



BEMESTINGSADVIES

Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen

Rapport 2

Evaluatie NLV-concept op grasland

Is een update nodig?

Februari 2016



BEMESTINGSADVIES

Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen

Colofon

Uitgever

Commissie Bemesting Grasland en
Voedergewassen
p.a. Wageningen UR Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
E-mail webmaster.asg@wur.nl
Internet <http://www.bemestingsadvies.nl>

Vormgeving, redactie en fotografie

Animal Sciences Group
van Wageningen UR

© Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen

Overname van de adviezen is toegestaan,
mits de bron uitdrukkelijk wordt vermeld

De Commissie Bemesting Grasland en
Voedergewassen is een initiatief van LTO-
Nederland en wordt gefinancierd door
ZuivelNL. De commissie draagt er zorg voor
dat er een onafhankelijk bemestingsadvies
voor iedereen beschikbaar is.

Aansprakelijkheid

De Commissie Bemesting Grasland en
Voedergewassen aanvaardt geen
aansprakelijkheid voor eventuele schade
die voortvloeit uit het gebruik van de
bemestingsadviezen.

Rapport 2

Evaluatie NLV-concept op grasland Is een update nodig?

Gerard H. Ros

Nick van Eekeren

Februari 2016

Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
1.1	Afnemend eiwitgehalte graskuilen	6
1.2	Belang van natuurlijke N-levering	6
1.3	Concrete vragen.....	7
1.4	Leeswijzer	7
2	Totstandkoming huidig NLV	8
2.1	NLV in Adviesbasis 1994	8
2.2	NLV in Adviesbasis 1998	10
2.3	NLV in adviesbasis 2008.....	12
2.4	Samenvattend: veranderingen in Adviesbasis	13
2.5	Optimalisatie N-gift op basis van NLV	13
3	Betrouwbaarheid en gebruikersgemak NLV	15
3.1	Inleiding.....	15
3.2	Uitbreiding proefgegevens	16
3.2.1	Zandgronden.....	17
3.2.2	Kleigronden.....	18
3.2.3	Veengronden	19
3.3	Conclusies & praktijk gebruik huidige systeem.....	20
4	Hoe verder met het NLV?	21
4.1	Theoretische reflectie.....	21
4.1.1	Statistische modellen	21
4.1.2	Mechanistische modellen	23
4.1.3	Spectroscopische methoden	24
4.2	Naar de praktijk: oplossingsrichtingen	24
4.2.1	Bedrijfsspecifieke herijking	24
4.2.2	Upgrade huidige NLV-systematiek: optie 1	25
4.2.3	Upgrade huidig NLV-systematiek: optie 2	25
4.2.4	Tijdspad	26
5	Conclusies en aanbevelingen.....	27
5.1	Samenvattende reflectie	27
5.2	Verbeteringen op korte termijn.....	27
5.3	Contouren voor langere termijn	29
6	Gebruikte literatuur.....	31
	Bijlage 1.....	33

Voorwoord

De LTO-Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen (CBGV) heeft als taak adviezen op te stellen voor een landbouwkundig verantwoord gebruik van meststoffen. De CBGV streeft na om die adviezen zo perceelsspecifiek mogelijk te maken. Zo is het advies voor de bemesting met stikstof (N) afhankelijk gemaakt van wat de grond 'van nature' zelf levert. Dat is het zogenaamde N-leverend vermogen van de bodem (NLV). Het NLV wordt geschat op basis van een grondmonster waarin de hoeveelheid organisch gebonden N gemeten wordt. Het daadwerkelijk vrijkomen van N uit die organische voorraad hangt onder meer af van weersomstandigheden en varieert daarom van jaar tot jaar. Het is dus voorstelbaar dat meer kennis over die variatie tot betere N-adviezen kan leiden. Over de perspectieven daarvan gaat het bijgaande rapport. Het heeft echter geen zin om adviezen op basis van dit soort kennis te verfijnen, als andere factoren het effect van het NLV op de te adviseren N gift blijken op te heffen. De te adviseren hoeveelheid N hangt namelijk niet alleen van het NLV af, maar ook van de mate waarin een gewas aangeboden N weet op te nemen - de zogenaamde N-benutting -. Daarnaast bepaalt de potentiële gewasopbrengst de vraag naar N. Daarbij speelt de vochtvoorziening een belangrijke rol. Deze factoren hebben mogelijk tegengestelde effecten op de N-behoefte. De verschillen tussen de uiteindelijke adviezen worden dan erg klein. De CBGV laat daarom op dit moment een heranalyse van graslandproeven uitvoeren naar de mogelijke verbanden tussen de genoemde factoren. De uitkomst van die studie zal aangeven of verdere verfijning van adviezen op basis van NLV-voorspellingen zinvol is.

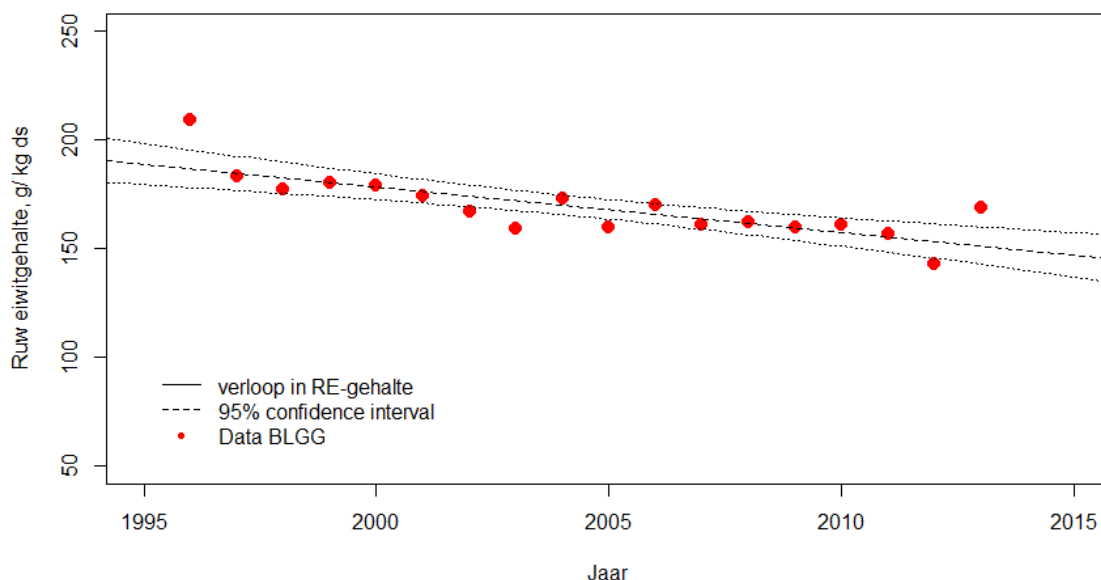
Wageningen, 23 februari 2016

De LTO-Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen

1 Inleiding

1.1 Afnemend eiwitgehalte graskuilen

Met het verdwijnen van quotering en de hoge prijzen van voer in het algemeen, en eiwitproducten specifiek, neemt de roep om (eiwit)productie van eigen (gras)land alleen maar toe. Grasland-productie kan worden beïnvloed door bodemkwaliteit, bemesting en graslandmanagement. Denk bijvoorbeeld aan de N-levering van de bodem, de verdeling organische mest en kunstmest, de deling van kunstmestgiften, en graszodekwaliteit. Door allerlei redenen is het jaargemiddelde ruw eiwitgehalte de afgelopen jaren gedaald: van 207 gram ruw eiwit per kilo droge stof in 1996 naar ~160 gram in de jaren 2010 tot 2013. De oorzaak van deze daling wordt onder andere gezocht bij de aangescherpte bemestingsnormen én veranderende N-levering van bodems.



Figuur 1-1 Het verloop van het jaar gemiddelde ruweiwitgehalte in graskuilen over de periode 1996-2013 (Bron: BLGG).

1.2 Belang van natuurlijke N-levering

Inzicht in de natuurlijke N-levering van bodems gedurende het seizoen is gewenst om de bemesting af te stemmen op de grasbehoefte en de N-levering vanuit de bodem. Een goed advies (en daadwerkelijke toepassing in de praktijk) is belangrijk om de grasproductie en de voederwaarde (o.a. het ruw eiwitgehalte) te verhogen, dan wel te handhaven op een gewenst niveau.

In de huidige advies-systematiek wordt de N-levering van gronden geschat op basis van de hoeveelheid N in de bovenste 10 cm van een bodemprofiel (CBGV, 2012). Deze statistische relatie is gebaseerd op een langjarige reeks aan veldproeven (Hassink, 1995) en geeft geen directe schatting

van de N-mineralisatie, maar gebruikt het N-tot gehalte om een schatting te geven van de N-opname op een onbemest perceel. Omdat de gebruikte gegevens voor deze relatie zijn afgeleid van veldproeven in de jaren '70 en '80 is het mogelijk dat de huidige adviezen niet overeenkomen met de werkelijke N-levering.

Een overschatting van de N-levering kan onder andere worden veroorzaakt door de verlaagde aanvoer van dierlijke mest (minder aanvoer van makkelijk afbreekbaar organisch materiaal), de verlaagde depositie, de hogere droge stof productie van grassen door veredeling, en een verhoging van piekafvoeren door sterke neerslag. Een onderschatting van de N-levering daarentegen kan onder andere worden veroorzaakt door een warmer groeiseizoen (m.n. de laatste 15 jaar). Als de werkelijke N-levering wordt onderschat dan heeft dat als consequentie dat de gevolgen van afnemende N-bemesting op het ruw eiwitgehalte ook worden onderschat omdat de bodem een deel van de afname compenseert.

Naast het directe effect van een onderschatte of overschatte N-levering heeft dit ook consequenties voor het bemestingsadvies van N. Bij het huidige stikstofbemestingsadvies wordt er vanuit gegaan dat het rendement van stikstofbemesting afneemt bij een hogere N-levering van de bodem. Als de N-levering niet correct wordt ingeschat, wordt hiermee ook het stikstofbemestingsadvies verkeerd ingeschat.

1.3 Concrete vragen

Om de N-bemesting goed af te stemmen op de natuurlijke N-levering van bodems is het nodig om inzicht te krijgen in de onderliggende oorzaken van het dalend ruw eiwitgehalte en de bijdrage van de bodem via N-mineralisatie. Concreet moeten de volgende vragen worden beantwoord:

- Zorgt toepassing van het huidige NLV advies tot een consequente over- dan wel onderschatting van de werkelijke N-opname op een onbemest perceel? Met andere woorden: hoe accuraat is het huidige NLV-advies?
- Welke mogelijkheden zijn er om het huidige NLV-advies te verbeteren? En wat is er nodig (op welke termijn) om tot een verbeterd NLV-advies te komen?
- Heeft een aanpassing van het NLV-advies gevolgen voor het daaraan gekoppelde N-bemestingsadvies? En zo ja, op welke manier kan deze kennis naar de praktijk toe worden gebracht?

1.4 Leeswijzer

Na deze inleiding wordt in hoofdstuk 2 een korte beschrijving gegeven van de totstandkoming van het huidige NLV-advies. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de betrouwbaarheid en het gebruikersgemak van het huidige bemestingsadvies, waarna in hoofdstuk 4 een aantal mogelijkheden worden beschreven om tot een verbeterd NLV-advies te komen.

2 Totstandkoming huidig NLV

2.1 NLV in Adviesbasis 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 Ruitenberget 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 onderscheid gemaakt tussen minerale en veengronden (Tabel 2-1), waarbij binnen beide groepen twee NLV-klassen werden gedefinieerd.

Voor veengronden werd het onderscheid tussen beide klassen gebaseerd op de ontwaterings-toestand 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. Daarom vielen alleen kleigronden met een zéér hoog organisch stofgehalte (de venige 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 groeiseizoen beschikbaar kan komen geschat op 230 tot 300 kg N ha⁻¹ voor veengronden, op 200 kg N ha⁻¹ voor minerale gronden met veel organische stof, en op 140 kg N ha⁻¹ voor overige minerale gronden (Tabel 2-1).

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

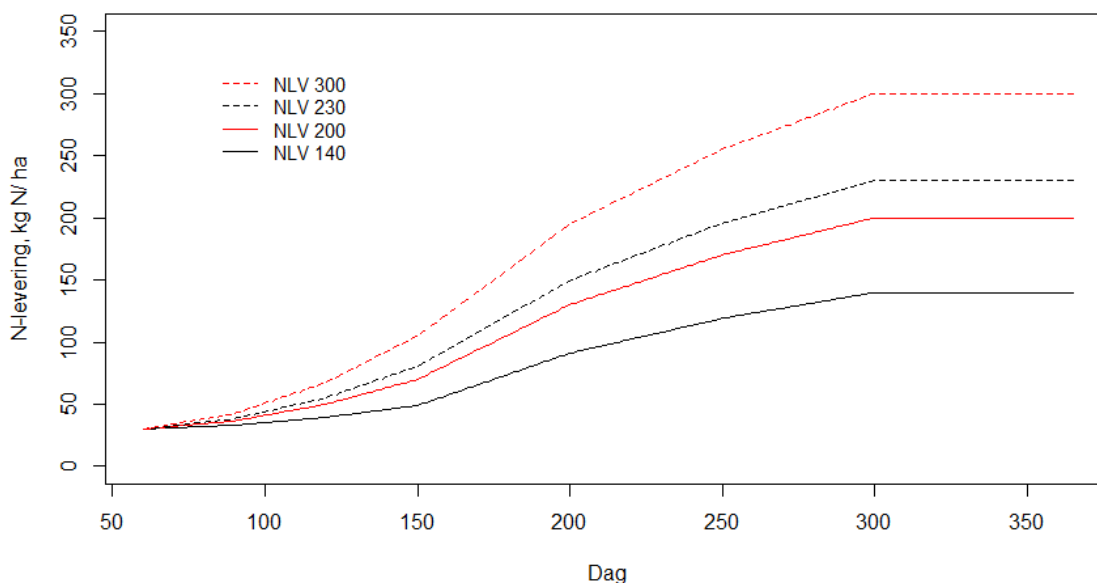
NLV-klasse	NLV (kg ha ⁻¹) ¹⁾	Grondsoort	Omschrijving / grondwatertrap	Slootpeil
1	300	Veen	GWT II, III	40-70 cm
2	230	Veen	GWT I, II	< 40 cm
3	200	Zand/klei	Zeer humeus zand (C:N ratio <13) Humusrijk zand en zavel Venig zand en venige klei	-
4	140	Zand/klei	Overige minerale gronden	-

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 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 (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).

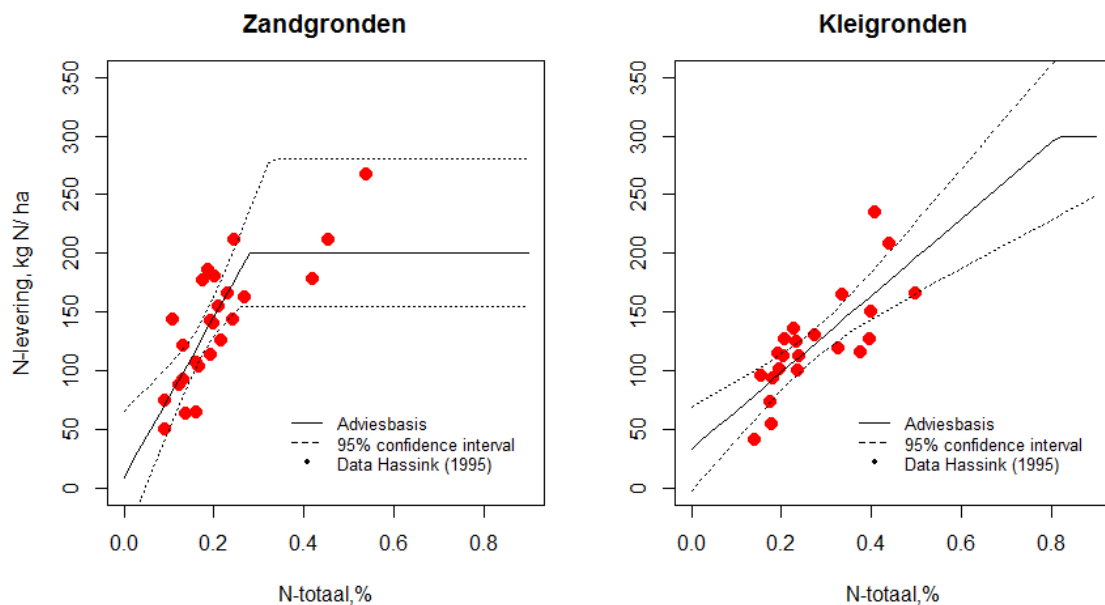
Deze verdeling van NLV over het groeiseizoen is afgeleid uit veldproeven (8 proeven, diverse grondsoorten, uitgevoerd in jaren '60-'70) en de verdeling over het seizoen kan grotendeels worden toegeschreven aan verschillen in temperatuur en daarmee samenhangend met verschillen in afbraaksnelheden. Er 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).

2.2 NLV in Adviesbasis 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 NLV 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 (1996) 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 (Figuur 2-2), 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 berekende en gemeten NLV beduidend kleiner (Vellinga, 1998). Hierbij wordt voor zandgronden een maximum aangehouden van $200 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$, voor kleigronden een maximum van $230 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$, voor slecht ontwaterde percelen en $300 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ voor goed ontwaterde percelen.



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

Omdat de hoeveelheid minerale N verwaarloosbaar is ten opzichte van de hoeveelheid organisch N, kan ook gebruik gemaakt worden van N-totaal. De aanname van $30 \text{ kg N}_{\text{min}}$ aan het begin van het groeiseizoen wordt voor klei gehandhaafd, maar voor zand sterk naar beneden bijgesteld. De langzamere stijging van NLV op kleigronden komt overeen met de aanname dat kleideeltjes in staat zijn om organische moleculen te beschermen voor afbraak. Voor veengronden was geen indicator beschikbaar waarmee het NLV van de bodem geschat kon worden. De bestaande indeling (advies 1994) bleef daarom gehandhaafd. De verdeling van de N-levering over het seizoen bleef ook ongewijzigd (Vellinga et al., 1993).

Op basis van de verzamelde gegevens van Ruitenberget al (1991) werd in 1994 een lagere N-werking verondersteld op de veengronden: de ANR op veengronden bedroeg slechts 60% en op zand- en kleigronden 80%. Na een heranalyse en update van de gebruikte bronnen bleek het verschil tussen veengronden en zand- en kleigronden kleiner te zijn dan was verondersteld (Vellinga, 1998). In het advies van 1998 is dit verschil tussen grondsoorten daarom niet meer meegenomen.

Naast de hierboven beschreven wijzigingen werden een aantal onderdelen geoptimaliseerd:

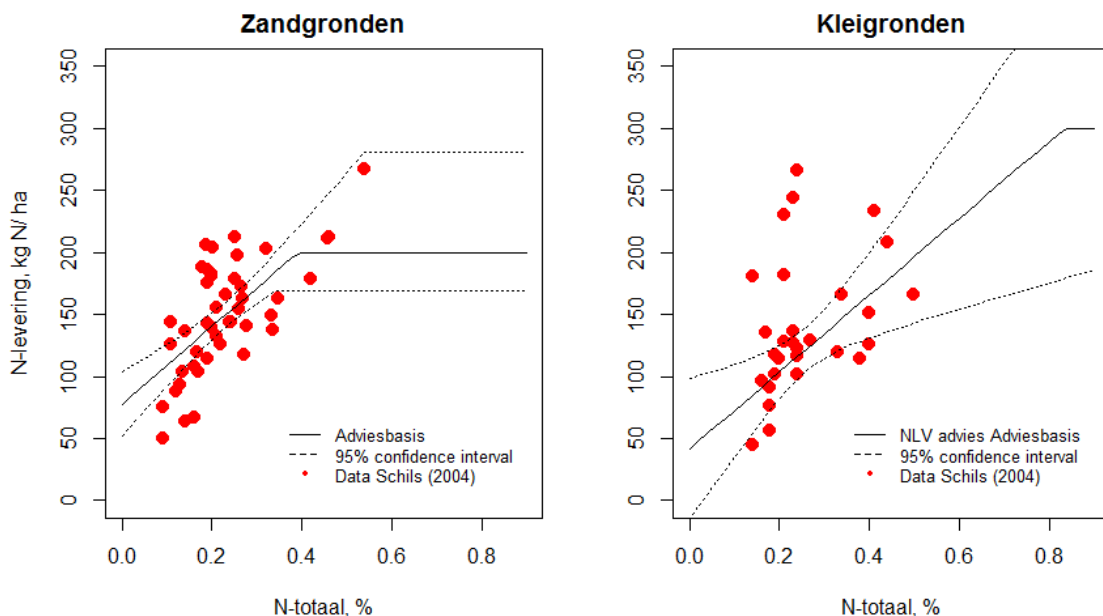
- in het advies van 1998 werd een betere schatting gegeven van de te verwachten streefopbrengsten gedurende het seizoen;
- er werd een duidelijker en concreter advies gegeven voor droge omstandigheden; en
- de invloed van de N-levering op de optimale N-gift per snede is nauwkeuriger bepaald.

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. Hierbij zijn gegevens gebruikt van NP-proeven uit Lelystad, mestproeven van De Marke en Budel-Bakel, veldproeven uit het VelVanla project en gegevens van SANS-proeven. De gebruikte gegevens worden gevisualiseerd in Figuur 2-3.

Vanwege grote onzekerheid over de verkregen gegevens van kleigronden werd besloten om alleen een aanpassing door te voeren voor 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 (CBGV, 2008).

2.4 Samenvattend: veranderingen in Adviesbasis

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 NLV-klassen op basis van gehalte aan organisch stof en textuur (zand, zavel en klei). Veembodems werden opgedeeld in twee klassen op basis van drainage/ grondwaterpeil.
- Vanaf 1998 werd de NLV direct afgeleid van het gehalte aan N-totaal in de bodem. De indeling in klassen komt te vervallen. Er wordt nog wel onderscheid gemaakt tussen klei en zandbodems. Voor veengronden wordt slechts één NLV gehanteerd, zonder onderscheid te maken naar grondwaterpeil. Gebruik makend van een vaste seizoens-correctie wordt berekend hoeveel van de totale hoeveelheid beschikbaar N per maand beschikbaar komt.
- In 2008 is er op basis van aanvullende gegevens een aanpassing gemaakt voor zandgronden. Het advies voor klei- en veengronden, en de gebruikte seizoens-correctie blijven ongewijzigd.

2.5 Optimalisatie N-gift op basis van NLV

Het stikstofbemestingsadvies wordt gestuurd door de N-jaargift en het stikstofleverend vermogen van de grond. De N-jaargift is de vooraf geplande hoeveelheid stikstof die jaarlijks wordt toegediend via kunstmest en dierlijke mest én hangt samen met de wettelijke gebruiksnorm voor stikstof. Met het grasgroeimodel GRAMIN zijn in 1998 berekeningen uitgevoerd om de N-bemesting te optimaliseren op bedrijfsniveau in relatie tot het graslandmanagement. De gebruikte randvoorwaarde voor het marginaal stikstofeffect was 7,5 kg ds per kg N, dat wil zeggen dat de laatst gestrooide kg stikstof minimaal een opbrengstverhoging van 7,5 kg ds moet realiseren.

In het grasgroeimodel varieert de N-werking van meststoffen en vrijgekomen N via mineralisatie gedurende het groeiseizoen. De N-werking wordt berekend via een empirisch (dan wel statistisch) model waarbij de N-opname afhangt van de groeiperiode van een snede, de groeisnelheid van het gewas, de N-levering vanuit de bodem, de gewasrespons op N-bemesting en de werkingscoëfficiënt voor mineraal N (Vellinga, 2006). In het groeimodel wordt aangenomen dat de stikstof die uit de bodem komt 20% meer effectief is dan kunstmeststikstof. De hoeveelheid effectieve N wordt daarbij als volgt berekend:

$$N_{effectief} = (N_{mest} + N_{bodem}) * (1 - eff) * e^{-N_{response} * N_{mest}}$$

De parameters van het groeimodel zijn gebaseerd op onderzoek naar het groeiverloop van gras (Prins, 1980; Wieling en de Wit, 1987) en onderzoek naar de nawerking van eerder gegeven stikstof (Prins, 1980; Vellinga, 1989). De verdeling van NLV over het groeiseizoen is dezelfde als die voor het bemestingsadvies van 1994 (Vellinga et al., 1993). Sinds 2003 wordt gewerkt aan een nieuwe versie van het onderliggende grasgroeimodel en het is de bedoeling het huidige GRAMIN-model in 2015-2016 te vervangen (Holshof, 2014, pers. mededeling).

De invloed van het N-leverend vermogen van de grond op de gewenste N-jaargift is bij hogere streefopbrengsten hoger dan bij lagere streefopbrengsten door een langere groeiperiode (Vellinga, 1998). De reden dat een verschil in NLV niet geheel tot uiting komt in een bemestingsverschil hangt samen met gereduceerde groei onder veldomstandigheden en het feit dat de bemestingsperiode korter duurt dan de periode waarin NLV wordt gemeten.

Gebruik makend van de GRAMIN-modelresultaten (zoals deze in de adviesbasis zijn terechtgekomen) is de relevantie van een nauwkeurig NLV schatter voor de praktijk *indicatief* afgeleid van de relatie tussen NLV en N-jaargift. Gemiddeld over de NLV range van 50 tot 300 kg N ha⁻¹ wordt de N-jaargift met 6,1 kg N ha⁻¹ verlaagd per 10 kg toename in NLV. De verandering in N-jaargift voor de default situatie (weiden & maaien) op een niet-droogtegevoelige bodem varieert van een verlaging van 0,4 tot 0,8 kg N ha⁻¹ per kg stijging van het NLV binnen het NLV-traject van 50 tot 300 kg N ha⁻¹. In het traject van 100 tot 180 kg N leidt een verschil in NLV van 80 kg N tot een bemestingsverschil van 44 kg N: de bemesting daalt gemiddeld dus met 5,5 kg N per 10 kg stijging in NLV. Bij ander graslandgebruik (zomerstalvoeding of summerfeeding) ligt het bemestingsverschil binnen dit traject rond de 6,2 kg N ha⁻¹ per 10 kg stijging in NLV.

Bij een gebruiksnorm van 230 tot 250 kg N ha⁻¹ voor zandgronden, wordt de gewenste N-jaargift in vrijwel alle normaal voorkomende situaties gekort: de meeste praktijkpercelen hebben een NLV kleiner dan 300 kg N ha⁻¹ waarvoor een N-jaargift groter dan 230 kg N ha⁻¹ gewenst zou zijn. Als een verandering in NLV naar rato wordt doorgerekend (d.w.z. het snede-advies wordt lineair gecorrigeerd door de gebruiksnorm (zie Adviesbasis, 2012)), dan zal binnen het gangbare traject een verschil van 80 kg N in NLV leiden tot een bemestingsverschil van ~29 kg N ha⁻¹. Voor grasland met volledig maaien mag voor minerale gronden 320 tot 385 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹ worden bemest, waardoor de N-jaargift wordt gekort bij bodems met een NLV kleiner 170 tot 240 kg N ha⁻¹. In alle situaties kan een afwijkende NLV dus leiden tot suboptimale bemesting. Voor een goed bemestingsadvies is het daarom belangrijk om inzicht te hebben in mogelijke verschillen in N-levering tussen percelen én het vrijkomen van N op percelen gedurende het seizoen.

3 Betrouwbaarheid en gebruikersgemak NLV

3.1 Inleiding

Welke omstandigheden zijn vandaag de dag anders in vergelijking met de historische proefgegevens waarop het NLV is gebaseerd? Concreet gaat het om veranderingen in depositie, aanvoer van mest, bodemtemperaturen en grasproductie. De N-opname van gras is namelijk de resultante van diverse processen: mineralisatie en immobilisatie, depositie en fixatie (in het geval van de aanwezigheid van klaver), en de emissie van stikstof naar lucht en water (via uitspoeling, denitrificatie, vervluchtiging). Veranderingen in aanvoer via depositie, fixatie of bemesting zullen daarmee zichtbaar zijn in de N-opname van gras. In de afgelopen 20 jaar is de depositie gedaald, de aanvoer van dierlijke mest en kunstmest verminderd, is de mineralisatie van de bodem mogelijk verhoogd door hogere temperaturen, en is de potentiële droge stofproductie gestegen via veredeling. Op basis van deze veranderingen is het mogelijk dat de werkelijke NLV structureel gaat afwijken van de gebruikte NLV-systematiek uit de Adviesbasis. De dalende trend in RE-gehalten in gras lijkt dat te bevestigen.

Is de werkelijke NLV nu hoger of lager dan het berekende NLV-advies dat gebaseerd is op de data van Hassink (1996)? Om deze vraag te beantwoorden zijn historische gegevens verzameld van veldproeven waarbij de N-opname op een onbemest veldje is gemeten. Hiervoor is gebruik gemaakt van de dataset die in 2004 is gemaakt in opdracht van CBGV (Schils, 2004), aangevuld met recente gegevens van veldexperimenten van LBI, ASG, NMI, PRI en andere partijen. De dataset bevat ook gegevens van proeven waarbij de P- en K-bemesting van de onbemeste controle suboptimaal zijn. Aanvullende vragen rond de *oorzaak van de onderliggende variatie* (historische bemesting, grasmanagement, grondwater, weer, bemonsteringsdiepte, nauwkeurigheid N-totaal (directe meting vs. schatting)) zijn in deze studie *niet* onderzocht.

Wel wordt vooraf opgemerkt dat het bijna niet mogelijk is om robuuste uitspraken te geven over de betrouwbaarheid van metingen zodra deze afwijken van de huidige NLV-systematiek. Dit hangt samen met het niet onbelangrijke feit dat er aanzienlijke variatie aanwezig is in de onderliggende dataset waarop het huidige NLV-advies is gebaseerd. De hoeveelheid verklaarde variantie door de hoeveelheid N-totaal is maximaal 50%, terwijl de afwijking van het advies op kan lopen tot meer dan 100 kg N ha^{-1} . Voor zover bekend heeft de (on)nauwkeurigheid van deze schatter geen rol gespeeld in de ontwikkeling van het NLV-advies. Vanuit statistisch oogpunt is een verbetering van het NLV-advies relevant wanneer de voorspelfout (de afwijking op het advies) structureel lager wordt of als recente metingen structureel tot een hogere of lagere NLV leiden dan het huidige NLV-advies.

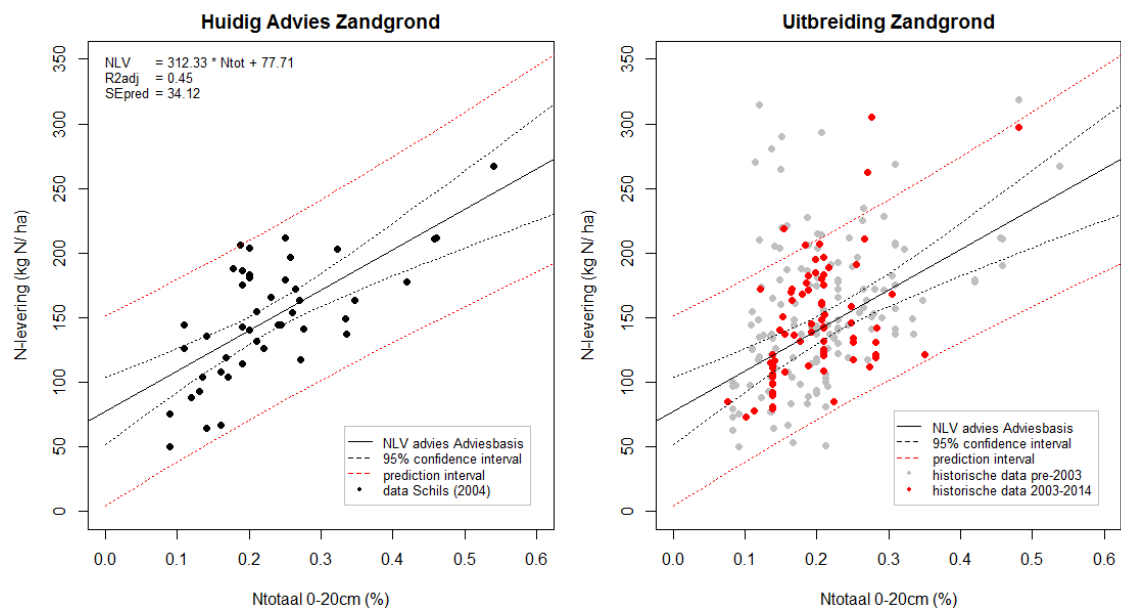
3.2 Uitbreiding proefgegevens

Binnen deze opdracht is de al bestaande dataset met proefgegevens uitgebreid. Voor zandgrond zijn er 227 observaties bekend waarbij zowel N-totaal als de N-opname in onbemeste situatie gemeten is. Voor kleigronden en veen zijn er respectievelijk 98 en 145 observaties beschikbaar. Aanvullend zijn er 242 observaties voor veen beschikbaar waarbij alleen de N-opname en de grondwaterstand bekend zijn (uit: Van der Meer et al., 2004). Een overzicht van de gebruikte experimenten en bronnen is opgenomen in de bijlage. In de meeste historische experimenten is de N-totaal gemeten in de laag 0-20 cm. In recentere experimenten wordt de hoeveelheid N-totaal in de laag 0-10 cm gemeten. Alle gegevens zijn omgerekend naar een hoeveelheid N-totaal in de laag 0-20 cm volgens de systematiek gehanteerd door Schils (2004) in de update van het NLV-advies in 2008. Als in oudere proeven de hoeveelheid N-totaal niet gemeten is, is deze geschat op basis van het organische stofgehalte en de CN-verhouding.

3.2.1 Zandgronden

Uit de onderliggende gegevens die Schils (2004) gebruikt heeft om het huidige advies voor zandgronden te verbeteren, blijkt dat er een zwak verband bestaat tussen N-totaal en de N-opname in onbemeste situatie. De gemiddelde fout op de voorspelling bedraagt 34 kg N ha^{-1} , maar kan variëren met $\pm 75 \text{ kg N ha}^{-1}$. Uitbreiding van de gebruikte gegevens met historische en recente gegevens laat zien dat de spreiding in werkelijkheid veel groter is ($R^2 = 14\%$; $SE_{\text{pred}} = 50 \text{ kg N ha}^{-1}$). De afwijking lijkt in de recente proeven kleiner te zijn dan in historische proeven, maar de afwijking van minimaal $\pm 75 \text{ kg N ha}^{-1}$ wordt bevestigd. Er is geen aanwijzing dat recente proeven structureel leiden tot een over- dan wel onderschatting van het NLV: de afwijking van het advies lijken random verdeeld te zijn.

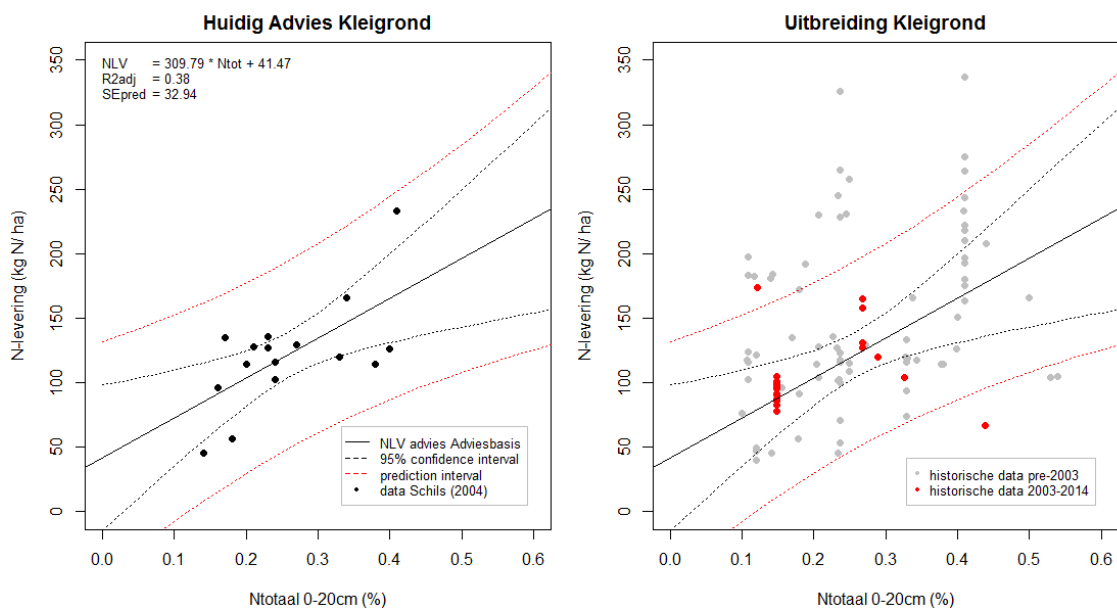
Uiteindelijk is deze variatie niet zo vreemd gezien het feit dat de verklaarde variantie door N-totaal in de laag 0-20 cm van de dataset maximaal 45-55% bedraagt (Hassink, 1995). Het betekent wel dat een mogelijke afwijking (dan wel onzekerheid) van 50 tot 100 kg N ha^{-1} het moeilijk maakt om het huidige NLV-advies betrouwbaar in te bedden binnen een N-adviesstelsel.



Figuur 3-1. Relatie tussen N-totaal en NLV (CBGV, 2008) in relatie tot proefgegevens zand.

3.2.2 Kleigronden

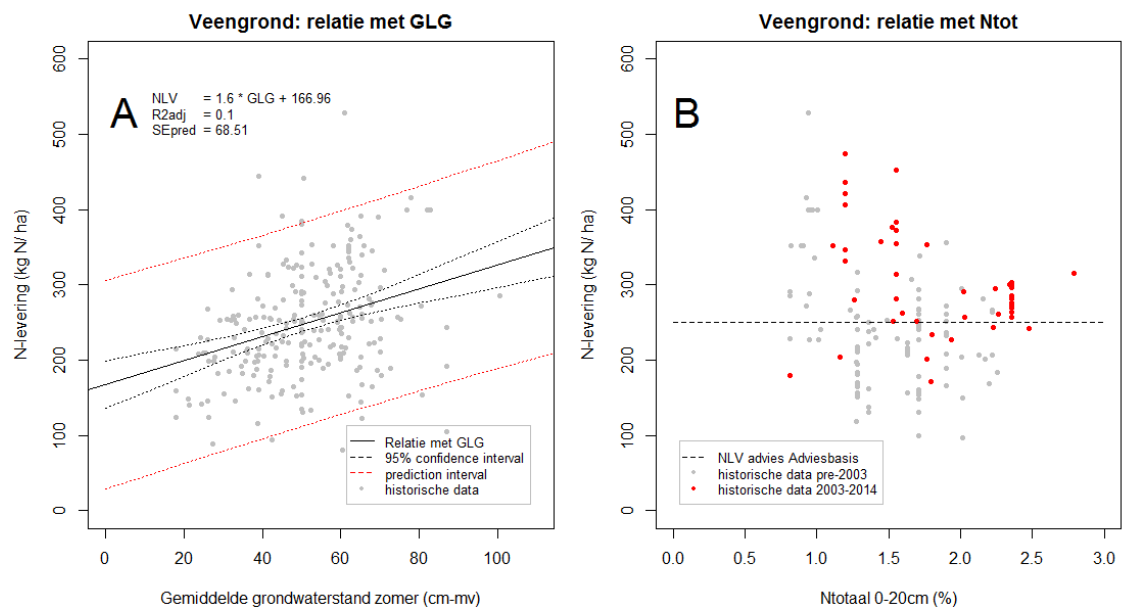
Uit de onderliggende gegevens die Schils (2004) gebruikt heeft om het huidige advies voor zandgronden te verbeteren, blijkt dat er een zwak verband bestaat tussen N-totaal en de N-opname in onbemeste situatie: de verklaarde variantie is 38%. Dit verband is daarmee minder sterk dan voor zand, en laat zien dat de onzekerheid dermate hoog is dat N-totaal geen nauwkeurige schatting kan geven van de N-levering in een onbemeste situatie. De gemiddelde fout op de voorspelling voor een individueel perceel bedraagt 33 kg N ha^{-1} , maar kan variëren met $\pm 100 \text{ kg N ha}^{-1}$. Uitbreiding van de gebruikte gegevens met historische en recente gegevens laat zien dat de spreiding in werkelijkheid veel groter is: de afwijking kan oplopen tot $> 200 \text{ kg N ha}^{-1}$. De afwijking lijkt in de recente proeven kleiner te zijn dan in historische proeven, maar er zijn onvoldoende gegevens beschikbaar om deze suggestie te onderbouwen. Er is geen aanwijzing dat recente proeven structureel leiden tot een over- dan wel onderschatting van het NLV: de afwijking van het advies lijkt random verdeeld te zijn.



Figuur 3-2. Relatie tussen N-totaal en NLV (CBGV, 2008) in relatie tot proefgegevens klei.

3.2.3 Veengronden

Voor veengronden is er geen relatie tussen de N-opname in onbemest veldje en de hoeveelheid N-totaal of de grondwaterstand in de zomer. De hoeveelheid verklaarde variantie is in beide situaties kleiner dan 10%. Ten opzichte van het huidige advies van 250 kg N ha⁻¹ kan de N-levering met 150 kg N ha⁻¹ worden overschat, maar ook met 200 kg N ha⁻¹ worden onderschat. Recente proeven lijken te suggereren dat er veelal sprake is van een onderschatting: de gemeten N-opname in proeven na 2003 lijkt structureel hoger te zijn dan de geschatte NLV (Figuur 3-3).



Figuur 3-3. Relatie tussen N-totaal, grondwaterstand en NLV in relatie tot proefgegevens veengrond.

In vergelijking met de minerale gronden, is de verklaarde variantie van N-totaal op veen erg laag. Concreet betekent dit dat de hoeveelheid N-totaal in veengronden geen goede indicatie geeft (of kan geven) van de N-levering dan wel N-opname van gras. Er is ofwel sprake van maximale N-opname (bij het gegeven maaieregime) of andere omstandigheden als grondwaterstand, pH en bodem-structuur spelen een belangrijkere rol voor de grasgroei en N-opname op veen. Ter illustratie, het onderzoek van Deru et al. (2012) laat zien dat de N-opname in onbemeste veldjes gerelateerd was aan de Ca:Mg-verhouding.

3.3 Conclusies & praktijk gebruik huidige systeem

Uit de onderliggende proefgegevens blijkt dat er in de praktijk aanzienlijke variatie kan optreden in de NLV van zand-, klei- en veengronden: de afwijking kan oplopen tot 100 kg N ha^{-1} voor minerale gronden. Deze variatie lijkt maar in beperkte mate samen te hangen met de variatie in N-totaal voor zandgronden, terwijl deze relatie afwezig is voor klei- en veengronden. Recente proefgegevens versterken dit beeld, maar geven geen aanleiding om te concluderen dat het advies structureel leidt tot een over- dan wel onderschatting. Beide situaties kunnen voorkomen. Alleen voor veengronden lijkt de NLV in recente proeven structureel hoger te liggen dan het huidige advies.

De grote afwijking die op kan treden betekent wel dat andere factoren dan N-totaal minstens zo belangrijk zijn in de N-opname op onbemeste percelen: de N-levering wordt niet alleen door N-totaal bepaald, maar ook textuurafhankelijke parameters, het weer, en de kwaliteit van de aanwezige organische stof spelen een rol. Verfijning van het N-advies is gewenst om de voorspelfout te verkleinen.

Een afwijking in NLV van 100 kg N ha^{-1} betekent concreet dat de N-jaargift met maximaal 60 kg N ha^{-1} wordt overschat dan wel onderschat. Omdat differentiatie tussen percelen én sneden steeds belangrijker wordt binnen de huidige gebruiksnormen, is een nauwkeurige inschatting van het NLV belangrijk om zowel een goede gewasproductie te realiseren als het ruweitgehalte op een optimaal niveau te houden.

Bij eventuele aanpassing van de bepaling van NLV moeten we ons ook bewust zijn hoe het merendeel van de praktijk nu de NLV gebruikt. De NLV wordt gebruikt voor het officiële bemestings-advies dat men opstelt voor de derogatie, maar de meeste bedrijven differentiëren in de praktijk nog niet de N-bemesting per perceel aan de hand van de NLV. Advisering is er nu heel sterk op gestoeld dat bedrijven op bedrijfsniveau hun graslandpercelen indelen in een aantal NLV-klassen (minimaal 2) en deze klassen anders bemesten. De praktijk wordt zich wel steeds meer bewust dat maatwerk per perceel nodig is, mede door invloed van de KringloopWijzer waarin de benutting op bodemniveau een centrale rol krijgt.

Daarnaast verwacht ook een gedeelte van de veehouders dat over 5-10 jaar de werkelijke opbrengst van een perceel kan worden gemeten en deze gegevens kunnen worden gebruikt voor maatwerk in bemesting.

4 Hoe verder met het NLV?

Na de invoering van het NLV-advies dat gebruikt maakt van het N-totaal gehalte in de bodem in 1998 is deze systematiek in 2002 geëvalueerd (Bussink et al., 2002). Het gebruik van N-totaal als voorspeller van het N-leverend vermogen werd gezien als een aanmerkelijke verbetering ten opzichte van de situatie voor 1998. Tegelijkertijd werd de grote mate van onzekerheid erkend en verklaard door variatie in de kwaliteit en samenstelling van organische stof, de weersomstandigheden en het graslandmanagement. Sinds 2002 zijn hiervoor echter geen oplossingen toegevoegd aan de adviessystematiek. In dit hoofdstuk geven we een korte theoretische reflectie gebaseerd op het onderzoek wat de afgelopen 12 jaar is uitgevoerd, en beschrijven we een aantal oplossingsrichtingen die op korte of langere termijn tot een verbetering van het NLV-advies kunnen leiden.

4.1 Theoretische reflectie

Er zijn theoretisch vier mogelijkheden om de NLV van graslandgronden te voorspellen:

- Het gebruik van *mechanistische of empirische modellen* die op basis van een aantal inputparameters een voorspelling geven van de N-mineralisatie gedurende het groeiseizoen. Deze aanpak kan zowel direct als indirect zijn. In de directe benadering wordt de N-mineralisatie gesimuleerd in relatie tot abiotische bodemeigenschappen of biologische parameters. Via een indirecte benadering wordt de gewasgroei gemodelleerd, waarbij de gewasopname gebruikt kan worden als indicator van de N-levering van de bodem. De tijdschaal van deze modellen varieert van uren tot jaren.
- Het gebruik van *statistische modellen* waarbij één of meerdere (bodem)parameters gebruikt worden om de N-levering op snede- of jaarniveau te kwantificeren. Variatie in weersomstandigheden of graslandmanagement kunnen hierbij als categorische variabelen zijn meegenomen. De oude en huidige NLV-systematiek is een voorbeeld van deze benadering op basis van N-totaal.
- Het gebruik van *spectroscopische methoden* als NIRS waarbij het lichtspectrum van een bodemmonster rechtstreeks gekoppeld wordt aan klassieke NLV-metingen. Het is een eigenschap van de bodem, waardoor effecten van weersomstandigheden niet worden meegenomen. Verschillen in bemestingsverleden, OS-kwaliteit en management kunnen echter zichtbaar worden in het spectrum.
- Een willekeurige combinatie van voorgaande methoden.

4.1.1 Statistische modellen

Recent onderzoek van Ros et al. (2011) heeft aangetoond dat een directe voorspeller van de N-opname gebaseerd op bodemparameters (de statistische benadering) niet mogelijk is. Met andere woorden: voor een accurate schatting van N-levering onder veldomstandigheden moet

niet alleen rekening worden gehouden met de hoeveelheid N-totaal (of organische stof), maar ook met factoren die de mineralisatiesnelheid beïnvloeden (zoals vocht en temperatuur). Gebruik makend van meta-analyse hebben zij vrijwel alle wetenschappelijke publicaties met veld- en laboratoria-proeven onderzocht. De verklaarde variantie in veldproeven was gebruikelijk lager dan 20% (n = 291 experimenten). De ontwikkeling van een directe voorspeller van de N-levering onder veldomstandigheden (zonder correctie voor weersomstandigheden) is dan ook een doodlopende weg. Dit betekent ook dat het huidige NLV-concept (dat alleen gebruik maakt van N-totaal) niet voldoet: de beste oplossing ligt dus niet in het finetunen van het huidige concept, maar in de ontwikkeling van een nieuw NLV-concept. Tegelijkertijd vereist dit een onzeker onderzoekstraject waardoor agrariërs nog een aantal jaren moeten wachten voordat ze beschikking krijgen over een robuuste inschatting van het NLV. Maar is een slecht alternatief te prefereren boven de afwezigheid van informatie?

Een alternatief wordt mogelijk geboden door de voorspelling van de potentiële N-levering onder constante temperatuur en vochtgehalten. Uit de studie van Ros (2011) bleek dat de verklaarde variantie voor laboratoria-proeven gemiddeld boven de 50% ligt. Het gebruik van meerdere bodemparameters die de hoeveelheid en kwaliteit van de organische stof reflecteren, mogelijk in combinatie met textuur, behoort daarbij tot een potentiële oplossingsrichting (Ros, 2011). Dit betekent ook dat er aanvullend gecorrigeerd moet worden voor de verschillen tussen laboratorium en veldproeven. Vocht en temperatuur zijn daarbij de belangrijkste factoren (Vellinga et al., 1996; Ros & Bussink, 2012): voor een willekeurig jaar kan door vocht en temperatuur de NLV tot meer dan 100 kg N ha⁻¹ afwijken van het langjarig gemiddelde (Verloop et al., 2007). Wouters en Hassink (1996) en Bussink et al. (2002) geven aan dat het anticiperen op toekomstige groeiomstandigheden een bruikbare mogelijkheid biedt om de opname van N te verhogen. Een eerste stap om meer rekening te houden met deze weersinvloeden is gemaakt door Ros & Bussink (2012). Zij ontwikkelden een dynamische N-adviessystematiek waarbij rekening wordt gehouden met de dagelijkse variatie in weersomstandigheden én de weersverwachting van KNMI. De voorgestelde indirecte benadering via de potentiële mineralisatiesnelheid vraagt daarmee een ander NLV-concept dan het huidige advies; het is m.a.w. een combinatie van de empirische en statistische modelbenadering. Het is wel waarschijnlijk dat ook hierbij gebruik wordt gemaakt van N-totaal. Tot op heden is dit nieuwe concept echter beperkt getest en gevalideerd op praktijkgegevens, zodat het nog onduidelijk is of dit inderdaad tot een verbetering van het N-advies leidt.

Eén belangrijk aandachtspunt bij de statistische modelbenadering is het ontbreken van een goede indicator van veranderingen in organische stof kwaliteit. Voor minerale gronden is er overvloedige bewijs dat het N-leverend vermogen toeneemt met de hoeveelheid stikstof dat aanwezig is in de bodem (Ros, 2011). Voor veengronden is dat overduidelijk niet het geval. Tegelijkertijd is er sprake van grote variatie tussen bodems en jaren, veroorzaakt door variatie

in organische stof kwaliteit (Ros, 2011, Deru et al., 2012) en weersomstandigheden. Helaas zijn er tot op heden geen methoden beschikbaar om de kwaliteit van organische stof, en de daarmee samenhangende N-mineralisatie kwantitatief in beeld te brengen. In de afgelopen decennia zijn tientallen fractioneringsmethoden ontwikkeld om de labiele fractie van organisch N in beeld te brengen, maar deze methoden zijn niet in staat om de N-levering in het veld accuraat te voorspellen (Ros, 2011). In vrijwel alle experimenten zijn de geëxtraheerde beschikbare N-fracties in de bodem gerelateerd aan de hoeveelheid organische stof: hoe meer organische stof in de bodem, hoe meer beschikbaar N er aanwezig is. In enkele studies levert de hoeveelheid organische stof zelfs een betere inschatting op van het NLV dan de hoeveelheid N-totaal (bijv. van Eekeren et al., 2010). Wel is het mogelijk om de voorspellende waarde van bodemtesten te verbeteren wanneer rekening gehouden wordt met een factor organische stof kwaliteit, benaderd via de relatieve verhouding aan beschikbaar N ten opzichte van totaal N of textuur-gerelateerde parameters. Zolang een indicator voor organische stofkwaliteit ontbreekt zal een op bodemparameters gebaseerd model alleen toepasbaar zijn binnen de omstandigheden waarop het model gekalibreerd is. Als er door wetgeving of andere factoren (bijv. klimaat) structurele wijzigingen optreden in bijvoorbeeld de aanvoer van organische mest of afbraaksnelheden, dan is het waarschijnlijk dat de kwaliteit van organische stof verandert, en daarmee ook de relatie tussen bodemparameters en N-levering.

Een toepassingskwestie die vaak over het hoofd wordt gezien, is de validatie van ontwikkelde rekenregels. De rekenregels waarop de huidige NLV systematiek zijn gebaseerd laat van zichzelf al een enorme variatie zien tussen de gemeten en berekende N-levering (binnen de kalibratie-set). Daarnaast is de relatie tussen beide (bijv.: met hoeveel kg N ha⁻¹ stijgt het NLV bij een stijging in N-totaal, OS of kleigehalte) beperkt tot de kalibratie-set. Uit het literatuuronderzoek van Ros et al. (2011) wordt bijvoorbeeld duidelijk dat deze afwijking kan oplopen tot een onder- of overschatting van 90 kg N ha⁻¹ maand⁻¹. Voor de praktijk is deze onzekerheid (> 300 kg N in een groeiseizoen) te groot om het N-advies op te baseren. Ook het huidige NLV-advies is nooit gevalideerd, en de resultaten van deze studie laten zien dat de afwijking aanzienlijk kan zijn. Validatie van nieuwe adviezen is daarom cruciaal.

4.1.2 Mechanistische modellen

Er zijn tientallen modellen beschikbaar die de N-processen in de bodem in beeld brengen in relatie tot bodemeigenschappen, aanwezige bodemorganismen en weersomstandigheden (Manzoni & Porporato, 2009; De Ruijter, 1994). Mechanistische en empirische modellen worden tot nu toe niet gebruikt om op perceelsniveau uitspraken te doen over het NLV. Enige uitzondering is de MINIP-benadering die in de akkerbouw wordt gebruikt om een inschatting te geven van het NLV. De reden dat mechanistische modellen weinig gebruikt worden in de praktijk, hangt samen met de perceelsspecifieke kalibratie die vaak nodig is. De relevantie van

deze benadering voor de praktijk (die gebruik maakt van routinematige analyses) is vooralsnog onduidelijk.

4.1.3 *Spectroscopische methoden*

Het gebruik van NIR spectrometrie of vergelijkbare methoden kunnen inzicht geven in de hoeveelheid en kwaliteit van organische stof, en daarmee ook in de potentiële N-levering onder gecontroleerde omstandigheden. In deze benadering wordt de OS-kwaliteit als een black-box benaderd: verschillen tussen bodems worden zichtbaar in het spectrum, maar de onderliggende oorzaak hoeft niet bekend te zijn. Ter illustratie, de BodemLeven parameter van BLGG AgroXpertus is een klassieke anaerobe incubatieproef die de N-beschikbaarheid in beeld brengt op basis van een analyse van NIRS. Een vergelijkbare analyse kan mogelijk werken voor de potentiële N-mineralisatie onder aerobe omstandigheden (Malley et al., 2004; Luce et al., 2012). Om N-mineralisatie en gewasopname onder veldomstandigheden te voorspellen, is altijd een vertaalslag nodig.

4.2 **Naar de praktijk: oplossingsrichtingen**

Een betrouwbare schatting van de NLV wordt in komende jaren steeds belangrijker om te sturen op hogere stikstofefficiëntie en ruweiwitproductie. Met de huidige NLV-systematiek is het niet mogelijk een robuuste en nauwkeurige schatting te geven van de N-levering van en tussen percelen. Tegelijkertijd vergt de ontwikkeling en acceptatie van een nieuw adviessysteem meerdere jaren van onderzoek en implementatie. De sector staat daarom voor de uitdaging om met beperkte informatie toch de juiste beslissing te nemen. In deze sectie worden een aantal oplossingsrichtingen besproken.

4.2.1 *Bedrijfsspecifieke herijking*

Voor optimalisatie van bemesting is het relevant om verschillen tussen percelen te kunnen duiden. Hiervoor is een accurate inschatting van de daadwerkelijke N-levering minder relevant. Bij gelijkblijvend management is de N-levering te schatten door gebruik te maken van gemeten N-opnames op percelen die variëren in geohydrologie en bodemkwaliteit. Dit kan via het gebruik van gewassensoren, gewashoogtemeter of opbrengstmetingen in combinatie met een gewasanalyse (en/of web-applicatie). Concreet betekent dit dat recente praktijkgegevens gebruikt worden om het NLV te ijken op bedrijfsniveau. Wanneer de N-opname en bemesting bekend zijn, kan een agrariër deze gegevens gebruiken om de verdeling van stikstof over percelen te optimaliseren. Relatieve verschillen tussen percelen zijn minder beïnvloedbaar door weersomstandigheden waardoor een agrariër dit niet jaarlijks hoeft uit te voeren.

Om te kunnen sturen op eiwit op snedeniveau, is het ook relevant om inzicht te hebben in het vrijkomen van stikstof gedurende het seizoen. Deze variatie is sterk weersafhankelijk en zal

minder beïnvloed worden door variatie in bodemeigenschappen. Gebruik makend van luchttemperatuur, textuur en neerslag moet het mogelijk zijn om voor een aantal veel voorkomende situaties differentiatie aan te brengen in het snede-advies. Hiervoor kan gebruik worden gemaakt van de dynamische N-advies systematiek van Ros & Bussink (2012) of vergelijkbare benaderingen. Een bedrijfsspecifieke herijking door agrariërs is lastig te realiseren in verband met de hoeveelheid uit te voeren werkzaamheden.

4.2.2 Upgrade huidige NLV-systematiek: optie 1

Gebruik makend van historische proefgegevens lijkt het mogelijk te zijn om de huidige NLV-systematiek te herijken/ verbeteren. Een analyse van andere bodemparameters als organische stof en factoren als historische bemesting, graslandmanagement en variatie in weersgegevens zal naar verwachting de onzekerheid op het NLV verkleinen. In zijn thesis heeft Vellinga (1996) voor de proeven uit 1934-1994 laten zien dat de NLV significant beïnvloed werd door het OS-gehalte, het bodemtype, graslandmanagement en deels klaver. Deze upgrade van de huidige NLV-systematiek zal naar verwachting leiden tot meer differentiatie én een verkleining van de voorspelfout.

In potentie kunnen ook praktijkgegevens verzameld/benut worden voor deze upgrade. Op een groot aantal praktijkpercelen zal de uitgevoerde bemesting én de N-opname over het seizoen gemonitord moeten worden. Gebruik maken van gemiddelde ANR kan de N-levering vanuit de bodem worden geschat én gekoppeld worden aan routinematige gemeten bodemeigenschappen of het NIRS spectrum.

4.2.3 Upgrade huidig NLV-systematiek: optie 2

De huidige NLV systematiek kan herijkt worden op basis van veranderingen in N-aanvoerposten.

De schatting van het N-leverend vermogen van bodems is gebaseerd op de proeven die Hassink (1996) heeft uitgevoerd. De N-opname op een onbemest veldje is daarbij als meting gebruikt om het N-leverend vermogen te schatten. Dit betekent ook dat de gemeten N-opname een resultante is van allerlei natuurlijke processen: van mineralisatie en depositie (aanvoer van N) en uitspoeling en denitrificatie (afvoer van N). In de afgelopen 20 jaar zijn een aantal van deze processen gewijzigd. Allereerst is de aanvoer van dierlijke mest, en daarmee de aanvoer van vers organisch materiaal, lager geworden. Het N-bodemoverschot op melkveebedrijven is sinds de jaren 80 bijvoorbeeld gedaald van 350-400 kg ha⁻¹ tot 150-200 kg N ha⁻¹. Deze daling heeft gevolgen voor de N-levering van bodems: als er meerdere jaren niet wordt bemest blijkt de N-opname op onbemeste proefvelden met meer dan 50% te dalen in drie jaar tijd (gebaseerd op de SANS dataset). Daarnaast is de depositie van stikstofoxiden sinds 1980 met 30 tot 40% gedaald (RIVM, 2013). Er is tevens een trend waarneembaar met maanden met verhoogde neerslaghoeveelheden, wat het risico op uitspoeling vergroot. Gebruik makend van

de bekende veranderingen in mestgebruik, mestsamenstelling en depositie is het mogelijk om de berekende NLV te corrigeren.

4.2.4 Tijdsfad

De huidige studie laat zien dat het wenselijk is om de huidige NLV-systematiek aan te passen. Op korte termijn zijn de voorgestelde updates relatief eenvoudig te realiseren. Hierbij wordt aangesloten bij de huidige NLV-systematiek (een statistische modelbenadering) waarbij de onzekerheid op de geschatte NLV verkleind wordt doordat er gebruik wordt gemaakt van de meest relevant bodemparameter(s) en er beter rekening wordt gehouden met historische bemesting, weersomstandigheden, en graslandmanagement. Inzet van agrariërs/agrarische gegevens kan in potentie zorgen voor actuele adviezen, de benutting van NLV verhogen en voor continue validatie/borging. Op middellange termijn is het wenselijk om het huidige NLV concept te vervangen richting een dynamisch advies via simulatiemodellen die gekoppeld zijn aan bodemanalyses (via NIRS of klassieke methoden) en snelle opbrengstbepalingen.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Samenvattende reflectie

Deze studie is uitgevoerd om de nauwkeurigheid en toepasbaarheid van het huidige NLV-advies te evalueren. Hiervoor is de ontwikkeling van het huidige NLV-advies in kaart gebracht en is onderzocht in welke mate het huidige advies een accurate schatting geeft van de N-levering op een onbemest grasland. Gebruik makend van uitgebreide veldproeven in de periode 1970 tot 2013 blijkt er een aanzienlijke variatie aanwezig te zijn tussen jaren en percelen. Deze variatie zorgt er zelfs voor dat het gebruik van N_{totaal} om een schatting te geven van de N-levering (de onderliggende basis onder het huidige N-advies) overruled kan worden door jaar- en perceelseffecten. Recent uitgevoerde proeven laten hierbij een identiek beeld zien als historische proefgegevens. De fout die gemaakt kan worden door N_{totaal} te gebruiken als indicator van het NLV kan oplopen tot 120 kg N ha^{-1} in minerale gronden. Op veengronden varieert de N-opname in onbemeste situatie tussen 100 en 500 kg N ha^{-1} , daarmee aangevend dat er aanzienlijke afwijkingen op kunnen treden ten opzichte van het bemestingsadvies (250 kg N ha^{-1}). Dat is op zich niet nieuw, maar de grootte van deze effecten op het N-advies voor een individueel perceel zijn groter dan gedacht. Omdat de N-jaargift met gemiddeld $0,6 \text{ kg N per kg NLV}$ daalt, betekent een afwijking in het NLV van 100 kg N ha^{-1} dat de fout op de geadviseerde N-bemesting kan oplopen van 20 tot 60 kg N ha^{-1} (hierbij rekening houdend met de correctie via gebruiksnormen). De geadviseerde N-bemesting kan in het slechtste geval dus 60 kg N ha^{-1} afwijken van de gewenste N-gift. Omdat de optimale inzet van N-meststoffen meer en meer belangrijk wordt een goede gras- en ruweiwitproductie binnen het huidige stelsel van gebruiksnormen, is inzicht in de jaar- en perceelseffecten op het NLV van groot belang. Het is daarom aan te bevelen om het huidige NLV-systeem grondig te herzien.

5.2 Verbeteringen op korte termijn

Uit deze studie komt naar voren dat niet alleen de hoeveelheid N_{totaal} in de bodem maar ook andere factoren zoals weer, vochtvoorziening, bemestingshistorie, bodemstructuur en ouderdom graszode een groot effect kunnen hebben op de N-levering onder grasland. De invloed van deze factoren op de hoogte van het NLV is in deze studie niet gekwantificeerd. Er blijkt in de praktijk echter wel behoefte te zijn aan inzicht in de variatie tussen percelen én het vrijkomen van N gedurende het seizoen. Daarop aansluitend is een logische vervolgvraag in welke mate het mogelijk is om als gebruiker te sturen op een hogere NLV en hoe de N-bemesting optimaal verdeeld moet worden over de beschikbare percelen voor een hoge N-benutting.

Een complicerende factor is het feit dat het huidige NLV gedefinieerd wordt als de bovengrondse N-opname van een onbemest veldje en als zodanig de integratie is van allerlei N-processen zoals depositie, fixatie (bij klavergrasland), mineralisatie en vastlegging van N in de bodem, N-opname door wortels en stoppel, uitspoeling van NO_3 en gasvormige verliezen via N_2O of N_2 . Indirect dragen al deze processen bij aan verschillen in de schijnbare N-terugwinning (ANR) tussen percelen. Om de relevantie van factoren als weer, vochtvoorziening, structuur en graszodekwaliteit in kaart te brengen, is het aan te bevelen om de waargenomen effecten (waar mogelijk) via een kwantitatieve inschatting van de onderliggende processen te onderbouwen.

Op korte termijn is het daarom aan te bevelen om:

- De effecten van vochtvoorziening en weersomstandigheden op de N-opname te kwantificeren en te vertalen in praktische adviezen voor perceelsdifferentiatie in N-bemesting;
- Een kort overzicht te maken (waar mogelijk kwantitatief) van perceelsgebonden factoren als bodemstructuur, OS-kwaliteit, graszodekwaliteit, grassamenstelling en historische bemesting en hun effect op de N-opname van gras. Inzicht in de grootte van deze effecten maakt duidelijk welke speelruimte een agrariër heeft om de N-levering en de N-benutting van zijn percelen te verhogen.
- Een korte analyse uit te voeren van de variatie in ANR tussen percelen door gebruik te maken van bestaande proefgegevens van stikstofbemestingsproeven die in het verleden zijn uitgevoerd.

Gebruik makend van historische proefgegevens in Nederland in combinatie met gepubliceerde wetenschappelijke experimenten is het mogelijk om op korte termijn bovenstaande aanbevelingen wat betreft weer en vochtvoorziening om te zetten in onderbouwde en praktische adviezen voor de sector. Het is vooralsnog onduidelijk of er voldoende gegevens beschikbaar zijn om het effect van factoren als bemestingsverleden, organische stof- en zodekwaliteit te kwantificeren. Desniettemin kunnen de resultaten van deze analyse gebruikt worden voor de verdere onderbouwing van de onderzoeksagenda op langere termijn.

Deze studie maakt duidelijk dat het raadzaam is om het huidige N-bemestingsadvies (dat gebruik maakt van het NLV) te vernieuwen, dan wel te vervangen door een nieuw adviessysteem. De ontwikkeling van een nieuw adviessysteem is belangrijk, maar kan niet op korte termijn worden gerealiseerd. Dit betekent ook dat de conclusies uit dit rapport met enige voorzichtigheid moeten worden gecommuniceerd richting de sector. Het huidige adviessysteem is aan vervanging toe, maar tot op dit moment is er geen beter alternatief beschikbaar. Gegeven deze achtergrond is het niet aan te bevelen om de huidige adviesbasis grondig te wijzigen. Wel kunnen aanvullende adviezen worden opgenomen die zinvol zijn voor verdere

optimalisatie vanuit een gebruikersperspectief. Indien gewenst kan het huidige systeem ook versimpeld worden, bijvoorbeeld tot een advies met een beperkt aantal NLV-klassen.

5.3 Contouren voor langere termijn

Met het toenemende inzicht in opbrengsten op perceelsniveau, de beschikbaarheid van bodem- en weersgegevens, en de suboptimale N-bemesting op veel minerale gronden is het belangrijk om komende jaren te werken aan de ontwikkeling van een nieuw N-adviesstelsel. Deze ontwikkeling sluit aan bij de verdere implementatie van de KringloopWijzer, waarbij de productie van gras en ruweiwit een belangrijke rol speelt. Het is de verwachting dat komende jaren verschillende systemen op de markt komen waarmee de opbrengst nauwkeurig(er) gemeten dan wel geschat kan worden en de werkelijke productie(potentieel) op perceelsniveau in beeld kan worden gebracht. Deze informatie zal gebruikt (moeten) worden om de N-behoefte op seizoens- en snedebasis in beeld te brengen en zo doelmatiger te bemesten. In combinatie met eerder genoemde weer, graszode en bodemkwaliteit kan deze benadering (de balansmethode) een nieuwe grondslag vormen voor de N-advisering. Mogelijk kunnen aanvullende doelen vanuit het GLB qua biodiversiteit en waterberging hierin meegenomen worden.

Binnen deze context kunnen een aantal contouren worden geschetst die als leidraad kunnen functioneren voor het ontwerp dan wel verdere uitwerking van een vernieuwd N-adviesstelsel. Dit zijn achtereenvolgens:

1. Op grasland is de N-bemesting één van de sturende factoren voor gras- en ruweiwitproductie. De gebruiksnormen liggen echter lager dan het landbouwkundig advies, wat het meer en meer belangrijk maakt om als gebruiker de N-bemesting op de juiste plaats te geven en N-verliezen te beperken. De juiste **verdeling van meststoffen over de percelen op het bedrijf** is daarom belangrijker dan het finetunen van een gewenste gift op perceelsniveau. Bij deze verdeling over het bedrijf is het cruciaal om rekening te houden met de potentiële productie, de N-levering en potentiële N-verliezen vanuit het perceel. De huidige adviesmethodiek is hierop nog niet ingesteld. In welke mate metingen van de potentiële mineralisatiesnelheid, opbrengstmetingen of andere bodemparameters een rol gaan spelen, is nog onduidelijk.
2. Voor een hoge N-efficiëntie en drogestofproductie wordt het belangrijk om bij de N-bemesting (of het bijsturen ervan gedurende het seizoen) meer en meer rekening te houden met het weer uit de achterliggende periode en de verwachting voor de komende 14 dagen. De nauwkeurigheid van weersvoorspellingen nemen toe, wat het mogelijk maakt om bij de timing van bemesting rekening te houden met de opnamesnelheid van gras en het risico op N-verliezen. Hierdoor kan op perceelsniveau de **ANR worden verhoogd**. Dit betekent ook dat het toekomstig advies een **dynamische component** zal bevatten, waarbij de bemesting tijdens het seizoen bijgestuurd kan worden.

3. Bij eenzelfde hoeveelheid organische stof (of N_{totaal}) kunnen er grote verschillen optreden in N-levering. Het is een grote uitdaging om een analysemethodiek te ontwikkelen waarmee de **kwaliteit van de organische stof** (in relatie tot de N-levering of andere bodemfuncties) in kaart kan worden gebracht. Als gestuurd wordt op output (zie ad 1.) dan wordt deze analysemethodiek voor de N-bemesting *an sich* minder relevant. Wel zal dit bijdragen aan de ontwikkeling van bodemgerichte maatregelen/adviezen om de biologische activiteit te verhogen, en daarmee ook de N-levering dan wel N-benutting onder gras. Indirecte bijeffecten door organische stof of andere bodemparameters (in relatie tot bodemstructuur, wortelbaarheid en waterretentie) kunnen hierbij een rol spelen.
4. Het voorspellen van de N-levering en opname op gras voor een groeiseizoen is per definitie niet mogelijk met een **nauwkeurigheid** $< 20 \text{ kg N ha}^{-1}$. Hiervoor zijn de onderliggende processen te variabel, evenals de sturende factoren als weersomstandigheden. Bij de toepassing van statistische of gekalibreerde mechanistische modellen moet de onzekerheid op de voorspelling meegenomen worden in de adviesontwikkeling. Voor de uiteindelijke gebruiker moet het echter zo eenvoudig mogelijk worden gepresenteerd, aansluitend bij de vragen vanuit de praktijk.

6 Gebruikte literatuur

- Bussink DW, Holshof G, Vergeer WN, Schils RLM & RF Bakker (2002) Efficiënter stikstofgebruik bij lage bemestingsniveaus op grasland. NMI/PV rapport O716, 148 pp.
- CBGV (2008) Bemestingsadvies.
- CBGV (2012) Bemestingsadvies, 188 pp.
- De Ruiter PC, Neutel AM & JC Moore (1994) Modelling food webs and nutrient cycling in agro-ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution* 9, 378-383.
- Deru JGC, Van Eekeren NJM, Kloen H, Dijkman W, Van den Akker JJH, De Goede RGM, Schouten T, Rutgers M, Smits S, Jagers op Akkerhuis GAJM, Dimmers W, Keidel H, Lenssinck F & J Bloem (2012) Bodemindicatoren voor duurzaam bodemgebruik in de veenweiden: Ecosysteemdiensten van Landbouw- en natuurpercelen in het veenweidegebied van Zuid-Holland, Noord-Holland en Utrecht. Deel A: Onderzoeksrapportage. Rapport 2012-005 LbD. LBI, Driebergen. 115 p.
- Evers MAA (1993) Stikstofleverend vermogen van bodems onder grasland in Nederland. Deel 1. Een literatuurstudie naar de kwalitatieve en kwantitatieve invloed van verschillende factoren op stikstofmineralisatie. Afstudeer onderzoek WUR.
- Evers MAA (1993) Het stikstofleverend vermogen van bodems onder grasland in Nederland. Deel 2. Toetsing van methoden om het stikstofleverend vermogen van een bodem te bepalen. Afstudeer onderzoek WUR, 44 pp.
- Hassink J (1996) Organic matter dynamics and N mineralization in grassland soils. PhD thesis Wageningen University, 242 pp.
- Loonen JWGM & WEM Bach-de Wit (1996) Stikstof in beeld. Naar een nieuw bemestingsadvies op grasland. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 20, Ede, 115 pp.
- Luce M St, Whalen JK, Ziadi N & BJ Zebarth (2011) Nitrogen dynamics and indices to predict soil nitrogen supply in humid temperate soils. *Advances in Agronomy* 112, 55-102.
- Malley DF, Martin PD & E Ben-Dor (2004) Application in analysis of soils. In: S Segoe (ed) *Near Infrared Spectroscopy in Agriculture*, Agronomy Monograph 44.
- Manzoni S & Porporato (2009) Soil carbon and nitrogen mineralization: theory and models across scales. *Soil Biology & Biochemistry* 41, 1355-1379.
- Prins, WH (1980) Limits to nitrogen fertilizer on grassland. Proefschrift Landbouwhogeschool Wageningen
- Rashid MI (2013) Soil biota and nitrogen cycling in production grasslands with different fertilisation histories. PhD thesis Wageningen University, 193 pp.
- Ros GH (2011) Predicting soil nitrogen supply. Relevance of extractable soil organic matter fractions. PhD thesis Wageningen University, 248 pp.
- Ros GH, Hanegraaf MC, Hoffland E & WH van Riemsdijk (2011) Predicting soil N mineralization using organic matter fractions and soil properties: a re-analysis of literature data. *Soil Biology & Biochemistry* 45, 132-135.
- Ros GH, Van Schöll L & DW Bussink (2012) N-advies op nieuwe leest. NMI-rapport 1248.N.07, 65 pp.

- Ruitenbergh GH, Wopereis FA & O Oenema (1991) Berekende optimale stikstofbemesting voor grasland als functie van grondsoort, NMI rapport 173, 62 pp.
- Schils (2004) Herziening NLV. Presentatie CBGV door R. Schils. Opdracht van CBGV.
- Van der Meer H, Van Middelkoop J & W de Visser (2004) Het stikstofleverend vermogen (NLV) van veengronden). In: AJ van Kekem (ed) Veengronden en stikstofleverend vermogen, Alterra rapport 965, 52 pp.
- Van Eekeren N, De Boer H, Hanegraaf MC, Bokhorst JG, Nierop D, Bloem J, Schouten T, De Goede RGM & L Brussaard (2010) Ecosystem services in grassland associated with biotic and abiotic soil parameters. *Soil Biology & Biochemistry*. 42(9):1491-1504.
- Vellinga ThV (1989) De nawerking van eerder gegeven stikstof. PR rapport 109, 68 pp.
- Vellinga ThV Noij IGAM, Teenstra ED & L Beijer (1993) Verfijning stikstofbemestingsadvies voor grasland. PR-rapport 148.
- Vellinga ThV (1998) Verfijning bemestingsadvies 1998. PR rapport 173, 45 pp.
- Vellinga T (2006) Management and nitrogen utilization of grassland on intensive dairy farms. PhD thesis Wageningen University, 256 pp.
- Verloop J, Hilhorst GJ & Oenema J (2007) Stikstof mineralisatie op melkveebedrijf 'De Marke'. Analyse van waarnemingen en van hun betekenis voor het management. PRI-rapport 132, 71 pp.
- Wieling H & MAE de Wit (1987) Het groeiverloop van gras gedurende het seizoen. PR-rapport 105.
- Wouters AP & Hassink J (1996) Bijsturen van de N-bemesting tijdens het seizoen. In: Loonen & Back-de Wit (1996) Stikstof in beeld.

Bijlage 1.*Tabel 0-1. Onderzoek veengrond periode 1946 – 2014 (Van der Meer et al., 2004)*

Experiment	Omschrijving	Periode	Proefvelden	Bronnen
PAW970	Effect N-gift op opbrengst	1964-1973	15	1-6
CI203	Productiviteit grasland	1946-1963	10	7-10
-	Nawerking bemesting	1947-1955	1	11
-	Effecten ontwatering	1970-1975	1	12-14
PR723	Effecten diepe grondbewerking	1978-1980	3	15-16
SANS	Optimalisering N-bemesting	1992-1996	1-4	17-21
-	Groeiverloop	2002-2003	2	-
-	Nawerking	1991	2	-
-	NP-maaiproef	1998-2003	1	-
-	Ecosysteemdiensten	2010	10	22
-	PhD onderzoek	2010	2	23
PR891, ZV30	Productiviteit grasland	1980-1985	2	24
K-proef	NK interactie	2011-2012	1	25-26
-	Onderzoek	2006-2008	1	27
DOVE	Balansstudie	200-2003	1	28
PR11-9/13	Effecten ontwatering	1970-1975	2	12
PR891	Effecten N-gift op opbrengst	1982-1984	1	29

Bronnen: 1) De Boer 1966, 2) Jagtenberg & de Boer 1967, 3-5) Van Steenberg 1977, 1978, 1979, 6) Van der Meer 1982, 7-9) Jagtenberg 1961, 1962, 1963, 8) Kop 1961, 9-10) Van Steenberg 1967, 1969, 11) Bosch & te Velde 1958, 12) Boxem & Leusink 1978, 13) Schothorst 1977, 14) Hassink 1995, 15) Schothorst & Hetinga 1980, 16) Luten & Schothorst 1983, 17-21) Hofstede et al., 1992, 1993, 1994, 1995, 22) Deru et al. 2012, 23) Rashid 2013, 24) Koorevaar 1986, 25-26) Middelkoop 2011, 2012, 27) Sonneveld 2010, 28) Van Beek 2007, 29) Evers, 1993.

Tabel 0-2. Onderzoek zandgrond periode 1946 – 2014

Experiment	Omschrijving	Periode	Locaties	Bronnen
LBI	Zorg voor Zand	2006	20	1
B402 + NMI	Meststofwerking	1983, 1984	2	2-3
B405	Meststofwerking	1983	4	4
PR700	Werking rdm	1978-1981	1	5
PR804	Werking rdm	1979-1983	1	5
PR844	Werking rdm	1980-1984	1	5
IB2146	Meststofproef	1974-1978	1	6
-	PhD onderzoek	2010	2	7
SANS	Optimalisering N-bemesting	1992-1996	1-7	8-11
PR228-229	Werking rdm	1984-1985	2	12
PR386-388	Werking rmd	1986-1988	3	12
NMI	Meststofwerking	1998	1	13
NMI	Meststofwerking	2013	1	14
K-proef	NK-interactie	2011-2012	1	15-16
ASG	Werking mestproducten	2009-2010	2	17
ASG	Werking mestproducten	2011-2012	2	18
PRI	Werking mestproducten	2010-2011	1	19
PRI	Werking mestproducten	2009-2010	1	20
PRI	Werking mestproducten	2012	1	21
ASG	Werking mestproducten	2003	2	22
DOVE	Balansstudie	1999-2000	2	23
WUR	Grasland management	1999-2003	2	24
WUR	Balansstudie	1993-1994	6	25
PRI	Werking mestproducten	2010	1	26
PRI	Balansstudie	2002-2003	1	27
PRI	Werking mestproducten	2007	1	28

WUR	Werking mestproducten	2002-2006	1	29
WUR	Werking mest	2003	1	30
IB3182	-	1988-1990	1	31
PR49	-	1982-1984	1	32
PR700	-	1978-1981	1	32
PR804	-	1979-1983	1	32
PR844	-	1984-1989	1	32
VelVanla	-	1999-2002	3	33

Bronnen: 1) Van Eekeren et al. 2010, 2-3) Van Dijk 1983, 1984, 4) Rauw 1983, 5) Snijders 1987, 6) Prins 1983, 7) Rashid 2013, 8) Holshof et al., 1992, 8-11) Holshof et al. 1992, 1993, 1994, 1996, 12) Schils 1992, 13) Bussink 1999, 14) Ros 2013, 15-16) Middelkoop 2011, 2012, 17) Middelkoop & Holshof 2011, 18) Middelkoop 2012, 19) Verloop 2012, 20) Verloop & Hilhorst, 21) Verloop 2013, 22) de Boer 2004, 23) STOWA 2003, 24) Groot 2007, 25) Hack et al. 1996, 26) Verloop 2011, 27) Schröder 2006, 28) Schröder 2008, 29) Schröder 2007, 30) Reijs et al. 2007, 31) Oenema & Postmus 1988, 32) Evers, 1993, 3) Schils, 2004

Tabel 0-3. Onderzoek kleigrond periode 1946 – 2014

Experiment	Omschrijving	Periode	Locatie	Bronnen
PR844	Werking rdm	1980-1984	1	1
IB2244	Meststofproef	1975-1978	2	2
BZ25	Productiviteit grasland	1982-1985	1	3
SANS	Optimalisering N-bemesting	1992-1996	1-4	4-7
-	NP-proef Lelystad	1994-1998	1	5
NMI	Meststofwerking	2013	1	6
K-proef	NK-interactie	2011-2012	1	7-8
ASG	Werking mestproducten	2009-2010	1	9
ASG	Werking mestproducten	2003	1	10
PRI	Werking mestproducten	2008	1	11
PRI	Werking mestproducten	2012	1	12
-	Productie grasland	1978	1	13
DOVE	Balansstudie	2002	1	14
-	Meststofwerking	1967	1	15

Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen

APM128	-	1986-1988	1	17
BZ25	-	1982-1990	1	17
IB2244	-	1975-1980	1	17
IB2258	-	1975-1980	1	17
IB2259	-	1975-1980	1	17
PR965	-	1981-1983	1	17
-	Meststofwerking	1968-1970	1	16

Bronnen: 1) Sniijders 1987, 2) Prins 1983, 3) Koorevaar 1986, 4-7) Holshof et al. 1992, 1993, 1994, 1996, 5) Schils 2002, 6) Ros 2013, 7-8) Middelkoop 2011, 2012, 9) Middelkoop & Holshof, 2011, 10) de Boer 2004, 11) Verloop & Hilhorst 2011, 12) Verloop 2013, 13) Hoogerkamp 1984, 14) Van der Salm 2006, 15) Woldring 1967, 16) Bargerbos 1970, 17) Evers, 1993