is (percentages klei, silt en zand) kan de zuigspanning of pF curve ook uit het vochtgehalte berekend worden. Veelal is de textuur-samenstelling slechts globaal bekend.



Figuur 9-2. Relatie tussen zuigspanning en een vochtafhankelijke correctie voor mineralisatie(snelheid) (Bron: Paul et al., 2003).

Een andere maat voor de vochttoestand van een bodem die samen lijkt te hangen met de mineralisatiesnelheid is het **percentage watergevulde poriën**. Deze wordt veelal berekend uit de metingen van bulkdichtheid (gram cm^{-3}) en het volumetrisch watergehalte. Voor de beschikbaarheid van water en de aeratie van de bodem is daarnaast echter nog de verdeling van de poriegrootte van belang: een zandbodem bevat relatief veel grote poriën waarin het vocht zwak gebonden wordt, een kleibodem bevat relatief veel kleine poriën waarin het vocht sterk gebonden wordt. De bulkdichtheid van de bodem en volumetrisch watergehalte zijn geen standaard metingen en niet eenvoudig af te leiden uit beschikbare data. Daarmee is deze maat niet geschikt voor volgen van de vochttoestand in de bodem gedurende het groeiseizoen.

9.2 Relatie tussen vochttoestand en N-mineralisatiesnelheid

Stanford and Epstein (1974) lieten zien dat de vochttoestand van de bodem een sterke invloed heeft op de mineralisatie. Hiertoe werd de N-mineralisatie van negen bodems (textuur: fijn zand tot siltig kleileem) bij een traject van vochtgehaltes (12 punten tussen 2 en 50%, gewichtsbasis) gemeten na incubatie gedurende twee weken. Het algemeen gevonden verband tussen vochttoestand en mineralisatie was daarbij voor alle onderzochte bodems vergelijkbaar. Tussen de bodems waren de grenswaarden in vochtgehalte waarbij er sprake was van optimale N-mineralisatie dan wel remming verschillend. Door de absolute vochtgehaltes uit te drukken als percentage van de optimale vochtgehalte van de betreffende

bodem kon wel een lineair verband gekregen worden met de N-mineralisatie die voor alle onderzochte bodems gelijk was. Daarnaast valt er een duidelijk verband waar te nemen tussen pF of zuigspanning en N-mineralisatiesnelheid. Optimale N-mineralisatiesnelheid werd bereikt bij pF-waarden tussen 2-2,5 met een zeer sterke afname van de N-mineralisatiesnelheid tot minder dan 50% bij pF 4,2.

Paul et al. (20003) hebben meer recent een overzicht gegeven van variabelen die gebruikt kunnen worden om het effect van vocht op N-mineralisatie te beschrijven. Vervolgens zijn deze getoetst aan een verzameling meetdata van N-mineralisatie en vochtparameters. Zij vonden dat de variabelen die de vochttoestand van de grond uitdrukten als relatief watergehalte de beste relatie hadden met de mineralisatiesnelheid. Het relatieve vochtgehalte kan hierbij worden berekend als percentage van de vochtgehalten tussen verwelkingspunt (0%) en waterverzadiging (100%); of als percentage van de laagste en hoogste vochtgehalten die in de betreffende grond in het veld daadwerkelijk werden gemeten.

Rodrigo et al. (1997) vonden in hun vergelijking van meerdere modellen voor de afbraak van organische stof dat er algemeen bij veldcapaciteit een optimum wordt verondersteld. Bij lagere vochtgehalten lopen de verschillen meer uiteen tussen de correctiefactoren meer uiteen. Daarbij vonden Rodrigo et al. (1997) dat de manier waarop vocht in modellen voor de afbraak van organische stof wordt gemodelleerd voor een groot deel verklarend is voor de onderlinge verschillen in berekende hoeveelheid afbraak.

De Willigen et al. (2008) vergeleken de uitkomsten van een aantal in Nederland gebruikte rekenmodellen voor de afbraak van organische stof. De correctiefactor die werd aangehouden voor het effect van vochtgehalte had in de meeste modellen een vergelijkbaar verloop: een optimum bij veldcapaciteit, met een daling tot 0,9-30% bij verwelkingspunt dan wel waterverzadiging. In een aantal modellen was er niet een optimum punt maar een optimum range rond veldcapaciteit.

Concluderende opmerkingen:

- Er zijn verschillende manieren om de vochttoestand van een bodem uit te drukken
- Het meten en volgen van de vochttoestand van de bodem gedurende het groeiseizoen is lastig en/of duur.
- De relatie tussen mineralisatiesnelheid en vochttoestand laat zich het beste beschrijven met uitdrukkingen die de beschikbaarheid van vocht beschrijven, zoals vochtspanning/drukhoogte, pF, of relatieve vochtgehalte. Door het effect van textuur op de binding en daarmee beschikbaarheid van water is de relatie tussen het absolute vochtgehalte en mineralisatiesnelheid per grondsoort verschillend.
- Voor het beschrijven van de relatie tussen vocht en relatieve mineralisatiesnelheid gaan we hier uit van een vochtgerelateerde correctiefactor gebaseerd op het relatieve vochtgehalte.

9.2.1 Afleiding van vochtgehalte uit meetgegevens

De vochttoestand van de bodem is niet eenvoudig in het veld te meten of af te leiden vanuit de beschikbare weersdata en algemene grondgegevens. De vochttoestand wordt namelijk niet alleen bepaald door de regenval in de afgelopen periode, maar ook door de evapotranspiratie (verdamping vanuit de grond en gewas), afstroming, het vochthoudend vermogen, uitstroming naar diepere grondlagen (drainage), en nalevering vanuit het onderliggende bodemlagen (capillaire opstijging).

Daarnaast is de onzekerheid in de weersvoorspelling voor regenval groter dan bij bijvoorbeeld

temperatuur doordat er naast regionale verschillen ook aanzienlijke lokale verschillen op kunnen treden in zowel de hoeveelheid als de intensiteit van regenbuien. Dit vergt gegevens over neerslag op lokaal niveau. Textuur of grondsoort is daarbij zo bepalend voor de vochttoestand van de bodem dat het voor het dynamisch voorspellen van een correctiefactor voor vochttoestand op mineralisatiesnelheid noodzakelijk lijkt om hier een onderscheid in te maken.

Gebruik makend van een vochtbalans kan een inschatting gemaakt worden van het vochthoudend vermogen van de grond, het vochtgehalte en het verwachte verloop van vochtgehalte. De belangrijkste onderdelen van deze balans zijn:

- Neerslag (P): voor de meeste bodems is dit de belangrijkste aanvoerpost van vocht. De gegevens over hoeveelheid neerslag op dagbasis zijn regionaal beschikbaar via het KNMI.
- Evapotranspiratie E : vanuit de bodem en het gewas verdamt water. Deze hoeveelheid is afhankelijk van vochttoestand in de bovenlaag, temperatuur en gewasbedekking. De potentiële evapotranspiratie op dagbasis van referentiegewas gras wordt ook regionaal berekend door KNMI (volgens Makking). Voor omzetting van de referentie-evapotranspiratie naar onbedekte grond of maïs zijn wasafhankelijke correctiefactoren beschikbaar (Feddes, 1987). De potentiële evapotranspiratie is evapotranspiratie van het gewas bij optimale vochtvoorziening. Bij een vochttekort zal ook de evapotranspiratie afnemen. De actuele evapotranspiratie wordt berekend door te corrigeren met een vochtafhankelijke correctiefactor.
- Beregening (I): tijdens het neerslagtekort gedurende het groeiseizoen kan de vochttoestand worden aangevuld door beregening. De beregening wordt hier standaard ingesteld op 0. Bij informatie van de boer kan hiervoor een aanpassing gemaakt worden.
- Afstroming (AF): Indien er meer regen valt dan er op dat moment in de grond kan infiltreren, bestaat er bij afschot of geulen het risico dat er water bovengronds wordt afgevoerd. De afstroming wordt vooralsnog op 0 ingesteld. Zeker bij grasland is de infiltratiecapaciteit vaak voldoende om oppervlakkige afstroming tegen te gaan.
- Drainage (D): hierbij veronderstellen we dat bij een vochttoestand die boven veldcapaciteit uitkomt het overtollige water direct uitzakt naar onderliggende lagen. De hoeveelheid vocht die een grond kan bergen tussen veldcapaciteit en verwelkingspunt wordt berekend met de vergelijking van Van Genuchten (1980) gebruikmakend van de indeling en bijbehorende karakteristieken voor de bodems in Nederland uit de Staringreeks (Wösten, 2001).
- Capillaire aanvulling (CA). Bij een lage vochttoestand in de bovengrond kan de vochtspanning aan de onderkant van de bouwvoor zo hoog worden dat er water vanuit de ondergrond naar boven stroomt. Bij een aanvulling van 2 mm per dag is dit voldoende om groeiremming van het gewas te voorkomen. Hoeveel er via capillaire opstijging aangevuld kan worden is afhankelijk van de grondsoort en grondwaterstand. In de huidige systematiek wordt hier echter geen rekening mee gehouden. Wanneer informatie over de grondwatertrap bekend is, kan hiervoor een aanpassing gemaakt worden.
- De grondwaterberging wordt vervolgens berekend als : $\sum P + I - E + CA - D - AF$
Bij het opstellen van de vochtbalans gaan we uit van een bouwvoor van 10 cm, maar afhankelijk van de gebruiker kan voor een grotere bouwvoor worden gekozen. Uit praktijkgegevens blijkt dat in de bovenste 10 cm van het perceel zit het merendeel van de wortelbiomassa. De bodemgegevens op grasland zijn ook afgeleid van monsters die genomen zijn in de eerste 10 cm. De vochtbalans wordt vanaf 1 januari balans bijgehouden. Voor 1 januari is er een netto regenoverschot, zodat we er van uit kunnen gaan dat het aanvangsvochtgehalte vergelijkbaar is met het vochtgehalte op veldcapaciteit. Waterbergend

vermogen is berekend als beschikbaar vochtgehalte tussen de watergehaltes bij pF2 (veldcapaciteit) en pF 4,2 (verwelkingspunt). Indien P-E groter is dan het berekende waterbergend vermogen in de 30 cm bouwvoor (berekend via Wosten, 2001) dan gaan we er vanuit dat dit draineert/uitspoelt naar onderliggende lagen. Als P-E negatief is neemt het waterbergend vermogen af, tot minimum het vochtgehalte bij pH 4,2.

- De vochtafhankelijke correctiefactor is wordt berekend als percentage van het beschikbaar vochtgehalte.

Een karakterisering van het vochthoudend vermogen van de bodem, ook wel waterretentiekarakteristiek genoemd, kan worden voorspeld vanuit de textuureigenschappen van de bodem. Hierbij zijn de textuurverdeling, gehalte organische stof, bulkdichtheid en porievolume bepalend. In Nederland is hiervoor de Staringreeks ontwikkeld. Op basis van textuur en gehalte organisch stof is een indeling gemaakt in 18 grondsoorten. Voor al deze grondsoorten is informatie beschikbaar om de waterretentiecurve te bepalen. Een overzicht van de 19 grondsoorten wordt gegeven in Tabel 9-1.

Tabel 9-1. Opgenomen grondsoorten in Staringreeks (2001) waarvan de waterretentiecurve kan worden afgeleid.

Code	omschrijving	leem%	lutum %	organische stof %
zand				
B1	leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand	0-10		0-15
B2	zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	10-18		0-15
B3	sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	18-33		0-15
B4	zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	33-50		0-15
B5	grof zand			0-15
B6	keileem	0-50		0-15
zavel				
B7	zeer lichte zavel		8-12	0-15
B8	matig lichte zavel		12-18	0-15
B9	zwarte zavel		18-25	0-15
klei				
B10	lichte klei		25-35	0-15
B11	matig zware klei		35-50	0-15
B12	zwarte klei		50-100	0-15
leem				
B13	zandige leem	50-85		0-15
B14	siltige leem	85-100		0-15
moerig				
B15	venig zand		0-8	15-25
B16	zandig veen en veen		0-8	23-100
B17	venige klei		8-100	16-45
B18	kleilig veen		8-100	25-100

Er zijn verschillende opties om de hierboven beschreven systematiek toe te passen:

- De berekening kan worden gebaseerd op verwachte weersvoorspellingen (10-daagse verwachting van KNMI) en dagelijks worden geupdate
- De berekening kan worden uitgevoerd voor een gemiddeld seizoen, waarbij een

onzekerheidsmarge wordt weergegeven gebaseerd op de variatie die binnen het seizoen kan optreden;

- De berekening kan worden uitgevoerd voor een aantal vaste scenario's zoals een warm en nat jaar, koud en droog jaar en andere opties.

Het is bekend dat het opstellen van een jaarlijkse vochtbalans uit de pas kan gaan lopen wanneer niet tussentijds wordt gecorrigeerd met gemeten data. Deze informatie is bij een boer echter niet beschikbaar. Het is te overwegen om de vochtbalans te herijken bij een gegeven neerslaghoeveelheid (in de praktijk is het een vuistregel dat na een flinke regenbui de bodem één dag later op veldcapaciteit bevindt).

9.3 *Nat-droog cycli*

Na een (lang)durige droogte wordt er bij herbevochtigen vaak een kortstondige verhoogde mineralisatie gevonden, de zogenoemde mineralisatie *flush*. De hoeveelheid stikstof die er gedurende deze flush vrijkomt kan zelfs hoger zijn de hoeveelheid N die er gedurende de droogte periode is vrijgekomen in een controle waar een optimale vochttoestand gehandhaafd werd. Redenen hiervoor zijn een verhoogde beschikbaarheid van C en N na het herbevochtigen (Borken & Matzner, 2008). Deze voedingsstoffen komen van organische verbindingen die via enzymatische activiteit beschikbaar zijn gekomen (enzymactiviteit is minder vochtafhankelijk) of via lyses van afgestorven microbiële cellen. Er zijn geen praktijkgegevens beschikbaar over hoe veel invloed dit proces heeft voor de hoeveelheid beschikbaar N.

10 Bijlage III. Effect van textuur, voorgeschiedenis en bemesting

10.1 *Textuureffecten: Onderscheid klei-zand*

De textuur van de grond heeft een sterke invloed op de N-mineralisatie. Algemeen wordt aangenomen dat de mineralisatiesnelheid in kleigronden lager is dan in zandgronden. Voor Nederlands grasland is dit aangetoond in het werk van Hassink (1995). Het verschil in bemestingsadvies voor grasland tussen klei- en zandgronden is hierop gestoeld. Dit verschil in mineralisatiesnelheid tussen zand- en kleigronden wordt ook gevonden in de mineralisatieproeven van het WUR promotieonderzoek (Ros, 2011). De lagere mineralisatie van organische stof in kleigronden in vergelijking met zandgronden kan worden toegeschreven aan (Strong et al., 1999):

- klei beschermt organische stof tegen afbraak door adsorptie en klei-humusverbindingen (micro-aggregaten) en door het vastleggen van organische verbindingen in zeer kleine (micro)poriën die niet toegankelijk zijn voor micro-organismen
- door het grotere volume fijne poriën in kleigronden zijn er meer *niches* waar de micro-organismen, met de daarin vastgelegde N, beschermt zijn tegen predatoren, waardoor de omloopsnelheid binnen het bodemvoedselweb trager is.

Uit het WUR promotieonderzoek blijkt dat bij het gebruik van EON om de N-mineralisatie te voorspellen de invloed van bodemtextuur indirect te worden meegenomen. Kleigronden hebben bij een identieke hoeveelheid organische stof een lager EON gehalte. Gebruik maken van deze informatie kan de huidige NLV systematiek (voor zand- en kleigronden een verschillend model) vervangen worden door een enkel model voor beide grondsoorten. Er hoeft daarom geen correctie gemaakt te worden voor textuur of grondsoort. Informatie over de bodemtextuur kan de voorspelling wel verbeteren: bovenop de organische stof parameter die circa 75% van de N-mineralisatie verklaart kan een textuurgerelateerde parameter aanvullend circa 5% van de variatie in N-mineralisatie verklaren.

Naast het directe effect van de textuur op de mineralisatiesnelheid door de binding en bescherming van organische stof en micro-organismen is er ook een indirect effect van de textuur op de mineralisatiesnelheid. Textuur beïnvloedt namelijk ook het temperatuursverloop en het vochtgehalte van de bodem die elk ook weer de mineralisatiesnelheid beïnvloeden. Deze effecten worden in het volgende hoofdstuk besproken.

10.2 *Voorgeschiedenis, waaronder bemesting*

De voorgeschiedenis van een perceel, waaronder de bemesting, heeft een sterke invloed op de hoeveelheid en samenstelling van de organische stof. De organische stof is opgebouwd uit resten van organisch materiaal zoals gewas- en wortelresten, veenresten (specifiek bij veen- en dalgronden), groenbemesters, dierlijke mest, compost en andere organische toevoegingen. Deze organische oorsprongsmaterialen verschillen sterk in samenstelling. Deze verschillen bepalen de snelheid waarmee de omzetting door het bodemleven plaatsvindt en de hoeveelheid N en andere nutriënten die daarbij vrijkomt. Zo is veen opgebouwd uit moeilijk afbreekbare verbindingen die weinig N bevatten. Gewas- en wortelresten en groenbemesters zijn grotendeels gemakkelijk afbreekbaar en kunnen veel N bevatten. Deels zijn deze verschillen terug te zien in de analysecijfers van de bodem: een hoge C:N ratio duidt op veenresten met een lage N-mineralisatie. Daarentegen zijn de absolute hoeveelheden van recente

toevoegingen van organische stof en N vanuit groenbemesters of dierlijke mest relatief laag in vergelijking met de totale hoeveelheid organische stof of N-totaal die al in de bodem aanwezig. De hoeveelheid N die daar uit beschikbaar kan komen is daardoor niet af te lezen uit analysegegevens, terwijl deze door de zeer snelle mineralisatiesnelheid een aanzienlijk deel van de vrijkomende N gedurende het groeiseizoen kan leveren.

Veel modellen voor organische stof afbraak of N-mineralisatie houden hier rekening mee door uit te gaan van de hoeveelheid organische stof en de C:N ratio. Hierbij wordt de organische stof opgesplitst in verschillende 'pools', elk met hun eigen afbraaksnelheid en C:N ratio. De opsplitsing wordt vaak arbitrair gemaakt: er zijn geen goede indicatoren voor het toedelen van organische stof aan een specifieke pool met afbraaksnelheid en C:N ratio. Vaak worden recente toevoegingen en reeds aanwezige organische stof (al dan niet opgedeeld in meerdere 'pools') onderscheiden. Deze benadering vergt veel aannames en gegevens, die per perceel bijgehouden en verwerkt moeten worden.

Het is niet waarschijnlijk dat het vernieuwde NLV advies deze bijdrage van vers organisch materiaal mee kan nemen. Het promotieonderzoek aan de WUR (Ros, 2011) heeft laten zien dat het toedienen van vers organisch materiaal maar een kortstondig effect heeft op labiele bodemparameters als DON of EON. Bovendien is nog niet bekend of de grootte van deze bodemparameters vervolgens een indicatie geeft van de hoeveelheid mineralisatie afkomstig uit toegediend vers organische materiaal. Het in dit rapport geïntroduceerde vernieuwing blijft op dit punt vergelijkbaar met de huidige NLV systematiek waarbij ook separaat de bijdrage van dierlijke mest geschat moet worden.



www.nmi-agro.nl

nutriënten management
instituut nmi bv
nieuwe kanaal 7c
6709 pa wageningen
nmi@nmi-agro.nl