



Bedrijfsspecifiek bepalen van stikstofstromen in bodem, gewas en milieu

Casestudy melkveebedrijf Baltus in Middenmeer



Juni 2020

Rapportnummer 88
WPR-nr. 964



Colofon

Uitgever

Wageningen Livestock Research
Postbus 338, 6700 AH Wageningen
T (0317) 48 01 77
E info@koeienenkansen.nl
www.koeienenkansen.nl

Redactie

Koeien & Kansen

Aansprakelijkheid

Wageningen Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen. All rights reserved.

Bestellen

ISSN 0169-3689
Dit rapport is gratis te downloaden op de website:
<https://doi.org/10.18174/522796>

Koeien & Kansen werkt aan een duurzame en toekomstgerichte melkveehouderij.

Koeien & Kansen is een samenwerkingsverband van 16 toekomstgerichte melkveehouders, proefbedrijf De Marke, Wageningen University & Research en adviesdiensten. Met subsidie van de Ministeries van LNV en I&W en in opdracht van het georganiseerde bedrijfsleven toetst, evalueert en verbetert het project de effectiviteit en uitvoerbaarheid van (voorgenomen) diverse wet- en regelgeving onder praktijkomstandigheden en ondersteunt het de Nederlandse melkveehouderijsector bij de implementatie ervan. De resultaten van Koeien & Kansen vindt u op: www.koeienenkansen.nl. Voor vragen kunt u mailen naar: info@koeienenkansen.nl.

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen de PPS Meerwaarde Mest en mineralen (TKI-AF-12178) en met subsidie van de Ministeries van LNV en I&W en de brancheorganisatie ZuivelNL.



Bedrijfsspecifiek bepalen van stikstofstromen in bodem, gewas en milieu

Casestudy melkveebedrijf Baltus
in Middenmeer

Koos Verloop, Gert-Jan Noij, Jouke Oenema

Wageningen Plant Research

Samenvatting

Deze verkenning is erop gericht om inzicht te krijgen in knelpunten met betrekking tot stikstof (N) en fosfor (P) stromen in het bodem/gewas systeem op *Koeien & Kansen*-bedrijf Baltus, gelegen in Middenmeer, Noord-Holland. In het bijzonder is hierbij ingegaan op de N-voorziening met bemesting en de N-levering door de bodem, de gewasopname en verliezen naar het milieu. De verkenning gaat verder in op de vraag of hard gemaakt kan worden dat N (hoofdzakelijk gebonden aan organische stof) zich in de bodem ophoopt. Ophoping van N in de bodem is goed mogelijk omdat het bedrijf een akkerbouwhistorie heeft zodat verwacht mag worden dat het bedrijf met een groot aandeel gras in een overgang zit naar een nieuw, hoger evenwichtsniveau van N in de bodem. Besproken wordt tevens of, als N-ophoping vastgesteld kan worden, dit dan als milieu onschadelijk deel van het overschot kan worden beschouwd. Dit zou dan kunnen betekenen dat bedrijfsspecifiek een hoger acceptabel N-overschot bepaald kan worden, waarbij een hogere mest N-dosering verantwoord is. Tenslotte gaat de verkenning in op mogelijkheden om de knelpunten met betrekking tot stikstof (N)- en fosfor (P)- stromen in bodem en gewas op te lossen.

Op het bedrijf Baltus wordt gras en maïs geteeld en wordt ieder jaar ongeveer een derde van het bedrijfsareaal van ongeveer 65 ha verhuurd aan een akkerbouwer voor de teelt van aardappelen. Het bedrijf neemt deel aan de pilot voor bedrijfsspecifieke bemesting volgens BES (Bedrijfs Eigen bemesting met Stikstof uit dierlijke mest). Dit houdt in dat de bemesting afgestemd wordt op de bedrijfsspecifieke gewasopbrengst van stikstof en fosfaat.

Analyse van bedrijfsgegevens maakt duidelijk dat het gras op bedrijf Baltus een consistent laag ruw eiwit (RE) gehalte heeft van ongeveer 130 g per kg ds. Ook het P-gehalte is laag met 3,3 g per kg ds. Dit wordt veroorzaakt door verdunning van N en P over een zeer hoge droge stofopbrengst. De N-opname zelf in gras is normaal en de P opname in gras is zelfs hoog. Het niveau van werkzame N is relatief hoog, in de range van 375 tot 500 kg per ha. Toch treedt nog een duidelijke respons op van gras op het niveau van werkzame N. Dit is grotendeels te verklaren door de omgevingsomstandigheden die zeer gunstig zijn voor grasgroei, te weten: een zavelgrond met aanrijking van water naar wortels via capillaire opstijging uit grondwater en een zeer mild klimaat met meestal voldoende neerslag. Deze omstandigheden bevorderen de grasgroei tot op een hoog productieniveau en N is daarbij tot op een hoog niveau geen overbodige luxe. Een andere verklaring is dat de N-levering uit de bodem met ongeveer 50 kg N per ha heel laag is. Hierdoor valt de N-voorziening lager uit dan wat op grond van het bemestingsniveau verwacht zou worden. Een sterke vastlegging van N in de bodem is op basis van de NLV metingen een mogelijkheid en de vraag is of je dat terugziet in N-ophoping.

De posten van de N-balans in de bodem worden als volgt geschat: het -overschot bedraagt 87 kg N per ha (95% betrouwbaarheidsinterval (bbi): 77-107). Dit overschot verdeelt zich over ophoping in de bodem van 10 kg N per ha (95% bbi -64 tot 106), verlies door uitspoeling van 7 kg N per ha (95% bbi 3 tot 10) met denitrificatie als restpost: 61 kg N per ha. De ophoping in de bodem is gebaseerd op trends op basis van bodemchemische analyses uit 2005 - 2019. De hypothese dat N zich in de bodem ophoopt, kan niet op grond van bodemanalyses worden bevestigd. Daarvoor is de betrouwbaarheid van de trends van bodemanalyses veel te beperkt. Hierbij moet opgemerkt worden dat bij de bepaling van het 95% bbi nog geen rekening gehouden is met variatie van de bulkdichtheid. Of ophoping van stikstof in de bodem beoordeeld kan worden als milieuneutraal of niet hangt af van de risico's van het op termijn vrijkomen van de opgebouwde stikstof. Dit risico hangt samen met toekomstig landgebruik en met de C/N-verhouding van het opgebouwde materiaal. Een hogere C/N-verhouding betekent een lager risico.

Aanbevolen wordt om op een klein deel van het bedrijf te verkennen de beschikbaarheid van stikstof in gras meer in balans kan worden gebracht met omgevingsomstandigheden zoals temperatuur en vochtbeschikbaarheid die zeer gunstig zijn voor grasgroei. Opties zijn: i) Doorgaan met BES zodat bemesting bedrijfsspecifiek afgestemd is op de hoge gewasopbrengst op het bedrijf; ii) Verhogen van de N-benutting door toepassen van kunstmest met een hoger ammoniumaandeel, eventueel in combinatie met nitrificatieremmers in het voorjaar; iii) N-binding met klaver of andere gewassen met het vermogen N te binden iv) Een hoger N-levering door inwisselen van kunstmest N voor organische N en/of door achterwege laten akkerbouw.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Deze notitie	1
1.2	Achtergrond.....	1
1.2.1	Bedrijf Baltus	1
1.2.2	BEN en BES-pilots; relevantie voor het bedrijf Baltus	1
1.2.3	Geaccepteerd bodemoverschot; kapstok voor bedrijfsspecifiek bemesten.....	2
1.2.4	Is bedrijfsspecifieke differentiatie van het geaccepteerd bodemoverschot mogelijk?	2
1.2.5	Knelpunt	3
1.3	Doelstelling en vraagstelling	3
1.4	Aanpak	3
2	Landgebruik, management en bodemomstandigheden	4
2.1	Teeltplan	4
2.2	Klimaat, bodem water	5
2.3	Bemesting	6
2.4	Maaisnedes en kuilsysteem	7
3	Gegevens van het bedrijf en dataverzameling.....	8
3.1	Gegevens	8
3.2	Gegevensverwerking en analyse	9
3.2.1	Regressieanalyses	9
3.2.2	Bodembalans voor stikstof	9
4	Resultaten.....	11
4.1	Gewasopbrengst en gewaskwaliteit.....	11
4.2	Het overschot op de bodembalans van stikstof en fosfaat.....	14
4.3	Ontwikkeling van de chemische bodemvruchtbaarheid	16
4.4	Stikstoflevering uit de bodem	18
4.5	Uit- en afspoeling	19
4.6	Bodembalans van stikstof	21
4.7	Visuele bodembeoordeling.....	22
5	Discussie	24
5.1	Constateringen.....	24
5.2	Stikstof een limiterende factor op het bedrijf Baltus?	26
5.3	Het lot van het stikstofoverschot	27
5.4	Bedrijfsspecifiek differentiëren N-overschot naar accumulatie in de bodem?.....	27
5.5	Aanvullende indicatoren en verbeteren van monitoring	28
5.6	Opties voor systeemontwikkeling.....	30
6	Conclusies	32
	Literatuur	34
	Bijlage I Plattegrond van het bedrijf Baltus.....	36
	Bijlage II Vruchtopvolging op de percelen van bedrijf Baltus	37
	Bijlage III Neerslag en temperatuur in de onderzoeksperiode	38
	Bijlage IV Gebruikte data uit STONE berekeningen.....	39
	Bijlage V Resultaten van de driemaal herhaalde bodembemonstering op het bedrijf Baltus.....	40

1 Inleiding

1.1 Deze notitie

Deze notitie omvat een analyse van N-stromen in het bodem- en gewassysteem van het melkveebedrijf Baltus over de periode 2010 tot en met 2018. De analyse is gebaseerd op meerjarige gegevens uit de KringloopWijzer en monitoringsgegevens die betrekking hebben op verschillende onderdelen van het bedrijf. Bodemkenmerken en kenmerken van het teeltplan zijn in het bijzonder onderdeel van de analyse. De analyse op bedrijf Baltus is relevant als case in het project-, waarin wordt verkend of het mogelijk is en milieukundig verdedigbaar om rekening te houden met bedrijfsspecifieke kenmerken en –processen (bodemtype, grondwaterstand, gewasopbrengst, graslandgebruik, denitrificatie, ...) bij het bepalen van de hoogte van de toelaatbare bemesting. Aanleiding voor de keuze van dit bedrijf als object van studie is het knelpunt dat Baltus ervaart van te lage eiwitgehalten in het gras dat kan wijzen op een relatief stikstofgebrek.

1.2 Achtergrond

1.2.1 Bedrijf Baltus

Het melkveebedrijf van *Koeien & Kansen*-deelnemers Rijk en Linda Baltus is gelegen in Middenmeer, Wieringermeer, Noord Holland. Baltus teelt alleen gras en maïs en weidt niet. Ieder jaar wordt een deel van zijn land verhuurd aan een akkerbouwer voor de teelt van aardappelen. Baltus heeft derogatie van de norm voor stikstofgebruik in dierlijke mest (250 in plaats van 170 kg N per ha per jaar). De opbrengst van gras en maïs op het bedrijf is uitzonderlijk hoog door een combinatie van goede bodemomstandigheden en ontwatering, en graslandmanagement gericht op maximale opbrengst door middel van 4 relatief zware maaissnedes (>5 ton ds/ha). Door de relatief hoge onttrekking van stikstof en fosfaat met gewassen, is een relatief hoge aanvoer van deze meststoffen nodig om te voorkomen dat de bodemvoorraad wordt uitgeput. Het richtsnoer fosfaatevenwichtsbemesting (gift is onttrekking), kan op dit bedrijf niet gevolgd worden als volgens de generieke gebruiksnormen bemest moet worden (zie Tabel 1.1). De generieke gebruiksnorm is afgestemd op een gemiddelde gewasonttrekking per grondsoort (veen, klei en zand), maar niet op de specifieke situatie van bedrijf Baltus. Dit blijkt ook uit de resultaten van de KringloopWijzer (KLW; www.kringloopwijzer.nl) voor bedrijf Baltus die op grond van de bedrijfsregistratie onder meer de aan- en afvoer van stikstof en fosfaat naar de bodem in beeld brengt.

Tabel 1.1 Aanvoer, afvoer en overschot van P_2O_5 op de bodembalans op het bedrijf Baltus bij bemesting volgens generieke gebruiksnormen (kg per ha).

Post op de balans	Hoeveelheid
Aanvoer	102
Afvoer	134
Overschot	-32

1.2.2 BEN en BES-pilots; relevantie voor het bedrijf Baltus

Bij bemesting volgens de generieke gebruiksnorm wordt op het bedrijf Baltus minder fosfaat aangevoerd dan met geoogste gewassen wordt afgevoerd. Het fosfaatbodemoverschot is dus negatief en de P-bemesting kan niet worden aangevuld met kunstmest omdat op derogatiebedrijven zoals Baltus geen kunstmestfosfaat mag worden gebruikt (de fosfaatbemesting moet dus volledig uit dierlijke mest komen en deze aanvoer is beperkt doordat de gebruiksnorm voor dierlijke mest N van 250 kg per ha niet mag worden overschreden). Daarom is het voor het bedrijf Baltus relevant om deel te nemen aan de verkenning van de mogelijkheden om de bemesting bedrijfsspecifiek af te stemmen op de gewasonttrekking binnen milieukundige randvoorwaarden. Baltus nam in 2014 deel aan de BEN (Bedrijfs Eigen bemesting van stikstof (N), uit kunstmest) pilot en neemt sinds 2015 deel aan de BES-pilot.

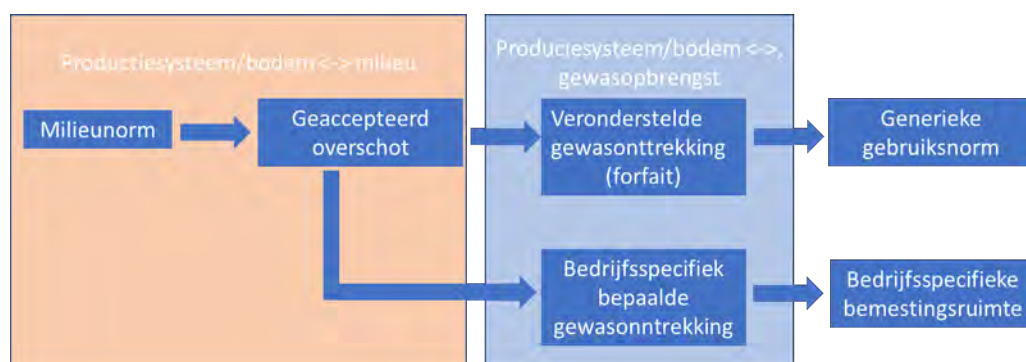
De BEN is gericht op afstemming van de dosering van kunstmest stikstof op de bedrijfsspecifieke stikstof gewasonttrekking. Dat betekent: meer of minder kunstmest stikstof gebruiken dan wat volgens de generieke gebruiksnorm toegestaan is, afhankelijk van de gewasonttrekking. Als de gewasonttrekking hoger is dan de waarde waarvan uitgegaan is bij afleiden van de generieke gebruiksnormen mag meer kunstmest stikstof gebruikt worden dan generiek en *vice versa* (Verloop *et al.*, 2017).

In de BES-pilot gaat het om afstemmen van stikstof en fosfaat op de gewasonttrekking door bedrijfsspecifieke inzet van dierlijke mest (dierlijke mest stikstof en fosfaat) en kunstmest stikstof (Schröder

et al., 2018). Dierlijke mest wordt gegeven tot een niveau van fosfaatevenwichtsbemesting gecorrigeerd voor de fosfaattoestand van de bedrijfspercelen. De hoeveelheid stikstof in dierlijke mest die in de BES wordt gegeven, hangt af van de toegestane fosfaatdosering en de stikstof/fosfaat verhouding in dierlijke mest. Het komt regelmatig voor dat de combinatie van bedrijfsspecifieke fosfaatgiften en de stikstof/fosfaat verhouding in dierlijke mest resulteert in een hogere dosering van dierlijke mest stikstof dan de 'derogatiernorm voor dierlijke mest N' van 250 kg per ha, hetgeen in de pilot wordt toegestaan. Om het geaccepteerd bodemoverschot voor stikstof niet te overschrijden, wordt het extra gebruik van dierlijke mest stikstof gecompenseerd door verlagen van het kunstmest stikstof gebruik (vervangen van kunstmest N door dierlijke mest N).

1.2.3 Geaccepteerd bodemoverschot; kapstok voor bedrijfsspecifiek bemesten

BEN en BES hanteren beide het bodemoverschot als randvoorwaarde en als vertrekpunt voor het bepalen van de bedrijfsspecifieke bemestingsruimte. Het geaccepteerd bodemoverschot is het overschot op de bodembalans dat zich voordoet als volgens generieke gebruiksnormen wordt bemest bij forfaitaire waarden voor N-onttrekking met gewassen. Het geaccepteerd overschot dat ten grondslag ligt aan de generieke gebruiksnormen is dus gelijk aan dat in de BEN en de BES. Door deze benadering is in het bedrijfsspecifieke spoor sprake van een gelijk speelveld met dat van generieke gebruiksnormen, nl. het speelveld dat gevormd wordt door de beleidsmatig geaccepteerde overschotten. Bij dit overschot wordt volgens de onderbouwing van de gebruiksnormen voldaan aan normen voor kwaliteit van grond- en oppervlaktewater (Schöder et al., 2004; Schöder et al., 2009; EC, 1991; EC, 2000). Het geaccepteerd N-overschot op de bodembalans hangt dus samen met de relatie tussen milieu en het landbouwproductiesysteem (zie het roze gekleurde domein in Figuur 1.1). De bijzonderheid van bedrijfsspecifiek benaderde bedrijven zit hem dus slechts in de afwijkende gewasonttrekking (zie het blauw gekleurde domein in Figuur 1.1).



Figuur 1.1 Schema van de stappen in de afleiding van generieke gebruiksnormen en bedrijfsspecifieke gebruiksnormen. Het verschil tussen beide bestaat uit het rekenen met bedrijfsspecifiek bepaalde gewasonttrekking van stikstof en fosfaat (blauwe kader); een gemeenschappelijk onderdeel is de afleiding van een geaccepteerd overschot op de bodembalans dat is afgestemd op milieunormen (roze kader).

1.2.4 Is bedrijfsspecifieke differentiatie van het geaccepteerd bodemoverschot mogelijk?

Een essentieel kenmerk van bedrijfsspecifieke bemesting in BEN en BES is dat geaccepteerde bodemoverschotten zelf geen bedrijfsspecifieke differentiatie of differentiatie naar gebied kennen die verder gaat dan de differentiatie in het stelsel van generieke gebruiksnormen¹. De vraag is aan de orde gekomen of de waarden voor milieukundige acceptabele bodemoverschotten ook bedrijfsspecifiek zouden kunnen worden gedifferentieerd en gekwantificeerd. Deze vraag doet zich op het bedrijf Baltus voor, omdat de waterkwaliteitsmetingen van RIVM op het bedrijf geen hoge verliezen naar het milieu aantonen, ondanks het relatief hoge N-overschot op de bodembalans (door deelname aan BES).

Het is de vraag of dit bedrijfsspecifiek aangetoond kan worden. Bestaan er voldoende garanties dat bij een bedrijfsspecifiek gedifferentieerd bodemoverschot norm voldaan wordt aan de milieu eisen in de nabije omgeving? Gezien de onderbouwing van de relatie tussen bodemoverschotten en waterkwaliteit in WOG/WOD is het antwoord op deze vraag op het eerste gezicht ontkennend. De relatie tussen het

¹ N.b: in het generiek stelsel van gebruiksnormen zijn de geaccepteerde N-overschotten wel gedifferentieerd naar grondsoort en voor zandgrond grondwatertrap.

overschot en waterkwaliteit is afgeleid van resultaten van het LMM programma (Fraters *et al.*, 2012) en deze relatie kon voor een aantal bodemtypes slechts vastgesteld worden op het niveau van grondsoortregio en clusters van bedrijfstypes en niet voor individuele bedrijven. Zelfs als we meer bedrijfsinformatie over de bodem en metingen van de lokale waterkwaliteit meenemen in de analyse dan is het de vraag of de relatie tussen overschot en waterkwaliteit bedrijfsspecifiek bepaald kan worden en vervolgens of een bedrijfsspecifiek bepaling van het acceptabel overschot van stikstof mogelijk is. Toch is deze analyse gericht op het bedrijfsspecifiek begrijpen van deze relaties zinvol. Waar blijft de stikstof die achterblijft in de bodem? Wat kunnen we hiervan zeggen op basis van de gegevens die voorhanden zijn? Welke gegevens zouden nodig zijn om het inzicht hierin te vergroten? Is het denkbaar dat een acceptabel overschot bedrijfsspecifiek kan worden gedifferentieerd op grond van de relatie van het overschot met water?

1.2.5 Knelpunt

Op het bedrijf Baltus mag in de BES-pilot meer mest gebruikt worden dan volgens de generieke normen omdat de gewasopbrengst op bedrijf Baltus hoog is. Desondanks wordt op het bedrijf een tekort aan beschikbare stikstof ervaren op grond van de lage N-gehaltes (2%) in het gras. Het vermoeden bestaat dat het stikstoftekort samenhangt met stikstofvastlegging in de bodem. Voor Baltus is het van belang om het ervaren tekort aan beschikbare stikstof te bevestigen met behulp van meetgegevens en om de oorzaken van dit tekort te achterhalen. Een deel van de benodigde gegevens hiervoor kunnen ontleend worden aan resultaten van de KringloopWijzer. In het kader van Koeien & Kansen vindt daarnaast aanvullend onderzoek plaats op het bedrijf naar het lot van het stikstofbodemoverschot, meer specifiek de vastlegging van stikstof in de bodem. Hiervoor is het nodig om de N-dynamiek in de bodem met voldoende betrouwbaarheid te reconstrueren. Het bedrijf Baltus is geselecteerd om de gebruikte methodiek uit te proberen; bij gebleken geschiktheid kan de methode ook op andere bedrijven worden toegepast.

1.3 Doelstelling en vraagstelling

Het doel van deze studie is om:

1. De oorzaak te achterhalen van het knelpunt dat zich voordoet op bedrijf Baltus: lage RE (N) gehalten in gras
2. Nagaan of het lot van het stikstofbodemoverschot bedrijfsspecifiek in beeld kan worden gebracht en of er een basis is voor bedrijfsspecifieke differentiatie van het acceptabel stikstofbodemoverschot.

Dit gaan we doen door de N-stromen in het bodem-gewassysteem op het bedrijf Baltus te kwantificeren. De onderzoeksvragen zijn:

1. Bevestigen de bedrijfsgegevens dat er sprake is van stikstofgebrek in grasland?
2. Welke factoren veroorzaken dit stikstofgebrek?
3. Welke oplossingen zijn mogelijk om het stikstofgebrek op te heffen?
4. Wat gebeurt er met het N-overschot op de bodembalans; hoe wordt dit overschot verdeeld over ophoping in de bodem, verliezen door uit- en afspoeling en gasvormige verliezen?
5. Is een stikstofbodemoverschot, hoger dan het geaccepteerd overschot dat aan de basis ligt van de generieke gebruiksnormen op dit bedrijf milieukundig verantwoord?

1.4 Aanpak

De aanpak in deze studie is als volgt:

- N-stromen bedrijfsspecifiek en perceelsspecifiek in beeld brengen over de periode 2010-2018 waarbij we ons concentreren op het bodem-gewassysteem en het lot van het N-bodemoverschot.
- Om de berekende N-stromen te interpreteren en landbouwkundig en milieukundig te beoordelen worden ze vergeleken met de referenties: gemiddelde van K&K- en BES-bedrijven, en bedrijven uit het BedrijvenInformatieNetwerk (BIN van WEcR).
- Nagaan welke omstandigheden (condities en management) aan de basis liggen van de veronderstelde lage N-beschikbaarheid.
- Oplossingen voorstellen voor de ervaren lage N-beschikbaarheid.
- Onzekerheidsanalyse van de N-stromen, vooral met betrekking tot de verdeling van het N-bodemoverschot.

2 Landgebruik, management en bodemomstandigheden

2.1 Teeltplan

Baltus heeft een bedrijfsareaal van ongeveer 65 ha, 35 ha productiegras, 9 ha maïs en 22 ha verhuurd voor pootaardappelteelt. Baltus werkt daarvoor samen met een pootaardappelteler. In deze samenwerking wordt gras afgewisseld met snijmaïs en met pootaardappelen (Figuur 2.1).

Het bedrijf is opgedeeld in drie blokken en in totaal 17 percelen (zie Bijlage I). Elk blok is opgedeeld in vijf percelen, nl. vier grote percelen van 4 tot 5 ha en een klein perceel van ongeveer 2 ha. Daarnaast is er nog een perceel dat de vorm heeft van een lange, smalle strook en een klein perceeltje naast de bedrijfsgebouwen, deze behoren niet tot een van de blokken. Op de blokken worden vruchtwisselingen volgens twee schema's uitgevoerd, te weten: I) maïs (met gras als voorgewas), aardappel (met gras als volggewas), gras en II) gras, aardappel (met gras als volggewas), gras (Figuur 2.1). Elk vruchtwisselingsschema is gebaseerd op een 3 jarige cyclus, waarvan elke fase (1, 2, 3) elk jaar doorschuift naar een ander blok (1, 2, 3). N.b. Elk blok bestaat dus uit een deel dat opgenomen is in vruchtwisselingsschema I en een deel dat opgenomen is in vruchtwisselingsschema II (zie bijlage II met per perceel de geteelde vrucht voor elk jaar). De bijlage laat zien dat het deel dat is opgenomen in een bepaald vruchtwisselingsschema niet gedurende de hele onderzoeksperiode hetzelfde gebleven. Deze onderbrekingen in het standaardpatroon in de vruchtwisseling maakt dat bij analyse van de ontwikkeling van bodemvruchtbaarheid *a priori* geen onderscheid gemaakt kan worden tussen percelen in vruchtwisseling I en percelen in vruchtwisseling II (zie ook dataverwerking).

Het gras als voorgewas voor maïs wordt bemest en geoogst (1^e snede, jaar 1 in het schema van vruchtwisseling I, Figuur 2.1). Sinds 2011 wordt de maïs na gras geteeld in uitgefreesde sleuven van ca. 20 cm breed, daarvoor werd de maïs geplant in de ondergeploegde graszode. Het gras als volggewas na aardappel (jaar 2, vruchtwisseling I en II, Figuur 2.1) wordt niet bemest en niet geoogst.

Vruchtwisselingsschema met maïs																		
jaar	1												2					
maand	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			1	2	3	4	5	6
grasfase	3 ^e jaars gras												1 ^e jaars gras					
teelt	maïs												gras					
	snede oogsten friezen en zaaien												pooten (begin april) rooien (begin augustus) zaaien (begin september)					

Vruchtwisselingsschema zonder maïs																		
jaar	1												2					
maand	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			1	2	3	4	5	6
grasfase	3 ^e jaars gras												1 ^e jaars gras					
teelt	gras												gras					
	1 november gras ploegen												pooten (begin april) rooien (begin augustus) zaaien (begin september)					

Figuur 2.1 Vruchtwisseling op het bedrijf Baltus.

Andere kenmerken van de ruwvoerteelt zijn:

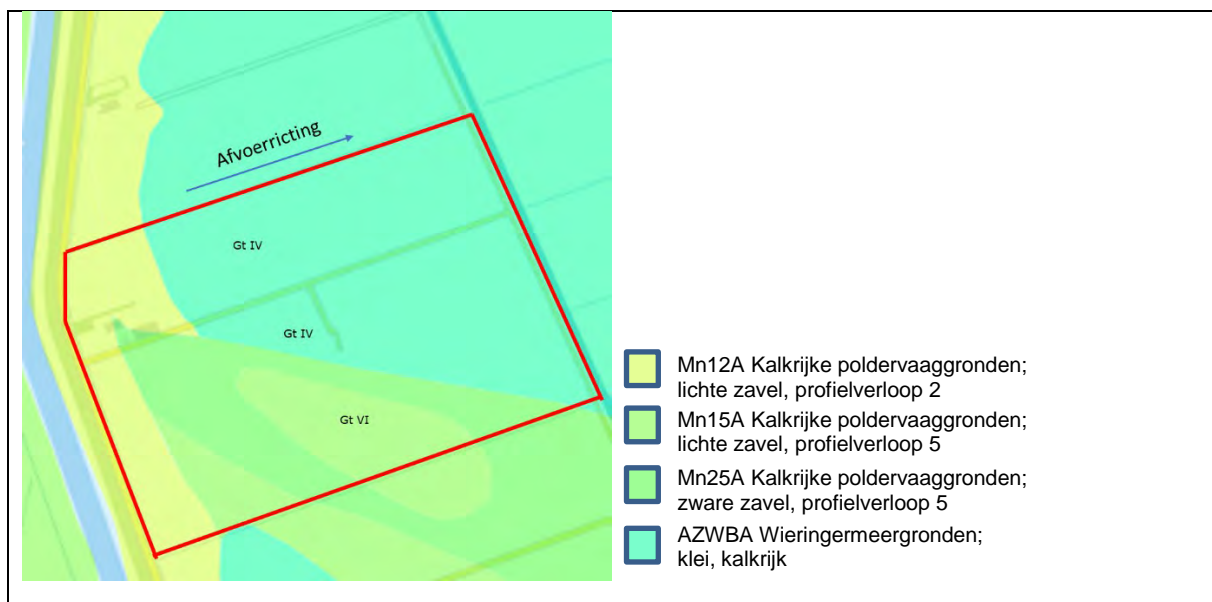
- Baltus experimenteert met het gebruik van grassoorten:
 - Tot 2014 werd Engels raaigras gezaaid.
 - Tot 2010 werd een mengsel toegepast van vroeg midden en laat doorschietende types.
 - In 2010 werd een laat doorschietend type toegepast.

- In 2015 werd een mengsel van Kropaar met Engels raaigras gebruikt met verhouding 1 op 5.
- In 2016 en 2017 werd een mengsel van zacht bladige Rietzwenk (Nutrifibre) met Engels raaigras gezaaid met verhouding 1 op 2.
- In 2016 en 2017 werd rode klaver mee gezaaid (respectievelijk 20 en 30 kg per ha).
- De ploegdiepte bij bodembewerking voorafgaand aan het poten van aardappelen was ongeveer 26 cm en is sinds 2009 29 cm.
- Het vee wordt op het bedrijf Baltus niet geweid en gras wordt uitsluitend gemaaid om als kuilvoer opgeslagen te worden (summerfeeding met 4 maaisnedes).
- De toediening van dierlijke mest in de maïs vindt plaats 1 dag voor het frezen van de graszode. De mest wordt met een ganzenvoet op een diepte van 15-20 cm onder het maaiveld aangebracht. De dag daarna worden er strookjes gefreesd en de maïs er precies boven op gezaaid.

2.2 Klimaat, bodem water

De temperatuur bij Baltus is relatief mild door de invloed van de Noordzee en het IJsselmeer. Er valt jaarlijks gemiddeld 800-850 mm regen. Meer gedetailleerde informatie over de temperatuur en neerslag in de onderzoeksperiode is opgenomen in Bijlage III.

Het bedrijf van Baltus ligt op zeeklei in de Wieringermeer op een hoogte van 1 tot 4 m -NAP, het bodemtype is kalkrijk en varieert volgens de bodemkaart van lichte zavel tot klei (Figuur 2.2).



Figuur 2.2 Uitsnede uit de bodemkaart 1:50000. Bron <https://pdokviewer.pdok.nl/>; Legenda aangevuld met informatie over profielverloop uit Steur en Heijink, 1991.

Profielverloop 2 – “zavel of klei op zand”

Zavel- en kleigronden met een zandlaag van meer dan 20 cm dikte, beginnend tussen 25 en 80 cm.

Uitgezonderd gronden met

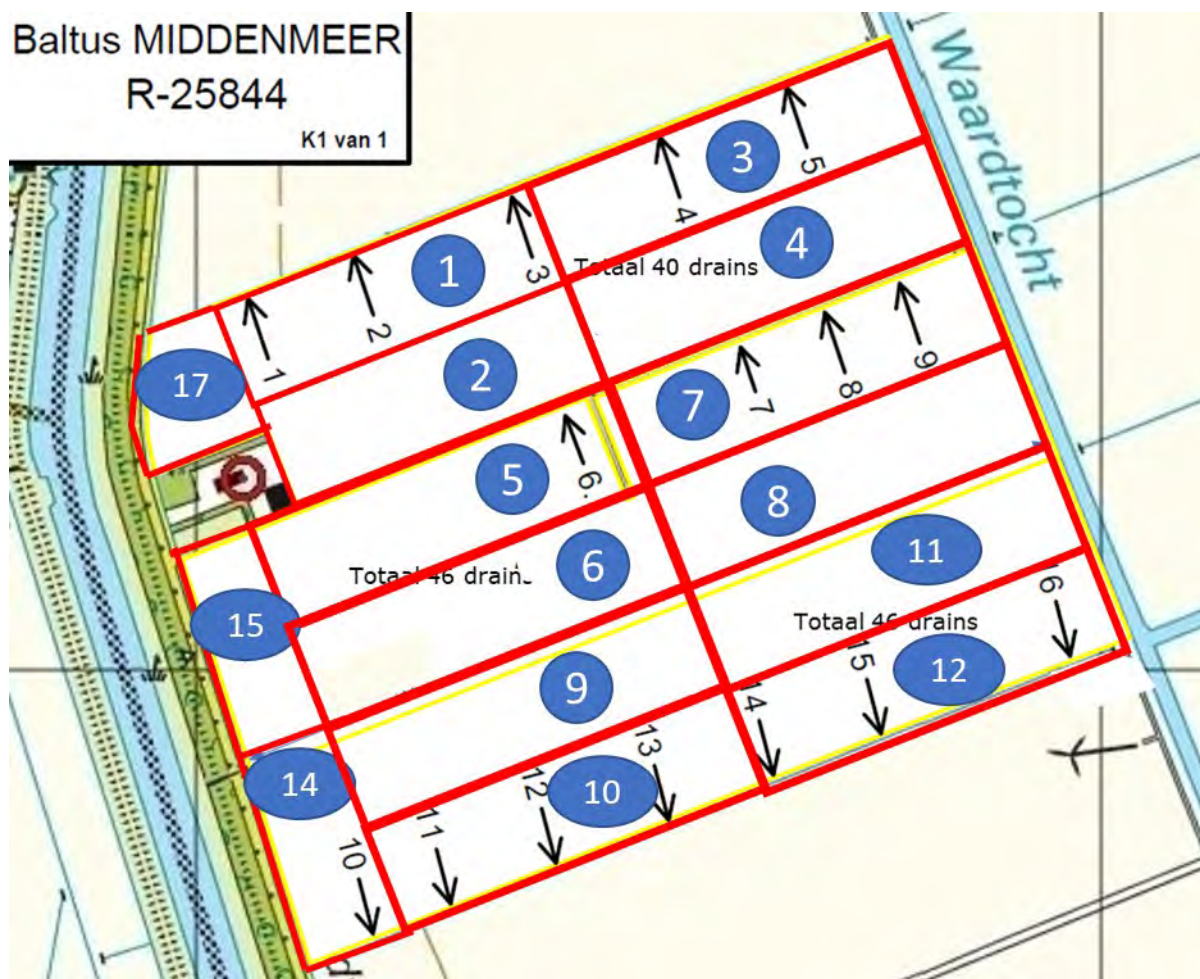
- Kleiig, uiterst fijn zand (5-8% lutum; $M_{50} < 105\mu\text{m}$),
- Boven het zand een niet-kalkrijke, zware kleilaag, die voldoet aan de eisen gesteld bij profielverloop 3.

Profielverloop 5 – “overige zavel of klei met homogene, aflopende en oplopende profielen”

Zavel- en kleigronden die niet vallen onder de definities van de profielverlopen 1, 2, 3 of 4. Hiertoe behoren o.a.:

- Homogene profielen; tot 80 cm diepte weinig variatie in textuur (N.B. profielen die geheel uit niet-klakrijke, zware klei bestaan behoren tot profielverloop 4).
- Aflopende profielen; tussen 0 en 80 cm diepte neemt het lutumgehalte af zonder de textuurklasse zand te bereiken; binnen 80 cm mag wel kleiig, uiterst fijn zand voorkomen (zie profielverloop 2).
- Oplopende profielen; tussen 0 en 80 cm diepte neemt het lutumgehalte toe; binnen 80 cm komt echter geen kalkloze of kalkarme, zware klei voor.
- Alle profielen met dunne moerige lagen, zandlagen of niet-kalkrijke, zware kleilagen e.d. binnen 80 cm.

De buisdreins liggen op een onderlinge afstand van 20 meter en bevinden zich op 1,2 m onder maaiveld (figuur 2.3). Het slootpeil is zomer en winter ingesteld op 1,3 m -mv, maar de sloten staan meestal leeg; de stromingsrichting van de afwatering is naar achteren (ONO). De grondwaterstand fluctueert derhalve rond 1.25 m -mv. De grondwatertrap is op perceel 1 en 2 Gt IV en op perceel 3 Gt VI.



Figuur 2.3 Kaart van melkbedrijf Baltus in Middenmeer met daarin aangegeven de bemonsterde drainbuizen (1-16) en perceelnummers (1-17, in blauwe kaders). Alle percelen zijn gedraineerd.

2.3 Bemesting

Tabel 2.1 geeft de bemesting weer op gewasniveau in de verschillende tijdvakken tussen 2010 tot en met 2017. Met bemesting op gewasniveau wordt hier bedoeld het hoofdgewas met inbegrip van een bemest voor- of nagewas (dus de bemesting volgens de jaarbalans), concreet betekent dit dat de bemesting voor 'maïs' in Tabel 2.1 betrekking heeft op maïs inclusief het gras als bemest voorgewas. In periode I (jaren 2010 tot en met 2013) is bemest volgens de generieke gebruiksnormen en in periode II en III was sprake van bedrijfsspecifieke bemesting. In periode II (2014) is bemest volgens de bemestingsruimte in de BEN-pilot, in periode III (2015 en later) is bemest volgens de bemestingsruimte in de BES-pilot. In het BEN jaar werd een hogere kunstmest N-dosering in gras en bouwland toegepast dan volgens de generieke gebruiksnormen mogelijk is. In de BES jaren werd meer dierlijke mest N en P toegepast dan in de jaren voor 2015, maar was het niveau van N werkzaam iets lager dan bij bemesting volgens de generieke gebruiksnormen.

De bemesting van een volledig grasjaar was in vruchtwisseling I gelijk aan die in vruchtwisseling II. Gras als nagewas na aardappel werd niet bemest (vruchtwisseling I en II) (en overigens ook niet geoogst). Gras als voorgewas voor maïs kreeg 35-40 m³ drijfmest en 100 kg kunstmest N per ha en de daarop volgende maïs kreeg in het systeem van directzaai waarbij maïs gezaaid wordt in uitgefreesde de stroken in gras (toegepast vanaf 2011) nog eens 45 m³ drijfmest en 50 kunstmest N per ha.

Tabel 2.1 Gewasbemesting op het bedrijf Baltus (gras en maïs volgens de KringloopWijzer, pootaardappel volgens opgave van de akkerbouwer).

Periode	Gewas	N (kg/ha)			Totaal werkzaam ⁴⁾	P2O5 (kg/ha)
		Drijfmest	Kunstmest	Totaal		
I ¹⁾	Gras	272	262	534	412	101
	Maïs	235	125	360	254	105
	Pootaardappel	0	80	80	80	40
II ²⁾	Gras	249	309	558	446	94
	Maïs	289	158	447	317	133
	Pootaardappel	0	80	80	80	40
III ³⁾	Gras	319	228	547	403	124
	Maïs	279	150	429	303	103
	Pootaardappel	0	80	80	80	40

¹⁾ Generieke gebruiksnormen van toepassing (tot en met 2013);

²⁾ Gebruiksruimte BEN van toepassing (2014);

³⁾ Gebruiksruimte BES van toepassing (2015 en later);

⁴⁾ Berekend als N werkzaam = N kunstmest + 0,55 x N drijfmest

2.4 Maaisnedes en kuilsysteem

Het grasland wordt op het bedrijf Baltus niet beweid. Per jaar zijn er vier maaisnedes. Met name de eerste twee sneden zijn relatief zwaar vergeleken met wat gangbaar is in de praktijk en wat in het algemeen wordt geadviseerd. Een snedezwaarte van 5 tot 6 duizend kg droge stof per ha is eerder regel dan uitzondering. Baltus werkt bewust met zulke zware sneden omdat hij bij een lichtere snede vreest voor te weinig structuur in het gras. In verband hiermee let Baltus scherp op de ADL-waarde in het gras (Lignine). Bovendien past de snedezwaarte en maaifrequentie bij de kuiltechniek. Baltus legt zogenaamde Lasagnekuilen aan door de derde snede op de eerste snede te kuilen en de vierde op de tweede kuil. Zo combineert hij 2 kwaliteiten (vroeg en laat gras) in 1 kuil.

3 Gegevens van het bedrijf en dataverzameling

3.1 Gegevens

Gegevens over de bedrijfsvoering zijn beschikbaar in registratiesystemen van *Koeien & Kansen*. In de 'Perceelsregistratie' worden bodembewerking, zaaien van nieuwe gewassen, bemesten, maaien en hakselen met datum, werkwijze en waar van toepassing hoeveelheden vermeld. In mondelinge toelichtingen worden waar nodig zaken nog verder gespecificeerd.

De N- en P-stromen van en naar de bodem zijn op gewasniveau² ontleend aan de KringloopWijzer. Deze gegevens zijn beschikbaar vanaf 2010. Ook droge stofopbrengsten zijn ontleend aan de KringloopWijzer. Daarnaast verstrekt Baltus waar nodig aanvullende informatie over opbrengsten op basis van weging en het tellen van opraapwagens. Deze gegevens worden verwerkt om de nutriëntenkringloop te bepalen in een spoor dat parallel loopt aan de KringloopWijzer en dat in *Koeien & Kansen* wordt uitgevoerd als controle op de KringloopWijzer resultaten (Oenema *et al.*, 2017). Informatie over de aan- en afvoer van nutriënten in de pootaardappelteelt (perceel, verhuurd aan akkerbouwer) zijn gebaseerd op mondelinge informatie.

De bodem wordt in *Koeien & Kansen* eens in de drie jaar bemonsterd (2009, 2012, 2016 en 2019) waarna de chemische samenstelling wordt geanalyseerd door Eurofins. Op bedrijf Baltus is bemonstering in de *Koeien & Kansen*-periode steeds door dezelfde persoon uitgevoerd. Bodemonsters zijn gestoken over een diepte van 10 cm voor grasland en 25 cm voor bouwland⁽³⁾. De monsters werden verzameld door een mengmonster samen te stellen bestaande uit 40 steken per te bemonsteren perceel. Bij monsternamen voor dit onderzoek is van elk perceel (gemiddelde oppervlakte 3,8 ha) een bodemonster verzameld. Daarmee is de bemonsteringsdichtheid iets groter dan verplicht is voor het verkrijgen van derogatie van de nitraatrichtlijn is: tenminste één bodemonster per 4 ha. Er zijn ook nog monsters beschikbaar uit 2005, dus voordat Baltus deelnemer werd van *Koeien & Kansen*. Ook deze bemonstering werd door dezelfde persoon uitgevoerd, maar op bouwland werd 0-20 cm, bemonsterd. Tezamen levert dit een set van bodemanalyses op over de periode 2005-2019.

De bemonsteringsfrequentie is afgestemd op het driejarige vruchtwisselingsschema op bedrijf Baltus: gras, maïs en aardappel. Deze vruchtwisseling wordt uitgevoerd in drie blokken, die niet per sé gekoppeld zijn aan hele percelen. Volgens dit teeltplan is het geteelde gewas (gras, maïs of pootaardappel) op elk blok om de drie jaar hetzelfde.

Sinds 2015 heeft Baltus onbemeste veldjes aangelegd in gras en in maïs (nulveldjes) om het stikstofleverend vermogen van de bodem te bepalen (NLV). De veldjes worden vrijgemaakt van klaver. De opbrengst van deze velden (21 m²) wordt gewogen, van het geoogste materiaal wordt een mengmonster gemaakt en daarvan wordt het droge stofpercentage en het gehalte van stikstof en fosfaat bepaald. Het maaimoment van de 4 grassnedes is gelijk aan het overige productiegras.

Voor het bepalen van verliezen van stikstof door uit- en afspoeling wordt op *Koeien & Kansen*-bedrijven door RIVM de stikstofconcentratie in grond-, drain- en slootwater bepaald volgens het protocol van het Landelijke Meetnet Mestkwaliteit (LMM; Hooijboer en Weijs, 2013). Uit de eerste metingen werd duidelijk dat de nitraatuitspoeling naar het grondwater verwaarloosbaar is. Daarom wordt sindsdien alleen drain- en slootwater bemonsterd met debietmeting. Per jaar zijn er vier meetrondes die gelijk zijn verdeeld over de winterperiode. Er zijn 16 meetpunten, die zodanig zijn gekozen dat een zo representatief mogelijk beeld van de kwaliteit van de totale drainwaterafvoer wordt verkregen (Figuur 2.3). Per bemonsterde drain wordt dan ook nagegaan van welk perceel het drainwater afkomstig is. Hierdoor kan ook de relatie met het geteelde gewas gelegd worden.

Op 30 oktober 2017 is een visuele bodembeoordeling uitgevoerd op het bedrijf. In grasland en op maïsland werden (na oogst) diverse profielkuilen gegraven, de waarnemingen betroffen zodedichtheid, beworteling (incl. diepte), bodemstructuur (korreligheid, vorm van breukvlakken), kenmerken van bodemleven, kleur van de bodem en het voorkomen van onverteerde resten.

² Met gewasniveau wordt bedoeld de verzameling percelen met hetzelfde gewas; alleen op dat niveau maakt de KLW onderscheid binnen het bedrijf.

3.2 Gegevensverwerking en analyse

3.2.1 Regressieanalyses

Trendonderzoek bodem OS en N

Trendonderzoek bodem is uitgevoerd door per perceel enkelvoudige lineaire regressie over de tijd toe te passen op het C-gehalte en het N-gehalte over de gehele periode waarvoor gegevens beschikbaar waren (2005 tot en met 2019). Deze procedure werd apart uitgevoerd voor de verzameling bodemonsters die waren gestoken in grasland in de laag 0-10 cm en voor de verzameling bodemonsters die waren gestoken in de bouwlandfase in de laag 0-25 cm. Dat levert een set van regressiecoëfficiënten over de tijd op voor graslandmonsters en een set voor bouwlandmonsters. De betekenis van deze beide sets is echter hetzelfde: ze zeggen iets over het verloop van het C-gehalte dan wel het N-gehalte onder het regime van de gehele vruchtwisseling en bijbehorend management (dus het is NIET zo dat de regressiecoëfficiënten op basis van bouwlandmonsters iets specifiek zouden zeggen over bouwlandeffecten en op basis van graslandmonsters iets over graslandeffecten). Van deze regressiecoëfficiënten werd het gemiddelde bepaald en werd met een one sample t-test in Genstat bepaald of dit gemiddelde significant afwijkt van 0.

Omdat na 2009 tot 29 cm werd geploegd en daarvoor tot 27 cm is vanaf 2009 C en N in de laag 27 cm vermengd met C en N in de laag 27 tot 29 cm. Omdat C en N-gehalten afnemen over de diepte is verdunning opgetreden. Hiervoor is gecorrigeerd door een verdunningsfactor toe te passen op alle gehalten na 2009. De verdunningsfactor is bepaald op basis van de aanname dat het gehalte in de laag 27-25 cm een factor 6 lager is dan in de laag 0-27 cm. Deze berekening werd uitgevoerd om te controleren of de hiervoor beschreven trendanalyse gevoelig is voor het artefact ploegdiepte. Op de gecorrigeerde waarden voor het C en het N-gehalte is de hiervoor beschreven analyse nogmaals toegepast.

In 2019 is het volledige protocol voor bodembemonstering drie keer uitgevoerd op 3 achtereenvolgende dagen. Met Genstat is een eenzijdige variantie analyse uitgevoerd met 'perceel' als verklarende variabele. De restvariantie geeft een beeld van de spreiding en deze is omgerekend in de standaardafwijking en het 95% betrouwbaarheidsinterval van de schatting van het C-gehalte en het N-totaal gehalte. Dit geeft een beeld van de (on)betrouwbaarheid van een waarneming op één specifiek moment en geeft daarmee ook aan welke verschillen (in tijd) met de nodige betrouwbaarheid kunnen worden vastgesteld.

Gras en maïs; opbrengst en voederwaarde

Onderzocht werd of de opbrengst van gras- en maïs (kg droge stof, stikstof en fosfaat) veranderde over de tijd door enkelvoudige lineaire regressie (Genstat). Hierbij werd nagegaan wat het effect is van bemesting door de jaaraanvoer werkzame N als factor in het model op te nemen. Met een one sample t-test werd onderzocht welke factoren (tijd, bemesting) een significant effect hebben.

Volgens dezelfde periode werd voor gras en maïs de ontwikkeling over de tijd onderzocht van de voederwaardekenmerken: VEM-gehalte, RE-gehalte en P-gehalte.

3.2.2 Bodembalans voor stikstof

De massabalans

De netto aanvoer van stikstof naar de bodem is de aanvoer uit verschillende bronnen waaronder mest minus de hoeveelheid stikstof die in de vorm van ammoniak tijdens of kort na mestaanwending verloren gaat. De netto aanvoer minus de onttrekking is het N-bodemoverschot. Dit overschot:

1. wordt opgeslagen in de bodem,
2. spoelt af of uit naar grond- en/of oppervlaktewater of
3. wordt door denitrificatie omgezet in gasvormige N-verbindingen (N₂ en N₂O).

Als al deze routes volledig zijn gekwantificeerd ontstaat een complete massabalans van de in- en uitgaande overdracht snelheden (fluxen) van stikstof in het bodemsysteem. Deze balans werd voor het bedrijf Baltus opgesteld door alle aanvoerposten en afvoerposten op jaarbasis te schatten.

De aanvoer is berekend als de som van aanvoer met meststoffen (na aftrek van ammoniakemissie tijdens en na aanwending), atmosferische depositie en door N-binding met klaver. De vastlegging in de bodem is geschat op basis van bodemanalyses. Het verlies door uit- en afspoeling naar sloot- of grondwater is gekwantificeerd met behulp van waargenomen nitraatgehaltes in drainwater in combinatie met schattingen van het debiet van water. De gasvormige verliezen vormen een sluitpost op de balans. Hieronder wordt de werkwijze voor afzonderlijke posten toegelicht.

Netto N-aanvoer naar de bodem en de onttrekking met gewas

De netto aanvoer wordt geschat door middel van zorgvuldig invoeren van bedrijfsregistraties in de KringloopWijzer (<https://www.verantwoordeveehouderij.nl/nl/mijnkringloopwijzer.htm>). De KringloopWijzer produceert op basis van deze gegevens onder andere de aanvoer van stikstof door atmosferische depositie, weidemest, drijfmest en kunstmest en door N-binding met vlinderbloemigen (alles in kg per ha). Deze kengetallen zijn allen gemiddeld over het gehele bedrijfsareaal (hiertoe behoren de percelen die bij de gecombineerde opgave zijn aangemeld voor RVO), maar worden ook geproduceerd op het niveau van de gewassen gras en maïs. Ook de onttrekking van stikstof (en fosfaat) met gewas wordt geschat op basis van de KringloopWijzer.

N-accumulatie

De accumulatie van C en N in de bodem is als volgt berekend. Voor elk perceel is de ontwikkeling van de C en N-voorraad in de tijd berekend door de richtingscoëfficiënt van het C- en N-gehalte (verandering per jaar gemiddeld over de hele meetperiode) te vermenigvuldigen met het bouwvoorgewicht per ha (laag tot 29 cm). Deze waarden zijn voor elk perceel gewogen gemiddeld naar de oppervlakte omgerekend in een balans op bedrijfsniveau.

Verlies door uit- en afspoeling naar water

De volgende aanpak is gevolgd om nitraatverliezen via uitspoeling van de drains te kwantificeren. De nitraatconcentratiemetingen zijn per jaar en per drainbuis gewogen gemiddeld op basis van het gemeten debiet op het moment van monstern. Dit wil zeggen dat een meting op een moment dat de buis hard loopt zwaarder mee telt in het gewogen gemiddelde dan een meting op een moment dat de buis langzaam loopt. De jaargemiddelde nitraatconcentraties per buis werden vervolgens gekoppeld aan het juiste perceel en gewas, dat in het voorafgaande seizoen op dat perceel aanwezig was. In geval meerdere drainbuizen konden worden gekoppeld aan hetzelfde gewas in hetzelfde jaar, dan werden de berekende jaargemiddelde concentraties per buis ook voor dat gewas op dezelfde manier gemiddeld, dat wil zeggen gewogen gemiddeld op basis van het waargenomen debiet bij monstern. Op deze manier konden gemiddelde nitraatconcentratie berekend worden, zowel voor jaren en gewassen en combinaties daarvan, als voor de ruimtelijke eenheden percelen en het hele bedrijf.

Om vervolgens te komen tot schattingen voor stikstof- of nitraatvrachten in kg per ha per jaar was het nodig de concentraties (mg/L) te vermenigvuldigen met het jaarlijkse debiet (mm). Het totale jaardebiet is echter niet gemeten. Daarom is gebruik gemaakt van het resultaat van modelberekeningen met STONE (Groenendijk *et al.*, 2015) voor vergelijkbare omstandigheden en voor dezelfde periode (2010-2018). Er zijn 2 STONE-rekenplots (Bijlage IV) die het beste overeen komen met de situatie bij Baltus, nl. de nummers 2016 (grasland op zeeklei met GT VI zonder kwel) en 2509 (grasland op zeeklei met GTIV met kwel).

Denitrificatie; verlies van vluchtige N-verbindingen

Verliezen die optreden door denitrificatie vormen een restpost geschat op basis van de massabalans waarin andere posten dan denitrificatie al op waarde zijn gezet.

$$N \text{ bodemoverschot} = N \text{ Accumulatie} + N \text{ uitspoeling} + N \text{ denitrificatie} \Rightarrow$$

$$N \text{ denitrificatie} = N \text{ bodemoverschot} - N \text{ Accumulatie} - N \text{ uitspoeling}$$

4 Resultaten

4.1 Gewasopbrengst en gewaskwaliteit

Tabel 4.1 toont de opbrengst van gras en maïs voor bedrijf Baltus en ter vergelijking de gemiddelde opbrengsten volgens gegevens van het LEI-BIN bestand uit 2007-2009 voor Nederland, voor kleigrond (hieronder vallen zowel rivierklei als zeeklei) en voor Koeien & Kansen (jaren 2010-2018).

De gemiddelde grasopbrengst van droge stof, stikstof en fosfaat is respectievelijk 16506, 368 en 145 kg per ha over de periode 2010-2018 (Tabel 4.1). In 2015-2018 is de opbrengst van droge stof, stikstof- en fosfaat iets lager dan het gemiddelde over de gehele periode. De grasopbrengst in 2018 is het laagst van alle jaren en die van het jaar ervoor, 2017, juist het hoogst. De maïsopbrengst is in 2010 het laagst en in 2018 het hoogst. De opbrengst van maïs lijkt iets hoger te zijn in jaren waarop de grasopbrengst relatief laag is en omgekeerd, maar dit veronderstelt negatieve verband tussen de gras- en maïsopbrengst in een jaar is niet significant.

De droge stofopbrengst van gras is beduidend hoger dan het gemiddelde voor Nederland, het gemiddelde voor kleigrond en het gemiddelde voor Koeien & Kansen (Tabel 4.1). De N-opbrengst is ook hoog vergeleken met de gemiddelden voor Nederland, kleigrond en Koeien & Kansen, maar het verschil met Koeien & Kansen is niet significant. Dit geldt ook voor de fosfaatopbrengst van grasland. De opbrengsten van droge stof, stikstof en fosfaat in maïs zijn op bedrijf Baltus niet in elke onderzoeksfase hoger dan de gemiddelden voor Nederland, kleigrond en Koeien & Kansen. Het bedrijf valt dus bij uitstek op door een hoge grasopbrengst en scoort gemiddeld ten aanzien van de opbrengst van maïs.

De vergelijking met resultaten uit het LEI-BIN netwerk geeft aan hoe de opbrengsten op het bedrijf Baltus zich verhouden tot die op andere bedrijven, maar bedacht moet wel worden dat de omstandigheden uit de vergelijkingsgroep afwijken van die op bedrijf Baltus. Op bedrijf Baltus wordt niet beweide en op veel van de bedrijven uit de genoemde groepen wel. Onder kleigrond valt in het LEI-BIN bestand rivierklei en zeeklei, terwijl Baltus op zeeklei ligt. Het N-bemestingsniveau is op bedrijf Baltus op gras met gemiddeld 426 kg veel hoger dan voor gemiddeld Nederland, bedrijven op kleigrond en gemiddeld Koeien & Kansen met bemestingsniveaus van respectievelijk 270, 282 en 298 kg N werkzaam per ha. Het verschil in bemestingsniveau is van vergelijkbare orde van grote met voor Baltus, Nederland gemiddeld, klei gemiddeld en Koeien & Kansen-niveaus van respectievelijk: 294, 134, 144 en 112 kg N werkzaam per ha. Hierbij moet wel ook aangetekend worden dat Baltus een relatief zware grassnede oogst voor de maïs.

Tabel 4.1 De jaaropbrengst van grasland en maïsland in droge stof (Ds), stikstof (N) en fosfaat (P₂O₅), alles in kg per ha; getallen tussen haakjes: standaardafwijking.

Fase	Jaar	Grasland			Maïsland ¹⁾		
		Ds	N	P ₂ O ₅	Ds	N	P ₂ O ₅
I ²⁾	2010	17206	396	157	13500	181	77
	2011	16525	362	139	14180	170	84
	2012	15221	342	140	14892	162	89
	2013	16855	386	143	14050	155	77
II ³⁾	2014	17175	394	178	18600	202	102
III ⁴⁾	2015	16850	345	143	15169	165	85
	2016	16075	308	126	15265	149	94
	2017	18433	410	149	17000	177	79
	2018	14219	371	128	20000	202	92
Voll. Periode	2010-2018	16507	368	145	15851	174	87
Fase I	2010-2013	16452	372	145	14156	167	82
Fase II	2014	17175	394	178	18600	202	102
Fase III	2015-2018	16394	359	137	16859	173	88
Nederland ⁵⁾	2007-2009	9841	268	89	15270	177	72
Kleigrond NL ⁵⁾	2007-2009	9708	263	87	14765	180	75
Koeien&Kansen ⁶⁾	2010-2018	10955	289	92	16426	168	70
		(2183)	(59)	(22)	(3764)	(43)	(17)

¹⁾ De jaaropbrengst exclusief voor- en/of nagewassen;

²⁾ Generieke gebruiksnormen van toepassing (tot en met 2013);

³⁾ Gebruiksruimte BEN van toepassing (2014);

⁴⁾ Gebruiksruimte BES van toepassing (2015 en later);

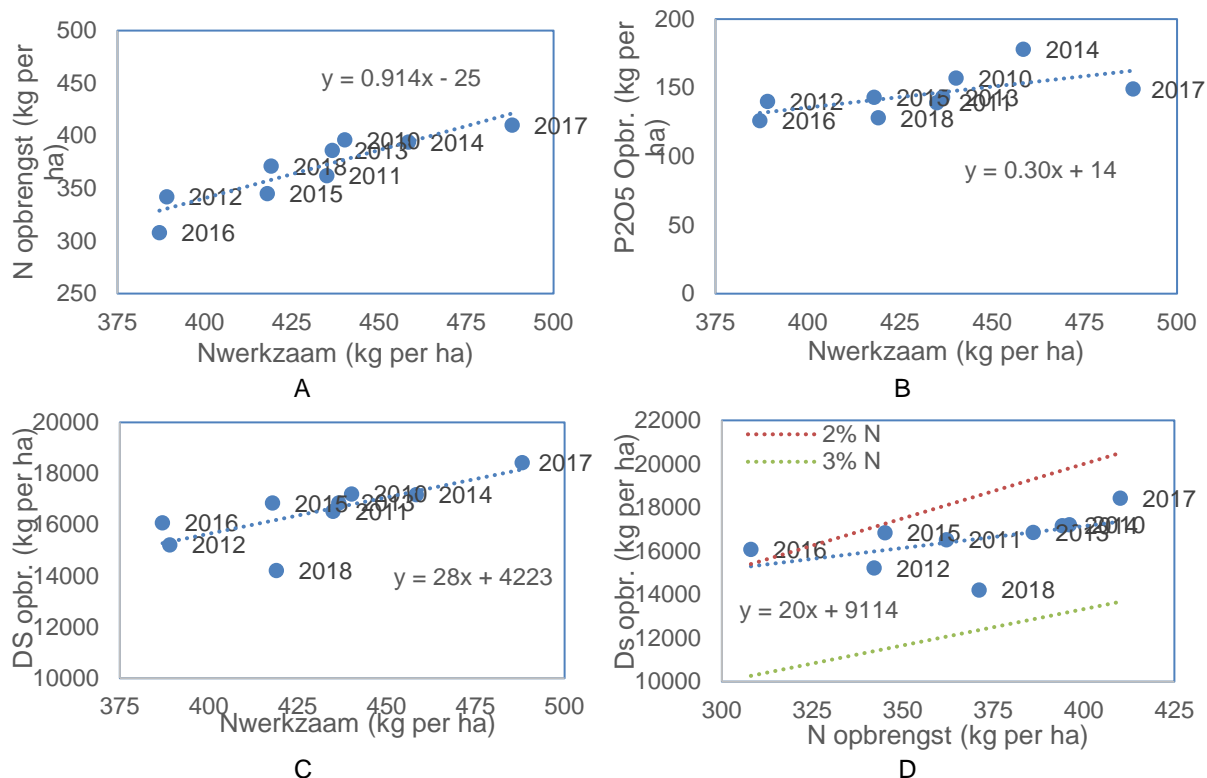
⁵⁾ Gegevens: LEI-BIN, Nederland n= 271, Kleigrond n = 91, bronnen: Aarts *et al.*, 2008 en Daatselaar, persoonlijke communicatie;

⁶⁾ KringloopWijzer resultaten voor Koeien & Kansen exclusief bedrijf Baltus, gras inclusief natuurgasland (niet gepubliceerd).

Bij enkelvoudige lineaire regressie van de N-opbrengst met de verklarende factoren Nwz, Jaar en P bemesting is Nwz de enige factor met een significant positief verband (getoetst volgens eenzijdige student-t toets met een overschrijdingskans van $P < 0,001$ en $R^2\text{Adj}$ 78%) (Figuur 4.1 A). De samenhang tussen het niveau van werkzame N met: i) de droge stofopbrengst en ii) de fosfaatopbrengst zijn nog juist significant met overschrijdingskansen van respectievelijk $P < 0,035$ en $P < 0,02$ en met waarden voor $R^2\text{Adj}$ van 42% en 50%. Ook de opbrengst van droge stof en fosfaat wordt de variatie uitsluitend door Nwz verklaard en niet door het toenemen der jaren of door de fosfaatbemesting (Figuur 4.1B en C).

De N-opbrengst van gras neemt dus duidelijk toe met het niveau van werkzame N en het verlopen van de jaren heeft geen invloed op de N-opbrengst. Dat de factor 'jaar' geen duidelijke samenhang vertoont met de N-opbrengst is ook uit Figuur 4.1A op te maken waarin geen verband te zien is tussen het jaar van de waarnemingen en de positie (onder of boven) ten opzichte van de regressielijn van N-werkzaam tegen de stikstofopbrengst. De samenhang tussen Nwz en de droge stofopbrengst en de fosfaatopbrengst is dus minder duidelijk dan die voor de N-opbrengst. Dit laatste wijst erop dat bij de droge stofopbrengst en de fosfaatopbrengst andere factoren meer gaan meespelen. Ten aanzien van de fosfaatopbrengst valt de hoge waarde van het jaar 2014 op. Dit jaar is gekend vanwege een uitzonderlijk hoge mineralisatie van bodem P. Ten aanzien van de droge stofopbrengst valt de relatief lage waarde uit 2018 op, een relatief droog jaar. De droge stofopbrengst van gras houdt geen duidelijk verband met de N-opbrengst (Figuur 4.1D). Dit laatste is in overeenstemming met het feit dat het verband tussen de opbrengst van droge stof en N werkzaam zwakker is dan het verband tussen de N-opbrengst en N werkzaam (Figuur 4.1A en C). De N-opbrengst in gras is niet alleen bepalend voor de droge stof opbrengst. Dat droge stof opbrengsten hoger zijn dan $15 \cdot 10^3$ kg per ha is opmerkelijk omdat het N-gehalte met gemiddeld 2,2% voor alle jaren en in 2016 zelfs 1,9% zo laag is dat een duidelijke opbrengstdepressie verwacht mag worden met enerzijds lagere opbrengsten en anderzijds een sterker verband met de N-opbrengst. De grasgroei lijkt dus bij lage N-gehalten door te gaan zonder de grasgroei overduidelijk af te stoppen.

De opbrengst van stikstof, fosfaat en droge stof van maïsland vertoont niet of nauwelijks samenhang met het niveau van werkzame N en de fosfaatbemesting (niet getoond).



Figuur 4.1: A, B, C: De samenhang tussen het niveau van werkzame N-bemesting en grasopbrengsten van stikstof (A), fosfaat (B) en droge stof (C); D: De samenhang tussen de N-opbrengst en de droge stofopbrengst van gras.

Tabel 4.2 geeft weer de gehalten van RE, VEM en P in gras en maïs voor het bedrijf Baltus en ter vergelijking voor LEI-BIN-bedrijven en Koeien & Kansen-bedrijven. Het RE-gehalte in gras is gemiddeld 131 g per kg ds, beduidend lager dan wat algemeen in de melkveehouderij gevonden wordt (Tabel 4.2, zie ook de waarden uit het LEI-BIN bestand en Koeien & Kansen). Volgens Eurofins is het landelijk gemiddelde van ingezonden grasmonsters over 2011 tot en met 2018 met 175 gram per kg ds nog iets hoger dan de referenties uit Tabel 4.2 (Eurofins, ongepubliceerde gegevens). Het VEM-gehalte in gras is 935 g per kg ds. Dat verschilt niet noemenswaardig van waarden die in Nederland algemeen, op kleigrond en in Koeien & Kansen worden aangetroffen. Het P-gehalte in gras is met 3,5 over 2011-2018 lager dan in Koeien & Kansen. Het P-gehalte in maïs is op het bedrijf Baltus niet verschillend van dat in Koeien & Kansen.

Het VEM-gehalte in maïs vertoont een bijzonder consistente toename in de tijd met ongeveer 50 g per kg ds over de gehele onderzoeksperiode (R^2 Adj 87%). Het RE-gehalte, P-gehalte in gras en maïs vertoont geen trend over de tijd en dat geldt ook voor het VEM-gehalte in gras.

De lage Re- en P-gehalten in gras kunnen deels verklaard worden door de zware maaisneden, waardoor de mineralen worden verdund over steeds meer biomassa (zie ook hoofdstuk 2.3). Een bekend fenomeen is ook dat het VEM-gehalte afneemt naarmate het ontwikkelingsstadium van gras vordert richting afrijping. Dat zien we niet terug in de gevonden VEM-waarden bij Baltus en dat klopt met de praktijkwaarneming dat het gras, zelfs bij de zware maaisneden van veelal rond de 5 ton ds per ha nog niet in het afrijpingsstadium zit.

Tabel 4.2 Gehalte van RE, VEM en P in gras en maïs (g per kg ds)².

Fase ¹⁾	Jaar	Grasland			Maïsland		
		RE	VEM	P	RE	VEM	P
Fase I ¹⁾	2010	138	934	3.7	82	959	2.4
	2011	130	946	3.3	73	967	2.5
	2012	130	930	3.6	65	968	2.5
	2013	133	960	3.3	67	982	2.3
Fase II ¹⁾	2014	136	922	4.1	66	985	2.3
Fase III ¹⁾	2015	118	934	3.3	66	1006	2.4
	2016	111	910	3.1	60	987	2.6
	2017	129	931	3.2	64	1008	2
	2018	151	948	3.6	61	1021	1.9
Voll periode	2010-2018	131	935	3.5	67	987	2.3
Fase I	2010-2013	133	943	3.5	72	969	2.4
Fase II	2014	136	922	4.1	66	985	2.3
Fase III	2015-2018	127	931	3.3	63	1006	2.2
Koeien&K gem ¹⁾	2010-2018	168	893	3.9	71	988	1.9
Koeien&K stdev		(16)	(30)	(0.3)	(6)	(30)	(0.2)

¹⁾ Zie footnotes 2, 3, 4, 5, 6 bij Tabel 4.1.

²⁾ Deze waarden hebben alle betrekking op kuilmonsters.

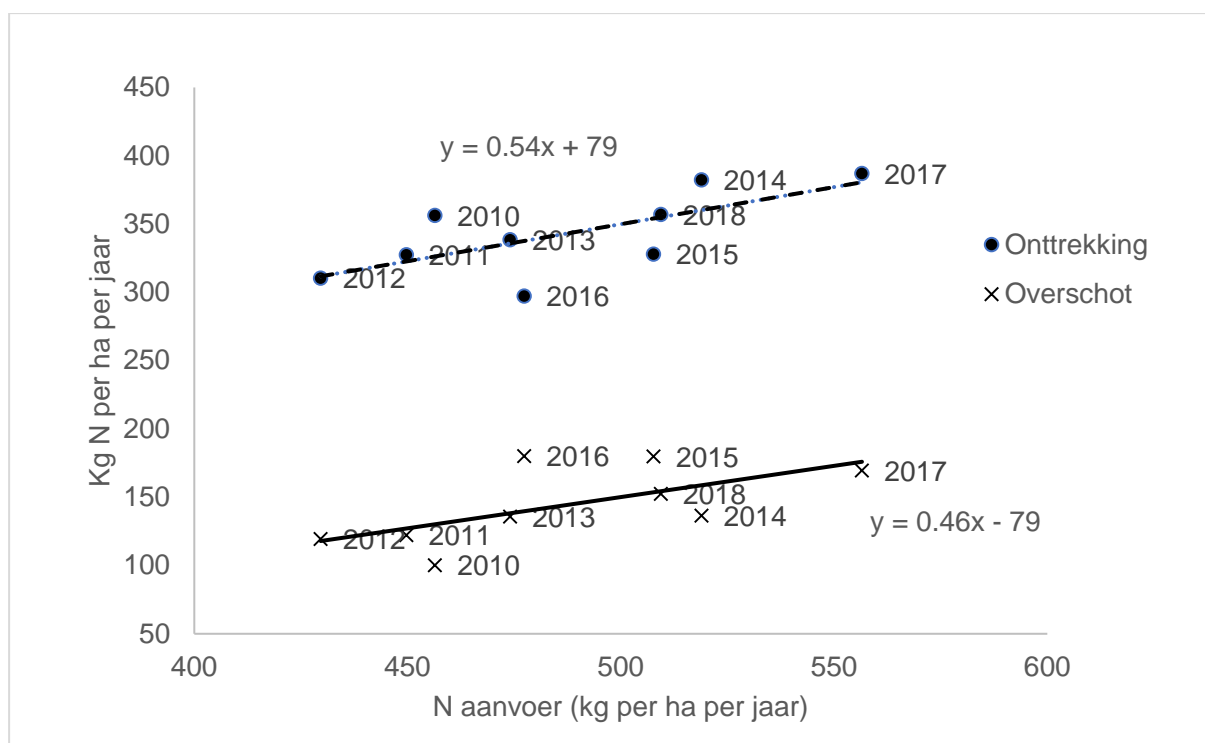
4.2 Het overschot op de bodembalans van stikstof en fosfaat

Het gemiddelde stikstofbodemoverschot op bedrijfsniveau is 144 over de gehele periode 2010-2018 en 170 kg N per ha over 2015-2017 (Tabel 4.3; aanvoer van stikstof na aftrek van ammoniakemissie). Opvallend is het negatieve bodemoverschot van fosfaat.

Het stikstofbodemoverschot is in de periode met BES bemesting (2015-2017) hoger dan in de periode daarvoor (2010-2014). De aanvoer van stikstof is met 44 kg per ha toegenomen (513-469 kg per ha) door de mestnorm in BES. Desondanks is de afvoer van stikstof met 4 kg per ha afgenomen (Tabel 4.3: 342-346 kg per ha). Dit suggereert dat een hogere aanvoer van N niet tot uiting komt in een hogere N-gewasonttrekking en dus uitsluitend in de andere verzamelpost: het N-overschot op de bodembalans. Dit blijkt echter een te ruwe zienswijze. Enkelvoudige lineaire regressie resulteert in een significant positief verband tussen de N-gewasonttrekking (R^2 Adj 42% en P probability < 0,035 volgens de student t-test). Dezelfde procedure levert geen significant model op voor het N-overschot op de bodembalans met de N-aanvoer als verklarende factor, maar er is wel een tendens in de richting van een positief verband tussen N-aanvoer en het N-overschot. Extra aangevoerde N lijkt zich in ongeveer een 1:1 verhouding te verdelen over N-gewasonttrekking en N-overschot (Figuur 4.2).

Het N-bodemoverschot is toegenomen met de tijd. Dit kan voor een klein deel worden toegeschreven aan de afname van het areaal maïsland ten gunste van grasland in 2014. Het bodemoverschot op grasland is structureel 47 kg N per ha hoger dan op maïsland. Bij een toename van gras van 70 naar 80% scheelt dat $0,1 \cdot 47 = 4,7$ kg N per ha.

Het fosfaatoverschot op de bodembalans is negatief: -29 kg per ha over 2010-2018. Het overschot is het hoogst in de BEN periode waarin bedrijfsspecifiek kunstmest N is toegekend en het overschot is juist weer lager in de BES periode waarin juist dierlijke mest bedrijfsspecifiek is toegekend, respectievelijk -67 en -29 kg per ha. Bij de teelt van pootaardappel is aanvoer en onttrekking in balans.



Figuur 4.2 De N-onttrekking en het N-overschot op de bodembalans uitgezet tegen de N-aanvoer naar de bodem op het bedrijf Baltus.

Tabel 4.3 Stikstofbodembalans op bedrijfsniveau in het deel dat gebruikt wordt voor ruwvoerteelt (gras en maïs) en het deel buiten het bedrijf dat in gebruikt wordt voor teelt van pootaardappel.

	Melkveebedrijf, gras en maïs				Buiten melkveebedrijf, pootaardappel
	2010-2018	2010-2013	2014	2015-2018	2010-2018
Aanvoer	487	452	519	513	98
Drijfmest*	246	216	227	280	-
Weidemest*	0	0	0	0	-
Kunstmest*	215	213	269	203	80
Vlinderbloemigen	3	0	0	7	-
Depositie	23	23	23	23	-
Pootgoed	-	-	-	-	18
Afvoer	343	333	383	342	126
Gras- en maïskuil	343	333	383	342	-
Overige gewassen	-	-	-	-	126
Bodem overschot	144	119	137	170	-28
Efficiëntie	0.70	0.74	0.74	0.67	1,3

*Na aftrek ammoniakemissie.

Tabel 4.4 Fosfaatbodembalans op bedrijfsniveau in het deel dat gebruikt wordt voor ruwvoerteelt (gras en maïs) en het deel buiten het bedrijf dat in gebruikt wordt voor teelt van poot aardappel (bronnen: voedergewassen, KringloopWijzer; Poot aardappel, opgave akkerbouwer).

	Melkveebedrijf, gras en maïs				Buiten melkveebedrijf, poot aardappel
	2010-2018	2010-2013	2014	2015-2018	2010-2018
Aanvoer	108	102	103	116	47
Drijfmest*	106	97	98	116	-
Weidemest*	0	0	0	0	-
Kunstmest*	3	5	4	0	40
Vlinderbloemigen	0	0	0	0	-
Depositie	0	0	0	0	-
Pootgoed	-	-	-	-	7
Afvoer	138	134	169	134	46
Gras- en maïskuil	138	134	169	134	-
Overige gewassen	-	-	-	-	46
Graskuil + maïskuil	279	296			
Overig					
Bodem overschot	-29	-32	-67	-17	1
Efficiëntie	1.27	1.30	1.6	1.2	0.98

4.3 Ontwikkeling van de chemische bodemvruchtbaarheid

Stikstof en organische stof

Tabel 4.5 geeft de resultaten van enkelvoudige lineaire regressie weer van het OS-gehalte voor elk individueel perceel tegen de tijd. Tabel 4.6 geeft deze resultaten voor het N-gehalte weer. We zien bij zowel OS als bij N dat er gemiddeld over alle percelen een licht stijgende trend is, maar deze is niet significant afwijkend van nul. Uitgaande van een soortelijk gewicht van de bodem van 1,3 kg per liter komt de schatting van de trend van het N-gehalte overeen met 2,5 kg per ha per jaar in grasland en met 18,2 kg per ha per jaar in bouwland met betrouwbaarheidsintervallen van respectievelijk -13 tot 22 kg per ha per jaar en -59 tot 98 kg per ha per jaar. De op basis hiervan geschatte verandering van de N-voorraad bedraagt dus 3 kg per ha per jaar over de laag 0-0.10 m min maaiveld en 18 kg per ha jaar over de laag 0-0.25 m min maaiveld. N.B. deze waarden mogen niet gemiddeld worden. Weliswaar hebben ze beide betrekking op de ontwikkeling in dezelfde vruchtwisseling maar ze moeten vanwege een verschil in bemonsteringsdiepte voor een zuivere analyse uit elkaar gehouden worden.

Tabel 4.5 Regressiecoëfficiënt van het OS-gehalte tegen de tijd (helling) en de standaardfout van de schatting, het gemiddelde en de standaarddeviatie van de hellingen (Gem en Stdev) en het 95% betrouwbaarheidsinterval van het gemiddelde (Bbi (95%)).

Perceel	Analyses laag 0-10 cm		Analyses laag 0-25 cm	
	Helling	se	Helling	Se
1	0.020	0.049		
2	0.036	0.069		
3	-0.031	0.043		
4	0.035	0.012		
5	0.022	0.008		
6	-0.020	0.039		
7	0.007	0.014		
8	0.064	0.048		
9			0.079*	0.011
10			-0.017	0.030
11			-0.063	0.023
12			0.013	0.019
14			0.042	0.036
15	0.029	0.013		
17	-0.058	0.106		
Gem	0.010		0.011	
Stdev	0.036		0.055	
Bbi (95%)	-0.015 - 0.04		-0.05 - 0.07	

* Significant afwijkend van nul met een overschrijding, $P < 0,05$ (student t-test).**Tabel 4.6** Regressiecoëfficiënt van het N-gehalte tegen de tijd (helling) en de standaardfout van de schatting, het gemiddelde en de standaarddeviatie van de hellingen (Gem en Stdev) en het 95% betrouwbaarheidsinterval van het gemiddelde (Bbi (95%)), mg per kg ds per jaar.

Perceel	Analyses laag 0-10 cm		Analyses laag 0-25 cm	
	Helling	se	Helling	Se
1	2.3	20.3		
2	-6.6	15.5		
3	-16.6	22.2		
4	18.6	6.7		
5	20.2	10.9		
6	4.1	11.7		
7	-31.4	15.4		
8	15.7	19.1		
9			30.2*	10.6
10			-23.8	19.3
11			20.5	17.6
12			-4.7	10.7
14			5.8	15.0
15	16.6	14.7		
17	-3.9	43.0		
Gem	1.9		5.6	
Stdev	16.9		21.2	
Bbi (95%)	-10.0 - 13.8		-18.8 - 30.0	

* Significant afwijkend van nul met een overschrijding, $P < 0,05$ (student t-test).

Opname van de factor 'gewas in het jaar voorgaand aan een bodembemonstering' levert geen beter regressiemodel op (het percentage verklaarde variantie neemt niet toe en het effect van de factor gewas is niet significant). De regressiecoëfficiënt is volgens dit model nog kleiner dan de in Tabel 4.5 en 4.6 gepresenteerde resultaten en ook weer niet significant afwijkend van nul.

De analyse van de spreiding bij 3 maal herhaalde bemonstering in opeenvolgende dagen in 2019 levert voor OS op dat het gemiddelde van alle percelen (ongewogen naar oppervlak) gelijk is aan 2,8% met een bandbreedte van 2-5,8% (min perceel 15; max perceel 16). De restvariantie van de schatting per perceel bedraagt gemiddeld 0,06 en de standaarddeviatie is 0,24. Het 95% betrouwbaarheidsinterval van de schatting van het gehalte op een moment is gelijk aan $\pm 2 \times 0,24$ wat voor een perceel met een gehalte van bijvoorbeeld 3,0% overeenkomt met -2,52 tot 3,48%. Dit betekent dat een verandering in tijd die kleiner is dan 0,96% binnen het betrouwbaarheidsinterval van een individuele waarneming valt en daardoor niet goed vastgesteld kan worden. Het N-gehalte bedraagt gemiddeld 1546 mg per kg droge stof met een standaardafwijking van 172 en een 95% betrouwbaarheidsinterval van 1202-1890. De correlatie tussen de 3 bepalingen met de bijbehorende x-y diagrammen zijn opgenomen in Bijlage V.

4.4 Stikstoflevering uit de bodem

De N-onttrekking in onbemeste grasveldjes (dit is per definitie het stikstofleverend vermogen, NLV) is extreem laag: 24 tot 75 kg N per ha (Tabel 4.7). De N-onttrekking in 1^e jaars gras na aardappel en 2^e jaars gras na aardappel is niet significant verschillend. Het stikstofleverend vermogen (NLV) zoals vermeld op de uitslagen van de bodemanalyses is duidelijk hoger dan het stikstofleverend vermogen zoals waargenomen in de nul veldjes op basis van opbrengstbepaling. Het NLV volgens uitslag van bodemanalyse is alleen van toepassing op grasland en is daarom voor maïs met gras als voorgewas niet opgenomen in Tabel 4.7 (meest rechtse kolom). Het voorgewas gras voor maïs werd in 2018 bemest en is daarom niet echt te beschouwen als een nul veldje. Het resultaat van dit veldje is wel afgedrukt (cursief) maar niet in het gemiddelde voor maïs meegenomen.

De N-onttrekking in onbemeste maïsveldjes is ongeveer het dubbele van de N-onttrekking in maïs met gras als voorgewas. De lage NLV op het gras kan deels worden verklaard doordat alleen jong gras geteeld wordt dat relatief veel van de N die uit de bodem wordt opgenomen, weer investeert in de wortel (lage "spruit/wortel verhouding"). De hogere N-onttrekking door onbemeste maïs kan worden verklaard door het frezen van het voorafgaande gras, waaruit stikstof vrij komt.

Het NLV volgens bodemanalyse is het resultaat van de toepassing van de formule uit het bemestingsadvies op basis van het totaal organische N- en C-gehalte (CBGV, 2017). De overeenstemming met het NLV volgens de definitie is slecht (Tabel 4.7 en Figuur 4.3). Het NLV volgens bodemanalyse geeft systematisch een overschatting; de overschatting bedraagt gemiddeld 92% voor 1^e jaars gras en 78% voor 2^e jaars gras. De N-onttrekking in gras en maïs met gras als voorgewas lijkt iets toe te nemen in de tijd, maar om vast te stellen of deze toename significant is, zijn aanvullende waarnemingen nodig.

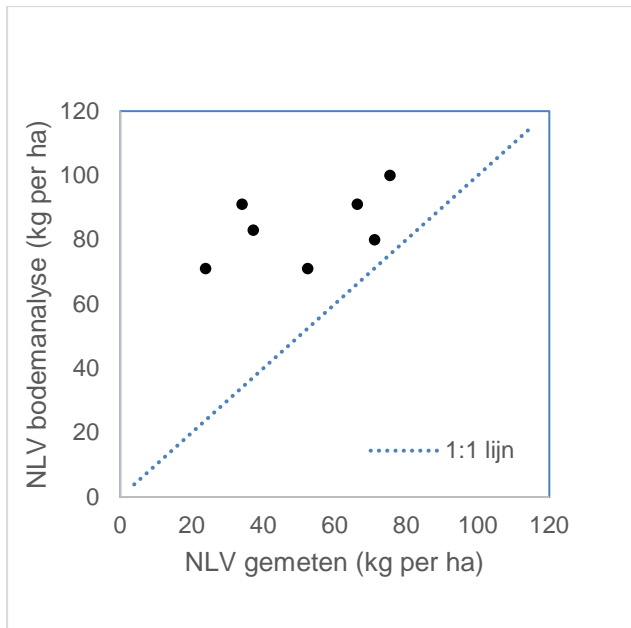
Tabel 4.7 N-levering per jaar (kg per ha) zoals gemeten op het bedrijf in nul veldjes en volgens de analyse uitslagen van bodemonsters.

Gewas	Jaar	Perceel	Jaar na Aardappel	Onttrekking nul-veldjes	Bodemanalyse
Gras	2016	2	2	34	91
		5	1	37	83
	2017	9	1	24	71
		9	2	52	71
	2018	2	1	66	91
		3	2	75	100
	2019	5 ¹⁾	1	71	80
		Gem (stdev)	1	50 (23)	81 (8)
Maïs/gras voorgewas	2017	2	2	54 (21)	87 (15)
			2	68	-
	2018	5 ²⁾	2	198	-
	2019	14	2	125	-
	Gem (stdev)		2	96 (40) ³⁾	-

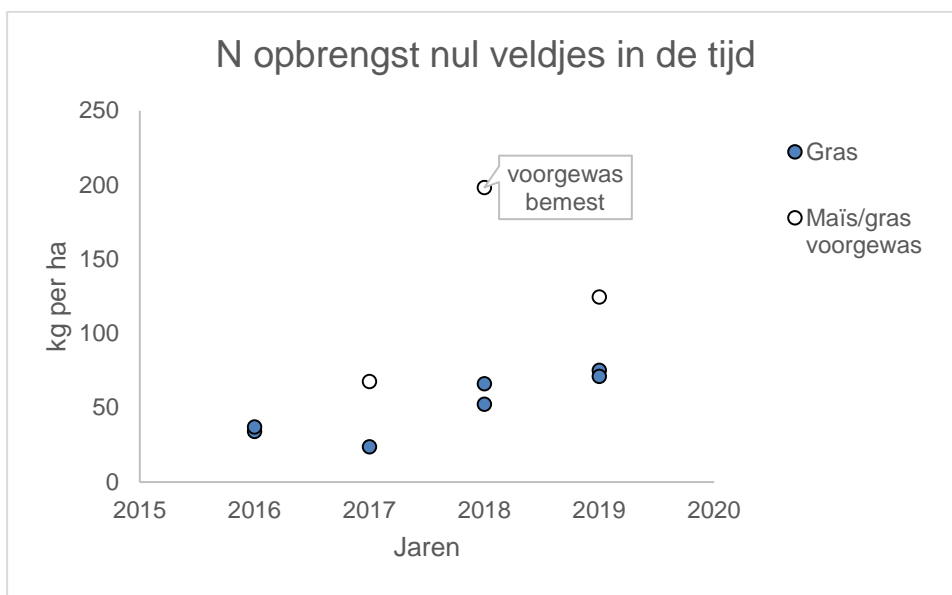
¹⁾ In dit veldje kwam klaver voor aan het eind van het seizoen

²⁾ Het voorgewas gras is op dit veldje bemest

³⁾ Exclusief het veldje van perceel 5 in 2018



Figuur 4.3 Het NLV in gras volgens bodemanalyse uitgezet tegen de gemeten N-onttrekking.



Figuur 4.4 N-onttrekking in nul-veldjes uitgezet tegen het jaar van waarneming.

4.5 Uit- en afspoeling

Het gemiddelde nitraatgehalte in drainwatermonsters op het bedrijf fluctueert rond een waarde van 11 mg per liter (Tabel 4.8). Er is geen significante toe- of afname van het gehalte, maar er zijn wel duidelijke verschillen tussen de jaren (Tabel 4.8 en 4.9) en tussen gewassen (Tabel 4.9). Met debiet gewogen (Tabel 4.8) wordt bedoeld dat een meting op een moment dat de buis hard loopt zwaarder meetelt in het gewogen gemiddelde dan een meting op een moment dat de buis langzaam loopt. Het rekenkundig gemiddelde is het gemiddelde van meetpunten zonder deze weging.

Tabel 4.8 Ontwikkeling van het bedrijfsgemiddelde nitraatgehalte in drainwater van 2010 -2018 (mg/l) en de daaruit afgeleide N-vracht in kg/ha/jaar. Afhankelijk van de ligging van de drainbuis is gerekend met de drainafvoer van plot 2016 of 2509 voor de berekening van de N-vracht in afzonderlijke jaren en voor afzonderlijke gewassen (Bijlage IV).

Jaar	Rekenkundig mg/l	Debiet gewogen mg/l	Areaalgemiddelde N-afvoer kg/ha/jaar
2010	11,1	8,7	5,0
2011	8,9	8,9	5,2
2012	9,2	13,7	10,9
2013	9,4	11,0	6,1
2014	10,7	10,1	5,8
2015	11,2	12,2	8,1
2016	14,4	15,0	8,1
2017	10,8	9,8	7,0
2018	6,4	6,3	
Gemiddeld	10,2	11,1	7,0

Tabel 4.9 Gemiddelde concentraties nitraat in drainwatermonsters (mg/l) per jaar en per voorafgaand gewas en daaruit berekende gemiddelde N-vrachten per gewas op bedrijf Baltus. G = Gras, M= Maïs, A = Aardappel. Lettercombinaties geven aan dat de betreffende drainbuizen door meerdere gewassen zijn beïnvloed.

Jaar	Voorafgaand Gewas							Gemiddeld per jaar	
	G	M	A	GA	GM	GMA	MA		
	NO ₃ concentratie							N-vracht ⁶	
2010	0,4		25,6		2,9			10,6	6,2
2011	3,7	3,7	14,4					6,7	4,0
2012	9,0	23,1	19,6	0,1	7,7			14,0	11,3
2013	3,1		20,6		2,9	4,1		12,5	7,2
2014	3,7		21,1	13,4	6,4			8,5	5,0
2015	7,0		21,2	0,0	27,5		38,5	14,9	10,1
2016	17,3		1,4	1,0	25,8		8,1	12,1	6,7
2017	3,1		21,3		14,5			9,0	6,7
Gemiddelde concentratie nitraat (mg/l)	4,6a	17,9b	20,0b	1,3a	17,4b	4,1c	31,7c	11,1	
Gemiddelde N-vracht (kg/ha) ⁴	2,8	12,6	13,0	0,9	11,3	2,8	15,5		7,1

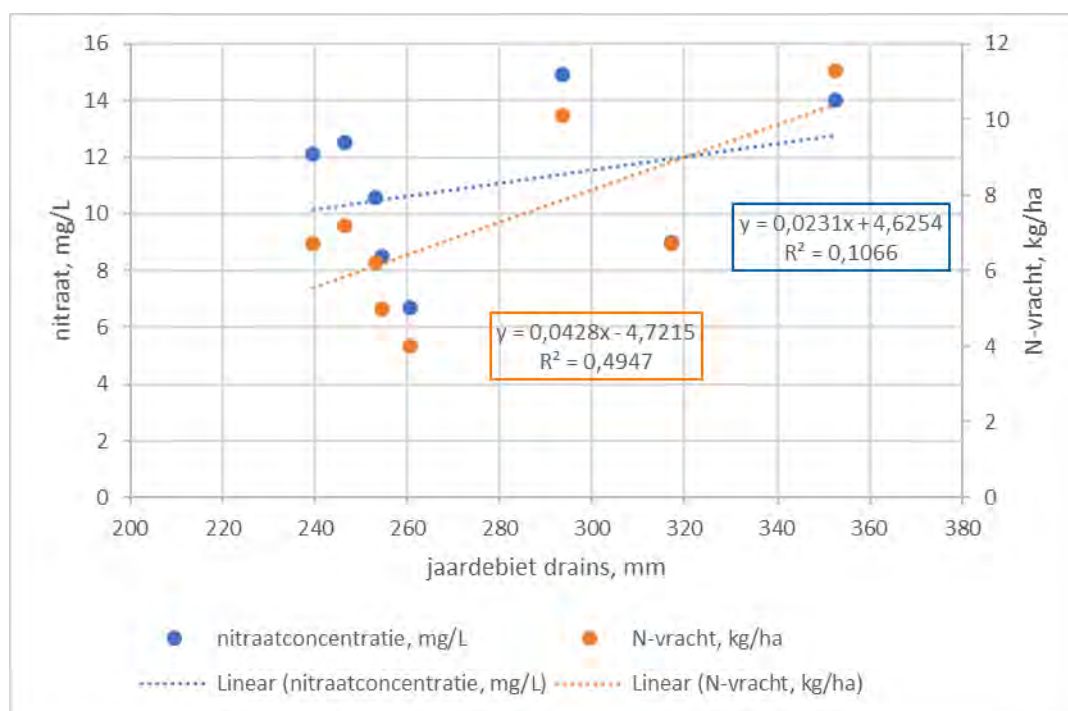
^a Resultaten die statistisch niet van elkaar te onderscheiden zijn; Fichers least significant difference test.

^b Resultaten die statistisch niet van elkaar te onderscheiden zijn.

^c Niet opgenomen in voornoemde test

Zoals mocht worden verwacht zijn de nitraatconcentraties vanuit de buisdrains onder gras duidelijk lager (4,6 mg/L) dan onder de bouwlandgewassen maïs (17,9 mg per liter), aardappelen (20,0 mg per liter) en de combinatie maïs en aardappelen (31,7 mg per liter) (Tabel 4.9). Dit patroon zien we ook bij de N-vrachten met respectievelijk 2,8 kg ha⁻¹.j⁻¹, 12,6 kg.ha⁻¹.j⁻¹, 13,0 kg.ha⁻¹.j⁻¹ en 15,5 kg N ha⁻¹.j⁻¹. De rangorde van de gemiddelde nitraatconcentraties per jaar komt niet helemaal overeen met de rangorde van de N-vrachten per jaar (Tabel 4.9). Dit komt doordat de rangorde van de geschatte debieten voor de beide gebruikte plots in bijlage IV afwijkt van de rangorde van de nitraatconcentraties. Uit Figuur 4.5 blijkt dat de N-vracht, zoals verwacht een beter verband vertoont met de jaarvracht dan met de concentratie. De belasting neemt dus gemiddeld toe met toenemende neerslag, maar de concentratie minder.

⁴ Berekend met STONE-debieten



Figuur 4.5: Verband tussen de afvoer van de drainbuizen (mm) met de nitraatconcentratie (mg/L) en stikstofvracht (kg/ha) via de drains (jaargemiddelden).

4.6 Bodembalans van stikstof

Verrekening van alle posten op de bodembalans resulteren in een schatting van de denitrificatie als restpost volgens: $N \text{ denitrificatie} = N \text{ bodemoverschot} - N \text{ Accumulatie} - N \text{ uitspoeling}$ (Tabel 4.10). Om de denitrificatie te berekenen moeten alle posten betrekking hebben op hetzelfde systeem. Uitspoeling en accumulatie hebben betrekking op het bouwplan inclusief de teelt van aardappel, en het bodemoverschot moet daarom omgerekend worden naar het overschot van in de voedergewassen en de aardappelteelt samen. Gewogen naar het areaal bedraagt dit overschot 87 kg per ha. Voor de accumulatie in de bodem wordt de waarde gebruikt die betrekking heeft op de volledige bouwvoordiepte; dat is de bemonsterde laag 0-25 maal de ploegdiepte van 27 cm gedeeld door 25 cm (Tabel 4.10). De betrouwbaarheidsintervallen zijn in de footnotes onder de tabel toegelicht.

Tabel 4.10 Schatting van de N-stromen naar en van de bodem (laag 0-0.27 m min maaiveld) op het bedrijf Baltus (kg per ha per jaar).

Post	Geschatte waarde	95% Bbi
Aanvoer (netto) ¹	87	77-107 ²
Afvoer		
Uitspoeling	7	3-10 ³
Denitrificatie	61	niet bekend
Accumulatie in de bodem	19	-64-106

¹ Aanvoer (alle bronnen) minus onttrekking met oogst van gewassen, ofwel het overschot op de maaiveldbalans. Onzekerheden hangen samen met de bepaling van fluxen van N-aanvoer per bron en de N-afvoer. Voor mest N is de N aanvoer het product van de hoeveelheden uitgereden mest met N-gehaltes. N-onttrekking wordt eveneens bepaald als het product van geoogst gewas - bepaald door schatting met grashoogtemeters en het wegen en tellen van opraapwagens - en het N-gehalte - bepaald uit kuilmonsters. De netto aanvoer op de maaiveldbalans is de N-aanvoer minus ammoniakemissie bij mestaanwending. Atmosferische depositie en ammoniakemissie worden beide berekend.

² Bron: Oenema, 2013

³ Dit interval is afgeleid van een analyse van grondwateranalyse gebaseerd op 170 boorpunten op De Marke (Hooijboer, Nieuwsbrief LMM, datum onbekend). Uit de analyse bleek dat het 95%

betrouwbaarheidsinterval bij toepassing van het LMM protocol met 16 meetpunten ongeveer gelijk was aan het gemiddelde +/- een derde van het gemiddelde. Deze indicatie van het interval is voor de case Baltus met drains waarschijnlijk een overschatting omdat de spreiding bij het schatten van uitspoelingsverliezen op basis van drainwatermonsters kleiner is dan bij grondwatermonsters. Afspoeling is verondersteld verwaarloosbaar te zijn.

4.7 Visuele bodembeoordeling

Bij de visuele bodembeoordeling op 30 oktober 2017 werden de volgende zaken geconstateerd op 2 percelen gras en 2 percelen met net geoogste mais (stoppel):

1. In tweedejaars gras was het grasbestand samengesteld uit Engels raaigras en rietzwenkgras met een bedekkingsgraad van witte klaver van ongeveer 20%.
2. In de wortels van klaver bevonden zich actieve Rhizobium knolletjes die duiden op actieve stikstof binding.
3. De bodem was tot op een diepte van 25 cm -mv vrij rul en korrelig en redelijk goed doorworteld. Op een diepte van 20 cm -mv was de worteldichtheid 10-20 per 10 cm² (de diepte in het bodemprofiel waar een worteldichtheid lager wordt dan 10 wortels per 10 cm² wordt gezien als de ondergrens van de bewortelbare zone). Er waren enkele bio poriën waarneembaar.
4. Het profiel beneden 30 cm -mv vertoonde weinig bio poriën en breukvlakken waren scherphoekig; de bodem was op deze diepte verdicht en er werden onverteerde resten van maïs aangetroffen.
5. Vooral in de maïs kleurde de bodem afwisselend grijs en bruin, hetgeen duidt op tijdelijke (an)aerobie.
6. Op 30 cm -mv werden schelpenresten gevonden, wat verklaard wordt door de mariene herkomst van de zavel. Deze gronden staan te boek als kalkrijk (paragraaf 3.2).
7. Er werden geen storende lagen gevonden die op- en neerwaarts transport van water zouden kunnen belemmeren.
8. Bij een grondwaterstand van iets dieper dan een 1 meter min maaiveld zou, gegeven het bodemprofiel, het grondwater door capillaire opstijging nog juist tot aan de wortelzone kunnen rijken.





Figuur 4.6 Enkele beelden van de visuele beoordeling; l.b.: indruk van de zodedichtheid, m.b. wortels van klaver met Rhizobiumknolletjes, r.b.: beeld van profiel in grasland tot 30 cm , l.o.: scherphoekig breukvlak van een kluut uit de laag dieper dan 25 cm, m.o. en r.o: beelden van profiel in maïsland tot 30 cm.

5 Discussie

5.1 Constateringen

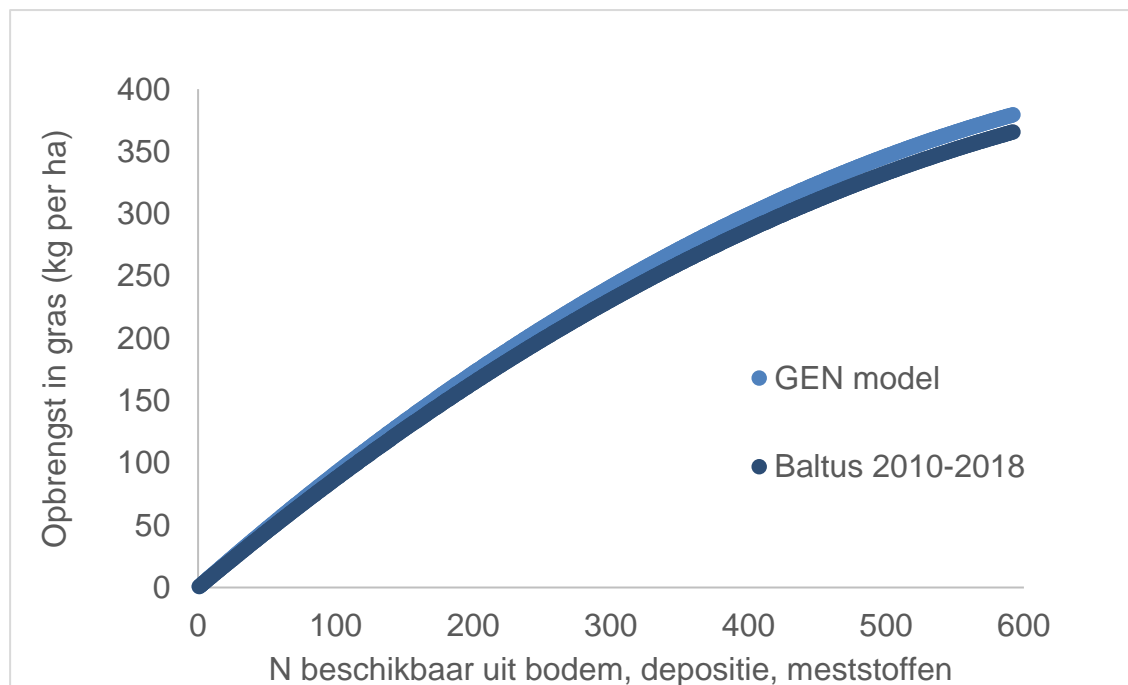
De in hoofdstuk 4 weergegeven resultaten leveren de volgende inzichten en constatering op.

Het N-gehalte in gras

Het N-gehalte (en daarmee ook het RE-gehalte) in gras is duidelijk lager dan algemeen in de Nederlandse melkveehouderij wordt aangetroffen. Op veel melkveebedrijven wordt maïs als energierijk en eiwitarm product (dus met een hoog VEM-gehalte en een laag RE-gehalte) gebruikt als aanvulling op gras waarvan de VEM/RE ratio normaliter laag is. Op bedrijf Baltus is, door het lage R-gehalte in gras, naast gras nog behoefte aan aanvulling met extra eiwit.

De N-opbrengst van gras

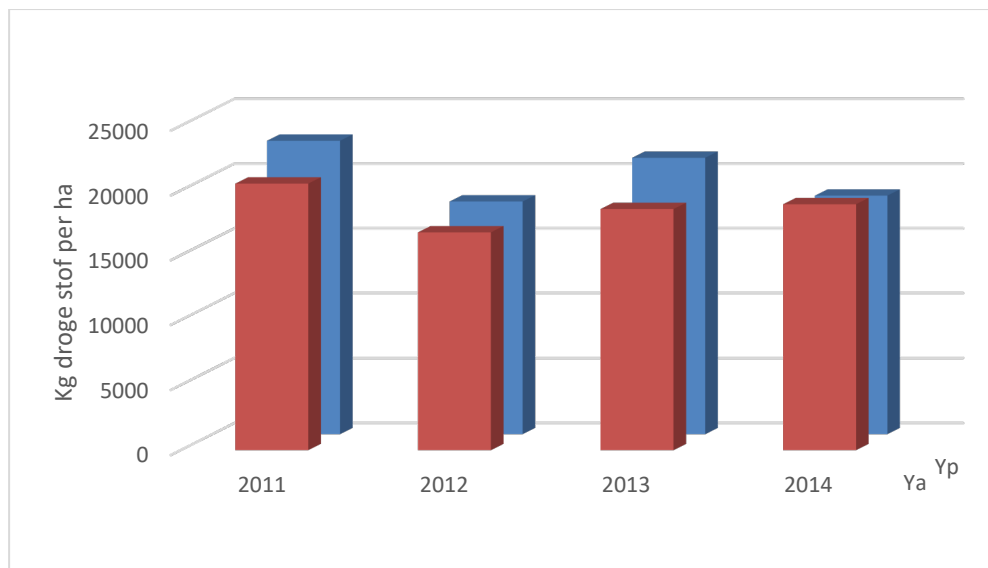
De N-opbrengst van gras is hoog vergeleken met Koeien & Kansen en met gangbare bedrijven op kleigrond (Tabel 4.1). Over de benchmarks Koeien & Kansen en 'gangbare bedrijven op kleigrond' valt echter op te merken dat de vergelijkbaarheid met de omstandigheden bij Baltus beperkt is. Ten eerste omvat de categorie gangbare bedrijven op kleigrond in het LEI-BIN netwerk niet alleen bedrijven op zeeklei/zavel, wat bij Baltus voorkomt, maar ook bedrijven op rivierklei met een lagere opbrengstverwachting dan zeeklei/zavel. Ten tweede is zowel bij Koeien & Kansen-bedrijven als bij de bedrijven in het LEI-BIN bestand in het algemeen sprake van lagere niveaus van N-bemesting. De relatief hoge N-opbrengsten bij Baltus impliceren dan ook niet direct dat de verhouding tussen de N-opbrengst van gras en de hoeveelheid beschikbare N uitzonderlijk hoog is. Dit blijkt ook uit Figuur 5.1. Figuur 5.1 geeft de N-respons van gras weer voor het bedrijf Baltus en die volgens de 'generieke respons' die gebaseerd is op zeer veel veldproefgegevens (Schröder et al, 2004)⁵. De N-opbrengst per kg beschikbare N is op het bedrijf Baltus gemiddeld over de gehele onderzoeksperiode zelfs iets lager dan de generieke responscurve (individuele jaren niet getoond voor Baltus in Figuur 5,1). Dit kan overigens deels verklaard worden doordat de N-levering uit de bodem die is ingerekend in de x-as van de responscurve is overschat. Deze wordt namelijk geschat op basis van de verwachte restwerking van N uit mest en gewasresten die in voorgaande jaren naar de bodem zijn aangevoerd. In deze berekening wordt geen rekening gehouden met een tussenliggend akkerbouwjaar dat telkens een deel van de N-restwerking gebruikt.



Figuur 5.1 De N-respons in gras op het bedrijf Baltus over 2010-2018 en de generieke N-respons volgens Schröder et al, (2009).

⁵ De generieke responscurve is een curve van de N respons van gras die gebaseerd is op een groot aantal resultaten van bemestingsproeven. De curve is een onderdeel van het WOG/WOD model en maakt het mogelijk om N aanvoer, N opname en N overschot aan elkaar te relateren. Dit model is gebruikt bij de onderbouwing van de derogatie van de Nitraatrichtlijn en voor de afleiding van de generieke gebruiksnormen (Schröder et al., 2009).

De opbrengst van droge stof is vergeleken met de in Nederland gangbare praktijk zeer hoog, niet alleen absoluut, maar ook vergeleken met andere bedrijven op klei. De opbrengst over 2011 tot en met 2014 was gemiddeld slechts 7% lager dan de potentieel haalbare opbrengst (dat is de opbrengst die bij de heersende klimaatomstandigheden haalbaar is als er verder geen groeibeperkende factoren zijn, berekend met een grasgroeimodel, Holshof en Van der Pol, 2014), zie ook Figuur 5.2. Gemiddeld over alle Koeien & Kansen-bedrijven is dit verschil 24%.



Figuur 5.2 De opbrengst van gras in verschillende jaren op het bedrijf Baltus (Ya) vergeleken met de potentiële opbrengst, Yp (bron: Verloop, niet gepubliceerde gegevens).

Het NLV

Het NLV van de bodem in gras is laag en wordt overschat door de reguliere NLV bepaling via chemische bodemanalyse. Het is nog niet duidelijk of het NLV toeneemt, dit zou kunnen gebeuren als reactie op de toegenomen inzet van N in dierlijke mest. Het is immers bekend dat deze organische N-bron niet volledig tot werking komt maar deels in het jaar na toediening als zogenoemde residuele N (Schröder en Van Keulen, 1997); bij een toename van het gebruik van dierlijke mest N is dan ook tot een toename van de N-werking te verwachten. De resultaten in Figuur 4.4 tenderen licht naar een toename van het NLV, maar voortzetting van metingen zullen nodig zijn om dit te kunnen vaststellen. Het is zeer wel denkbaar dat de toename van het NLV door een hogere inzet van dierlijke mest wel optreedt, maar dat de totale N-voorraad in de bodem niet meetbaar stijgt. Dit hangt mede samen met de haalbare nauwkeurigheid bij het waarnemen van trends in het totaal N-gehalte in de bodem.

De N-voorraad in de bodem

De trendanalyse geeft aan dat de N-voorraad in de bodem niet significant is toegenomen en het geschatte gemiddeld is een praktisch nauwelijks relevante hoeveelheid van 10,3 kg N per ha. Deze constatering is overigens geen bewijs dat de N-voorraad niet is toegenomen, maar geeft aan dat een toename niet met een voldoende betrouwbaarheid kan worden aangetoond. Ook als men het wetenschappelijk gangbare betrouwbaarheids criterium -95% kans op het doen van een terechte uitspraak- los zou laten en genoeg zou nemen met een lagere betrouwbaarheid, bijvoorbeeld 80%, luidt de conclusie dat de bodemanalyses geen serieuze aanwijzing geven van een toegenomen N-voorraad in de bodem.

Het teeltplan, het N-overschot en nitraatuitspoeling

Het N-overschot op de bodembalans is duidelijk hoger in de teelt van voedergewassen, gras en maïs, dan in de pootaardappelteelt, respectievelijk 144 en -28 kg per ha per jaar over 2010-2018. Dit komt door de veel hogere N-aanvoer bij de teelt van voedergewassen dan bij pootaardappel, respectievelijk 487 en 98 kg per ha over 2010-2018. Dit verschil in aanvoer wordt niet volledig gecompenseerd door de hogere N-onttrekking in de teelt van voedergewassen in vergelijking met die van pootaardappelteelt, respectievelijk 393 en 126 kg per ha per jaar.

De nitraatuitspoeling is duidelijk hoger in de akkerbouwmatige teelten. De nitraatuitspoeling in maïs en aardappel zijn onderling gelijk. De relatief hogere nitraatuitspoeling in de akkerbouwmatige teelten zullen veroorzaakt zijn door het vrijkomen van grote hoeveelheden stikstof die in de bodem worden na geleverd uit gras. Kennelijk heeft het systeem van directzaai, waarbij maïs in stroken gras wordt gezaaid en waarin niet de hele graszode wordt geploegd, niet zo'n duidelijk verlagend effect dat de nitraatuitspoeling maïs het lage

uitspoelingsniveau in gras benadert. Dit wil overigens niet zeggen dat directzaai de nitraatuitspoeling niet beperkt. Om dat vast te kunnen stellen is een veldproef nodig met een rechtstreekse vergelijking van directzaai maïs met de gangbare teeltwijze van maïs nodig.

Fosfaatbalans, - opbrengst en het P-gehalte

De fosfaatopbrengst is relatief hoog, maar het P-gehalte in gras is laag vergeleken met Koeien & Kansen en met andere bedrijven op kleigrond. De P-opbrengst vertoont een relatie met het niveau van werkzame stikstof. Dat betekent dat in een BEN-strategie, waarin extra kunstmest N wordt gegeven, maar geen ruimte is voor aanvoer van extra fosfaat met dierlijke mest, de fosfaatopbrengst veel hoger zal worden dan de P_2O_5 aanvoer, wat resulteert in een sterke P-uitmijning. De BES maakt wel extra aanvoer van fosfaat met dierlijke mest mogelijk en doet het fosfaatoverschot toenemen zodat het minder negatief wordt, maar evenwichtsbemesting wordt nog niet benaderd.

Visuele bodembeoordeling

De visuele bodembeoordeling wijst uit dat doorworteling over de diepte van de bouwvoor niet beperkt is door verdichte lagen, maar dieper dan 0.25 m min maaiveld doen zich wel verdichtingsverschijnselen voor. De doorworteling is tot op ongeveer deze diepte nog van betekenis maar daaronder heel beperkt. Bij aangetroffen grondwaterstand (ca 1,2 m min maaiveld), het bodemtype en de bewortelingsdiepte is nog aanvoer van water door capillaire werking van de bodem mogelijk, waardoor de gewasgroei niet alleen afhankelijk is van neerslag.

De afwisseling van grijze en bruine vlekken wijzen op afwisselend zuurstofrijke en zuurstofarme omstandigheden in de bodem. Als dit soort overgangsgebieden op geringe diepte voor, dan kan dat tot hoge denitrificatie leiden.

5.2 Stikstof een limiterende factor op het bedrijf Baltus?

De combinatie van een normale tot hoge N-opname, een zeer hoge droge stofopbrengst en een laag stikstofgehalte in gras wijzen op verdunning van stikstof over veel droge stof. Dezelfde redenatie gaat overigens op voor fosfaat. Bij een N-gehalte in gras lager dan 25 g per kg droge stof is remming van de bladontwikkeling door N-gebrek waarschijnlijk en op het bedrijf Baltus wordt regelmatig een nog lager stikstofgehalte aangetroffen. Figuur 4.1A, B en C suggereren een groeibevorderend effect van stikstof tot op een hoog niveau van N werkzaam én bij een hoge droge stofopbrengst. Dus enerzijds is stikstof niet zodanig limiterend voor groei dat de droge stofopbrengst laag is, maar is stikstof wel zodanig relatief limiterend ten opzichte van andere factoren dat bij hoge stikstofvoorziening en droge stofopbrengst nog een duidelijke N-respons in gras te zien is.

Er worden vier snedes gemaaid waarvan de eerste twee veelal 5 ton droge stof per ha opbrengen, terwijl een snede opbrengst van 3 ton droge stof meer gangbaar is. Baltus kiest om verschillende redenen voor deze hoge snedezwaarte. Ten eerste bevat een lichtere snede (die dus ook jonger is) minder structuur, hetgeen Baltus afleidt van een lage ADL-waarde (lager dan 23, mondelinge mededeling Baltus). Ten tweede stelt dit maairegiem Baltus in staat om zijn graskuilen op te bouwen uit vier snedes die laagsgewijs, als lasagnekuil, kunnen worden aangelegd. Het tekort aan structuur bij lichtere snedes wijst op laat afrijpen van het gras. Een andere aanwijzing daarvoor is het gegeven dat het VEM-gehalte onlangs de zware snedes hoog blijven bij de zware snedes en bij de lage maaifrequentie. Veel veehouders zijn huiverig voor het uitstellen van de maaidatum vanwege de verwachting van afnemende VEM-waarden in gras. Diverse maaiproeven tonen dit ook aan (Oenema, 2019, ongepubliceerde gegevens; Hoving en Holshof, 2017, ongepubliceerde gegevens).

Er zijn, kortom, aanwijzingen dat het gras lang in het vegetatieve stadium blijft. Hiervoor zijn verschillende mogelijke oorzaken. Ten eerste kan het intensieve vruchtwisselschema waarbij gras na slechts twee jaar weer wordt ondergeploegd een oorzaak zijn van beperkte structuurvorming (mondelinge mededeling Ensink, mondelinge mededeling Van Eekeren). Daartegen pleit dat een graslandfase van drie jaar op tal van bedrijven voorkomt. Op deze bedrijven zou op zijn minst een deel van de verschijnselen die zich bij Baltus voordoen, ook aangetroffen moeten worden, nl. in de eerste twee graslandjaren van de drie jaar durende graslandfase. Ten tweede kunnen de groeiomstandigheden zo gunstig zijn voor grasgroei dat de afrijpingsfase wordt uitgesteld en de vegetatieve fase langer duurt dan onder minder gunstige groeiomstandigheden. Gunstig voor grasgroei is in elk geval dat het bedrijf geografisch tussen de Noordzee en het IJsselmeer ligt waardoor de winter en het vroeg voorjaar minder koud is dan gemiddeld in Nederland en de temperatuur in het groeiseizoen vaak tussen de 15 en 20 graden Celsius bedraagt wat optimaal is voor grasland. Ook zijn er minder langdurige droogteperiodes dan in Oost Nederland. Zo was de opbrengstderving bij Baltus in het uitzonderlijk droge jaar 2018 beduidend lager dan op andere

Koeien & Kansen-bedrijven elders in Nederland (De Haan *et al.*, 2019). Een derde mogelijkheid is dat een relatief langdurig vegetatief stadium een kenmerk is van de gekozen grasrassen. Dat hierin zelfs binnen grasrassen verschillen bestaan wordt volgens Salama *et al.* (2017) veelal onvoldoende onderkend bij veredeling.

Er treedt dus een N-respons -en dus N-limitatie- op tot op een hoog niveau van droge stofopbrengst en N-opbrengst. Dat deze N-limitatie bij de hoge N-bemesting nog optreedt kan verklaard worden door: *i)* gunstige groeiomstandigheden die de plant lang in het vegetatieve stadium houden; en *ii)* doordat een hoge N-bemesting niet zonder enig voorbehoud betekent dat de N-voorziening hoog is. De N-voorziening is namelijk lager dan op grond van algemene vuistregels wordt verwacht door een laag uitvallende NLV. De lage NLV kan verklaard worden doordat een deel van de N-restwerking uit gewas en mest wordt gebruikt in de aardappelteelt en, zei het in mindere mate, in de maïsteelt.

5.3 Het lot van het stikstofoverschot

Het stikstofoverschot wordt verdeeld over verschillende routes. De verdeling kan niet nauwkeurig gekwantificeerd worden omdat bij elk van de geschatte posten rekening gehouden moet worden met een betrouwbaarheidsinterval rond het geschatte gemiddelde en met name het betrouwbaarheidsinterval van de post ophoping in de bodem is groot (zie Tabel 4.10). Daarbij moet worden opgemerkt dat de bulkdichtheid van de bodem die in de berekeningen geschat werd op de vaste waarde van 1,3 kg per liter ook kan variëren en dat die variatie nog niet in het interval van Tabel 4.10 is meegenomen. Doordat de denitrificatie is afgeleid van de overige posten, werken de onzekerheden met betrekking tot de onderliggende posten door in de schatting van denitrificatie. Een alternatieve mogelijkheid is om ook de denitrificatie zelf te bepalen en voor deze post evenals voor de andere posten de betrouwbaarheid te schatten. Vervolgens kan dit getal gebruikt worden bij de berekening van de meest waarschijnlijke verdeling van N over de verschillende posten. Het programma STAN (Cencic, 2008) biedt de mogelijkheid om dit soort gegevens, elk met verschillende mate van betrouwbaarheid te integreren in een meest waarschijnlijke schatting van het geheel.

5.4 Bedrijfsspecifiek differentiëren N-overschot naar accumulatie in de bodem?

Eén van de vragen in deze studie is of de accumulatie van organische stikstof in de bodem als een 'milieuneutraal' onderdeel van het bodemoverschot beschouwd kan worden. Deze vraag valt uiteen in twee componenten, te weten:

1. Is accumulatie van stikstof in de bodem milieuneutraal?
2. Is accumulatie van stikstof bedrijfsspecifiek met voldoende betrouwbaarheid vast te stellen?

Ad 1

Stikstof komt in de bodem vooral in organisch gebonden vorm voor. Om de gedachten te bepalen is het goed om een voorstelling te hebben van de ordegrootte van de hoeveelheid organisch gebonden N. Stel een bovengrond van 25 cm -mv met een bulkdichtheid van 1,2 kg/L heeft 3% organische stof met een C/N quotiënt van 15 en een C-gehalte van 56%. Dan is de voorraad organisch N $0,25 \cdot 10.000 \cdot 1000 \cdot 1,2 \cdot 0,03 \cdot 0,56 / 15 = 3360 \text{ kg N / ha}$. Organisch gebonden stikstof in de bodem heeft geen directe schadelijke milieueffecten, zolang de stikstof niet vrijkomt. Echter, als de stikstof die is opgebouwd, bijvoorbeeld doordat het landgebruik is overgeschakeld van akkerbouwmatige teelten naar teelt van grasland, op termijn weer vrijkomt, dan is deze stikstof niet te beschouwen als milieuneutraal. Immers, de stikstof die op termijn vrijkomt zal voor een deel uitspoelen of als gasvormige verliezen (N_2O) vrij komen. Accumulatie van stikstof in de bodem kan hierdoor op termijn leiden tot verhoogde N-verliezen, doordat een deel van de afbraak van deze stikstof buiten het groeiseizoen plaatsvindt (ongeveer 20% bij gras en één derde bij bouwland) en niet kan worden benut door het gewas, maar verloren gaat naar de omgeving. Dit probleem wordt versterkt zodra het landgebruik weer verandert naar een vorm waarbij de organisch gebonden stikstof niet langer vastgehouden kan worden – in voornoemd voorbeeld van grasland weer terug naar akkerbouw. Maar ook als het landgebruik grasland wordt voortgezet zal zich een nieuw evenwicht instellen van aanvoer en afbraak van organische stof met daarmee corresponderende snelheden van omzetting van organisch gebonden stikstof naar stikstof die mobiel is. In die zin is accumulatie van stikstof in de bodem vergelijkbaar met accumulatie van fosfaat. Het eindresultaat van fosfaatophoping is fosfaatrijke percelen met een verhoogd risico voor uitspoeling, vooral als de bodem nat is. Het verschil met fosfaatophoping is dat accumulatie van stikstof altijd gepaard gaat met accumulatie van organische stof in de bodem. Bij fosfaat is dat in minder mate het geval, omdat het vooral chemisch wordt vastgelegd. Organische stof in de bodem verlaagt het actuele risico op nitraatuitspoeling doordat organische stof in de bodem bijdraagt aan het vermogen van de bodem water en nutriënten te binden en aan het vermogen van het gewas om nutriënten

en water te benutten. Dat is één van de redenen waarom wordt aanbevolen om compost aan te brengen op landbouwgronden als 'bodemverbeteraar'. Het is waarschijnlijk dat toepassing van organisch materiaal met een hoge C/N verhouding het actuele risico van nitraatuitspoeling verlaagt, omdat minerale stikstof wordt vastgelegd bij afbraak van dit materiaal. Maar ook hier geldt weer dat ook rekening gehouden moet worden met het feit dat zich op termijn een nieuw evenwicht instelt tussen vergrote aan- en afvoer van organisch N, die deels buiten het groeiseizoen valt. Of er sprake is van toename van het risico op N-verliezen hangt af van de duur, omvang en C/N verhouding van de aanvoer. Korter, minder en een hogere verhouding betekent een lager risico.

Ad 2

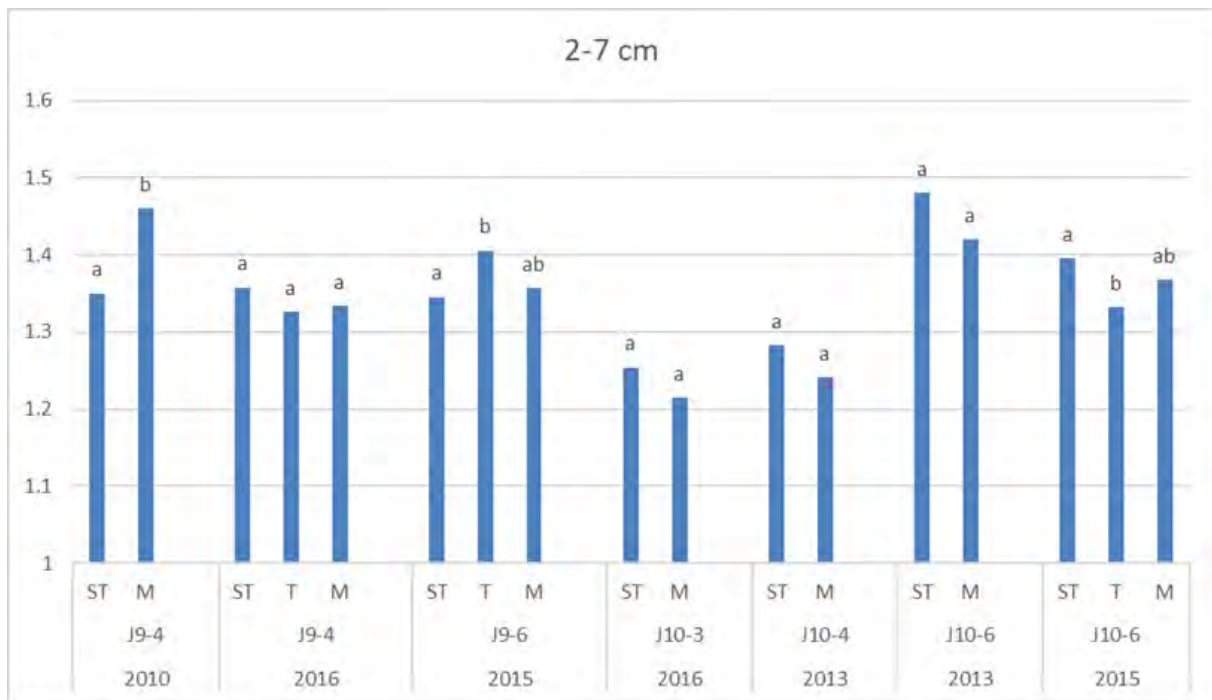
Het grote betrouwbaarheidsinterval rond de accumulatie van stikstof geeft aan dat de accumulatie met de in deze analyse toegepaste aanpak niet met redelijke zekerheid is vast te stellen. Daarbij moet opgemerkt worden dat de vereiste betrouwbaarheid afhankelijk is van de toepassing. Te verwachten is dat aan een schatting die bedoeld is om de bemestingsruimte (bedrijfsspecifiek) te bepalen een veel hogere betrouwbaarheidseis wordt gesteld dan aan een schatting die bedoeld is voor ondersteuning van het management. In de case Baltus komt daarbij dat de trendanalyse op basis van de bodemchemische analyse naar organische stikstof resulteert in een even grote kans op toename en afname van de hoeveelheid stikstof in de bodem.

Benadrukt moet worden dat de geldigheid van deze conclusie verbonden is met de gebruikte indicatoren en gegevens. Mogelijk geven andere indicatoren of een andere aanpak bij bodembemonstering betere resultaten. We hebben hier echter bewust gekozen voor gebruik van gegevens waarvan verwacht mag worden dat ze algemeen op melkveebedrijven beschikbaar zijn of beschikbaar gemaakt kunnen worden. Immers, de analyse is bedoeld om de vraag naar de mogelijkheden van differentiëren van het N-overschot te beantwoorden en daarbij gaat het niet alleen om het bedrijf Baltus, maar ook om eventuele verbreding naar andere bedrijven. Daarbij kan niet uitgegaan worden van gegevens die op normale melkveebedrijven in het geheel niet beschikbaar gemaakt kunnen worden. Niettemin is het zinvol om na te denken over benaderingen die een nauwkeuriger schatting mogelijk zouden kunnen maken van de opbouw van stikstof in de bodem.

5.5 Aanvullende indicatoren en verbeteren van monitoring

Ontwikkeling van OS en N-voorraden en de bulkdichtheid van de bodem

Een belangrijk knelpunt bij het volgen van trends in de opbouw en afbraak van organisch stofgehalte is de variabiliteit van de bulkdichtheid van de bovengrond waarin het organische stofgehalte wordt gemeten. De hoeveelheid organische stof (kg/ha in de bemonsterde diepte, hier 10 cm voor grasland en 25 cm voor bouwland) wordt immers bepaald door het gehalte (mg/kg of gewichtspercentage), zoals gemeten in het laboratorium in de droge grond, te vermenigvuldigen met de hoeveelheid droge grond (kg) in de bemonsterde diepte. Deze hoeveelheid wordt berekend als het volume grond (voor grasland $0,10 \cdot 10.000 = 1000 \text{ m}^3/\text{ha}$ bouwland $0,25 \cdot 10.000 = 2500 \text{ m}^3/\text{ha}$) maal de bulkdichtheid (kg/m^3). Een afwijking in de bulkdichtheid werkt dus recht evenredig door in de bepaalde hoeveelheid organische stof op een ha. De droge bulkdichtheid is niet alleen afhankelijk van stabiele bodemeigenschappen zoals textuur en langzaam veranderende eigenschappen zoals het organische stofgehalte, maar ook van de grondbewerking (zie Figuur 5.3). Kort na de grondbewerking is de bulkdichtheid het laagst en vlak voor de volgende het hoogst (de grond is bezakt). In dit onderzoek hebben we getracht deze variabiliteit zo veel mogelijk uit te sluiten door de grondbemonstering op het zelfde tijdstip binnen de opeenvolging van vruchtwisseling en grondbewerkingen uit te voeren, nl. in het najaar na de oogst van het bouwlandgewas (mais of aardappelen) en vóór de hoofdgrondbewerking. In het geval van grasland is rond dezelfde tijd bemonsterd, maar daar volgde dan niet altijd een hoofdgrondbewerking op (scheuren). Desondanks maakt het natuurlijk uit of tijdens de bemonstering sprake was van bouwland of grasland, en of er voorafgaand mais of aardappelen was geoogst, aangezien de aardappelen op ruggen worden geteeld en de oogst als een vorm van grondbewerking kan worden beschouwd, terwijl de maïsoogst, afgezien van insporing, geen verstoring van de bovengrond mee brengt. Om deze onzekerheid uit te sluiten was het nodig geweest ook de bulkdichtheid te meten aan de grondmonsters, maar dat zou een veelvoud van de inspanning en kosten mee hebben gebracht omdat het meten van bulkdichtheid geen sinecure is. Als we ervan uitgaan dat de ordegrootte van de verschillen in bulkdichtheid tussen verschillende methoden vergelijkbaar is met die tussen tijdstippen en gewas-oogst, dan is de consequentie hiervan dat trends in OS pas aantoonbaar zijn indien de verandering in OS over de reeks van ongeveer 10 jaren minimaal 10 % bedraagt.



Figuur 5.3 Effect van verschillende grondbewerking op de dichtheid van een zavelgrond (15-20% lutum) op 2-7 cm -mv en gemeten net voor de gewassluiting (juni) in een vruchtwisseling met diverse akkerbouwgewassen en grasland. a En b geven de statistische (in)significantie van de verschillen. Bron: Derk van Balen, WUR-Open Teelten Lelystad.

ST: ploegen 25 cm in november.

T: niet kerende grondbewerking met een paragruber diepwoeler, na de oogst, max 20 cm -mv.

M: niet kerende grondbewerking, niet bewerkt na de oogst.

J9-4 en J9-6: gangbare percelen met Poot aardappel-suikerbiet-zomergerst-zaai ui

J10-3, J10-4 en J10-6: biologische percelen met grasklaver-kool(of pompoen)-zomertarwe-peen-veldboon/zomertarwe.

Alternatieve indicatoren voor ophoping van OS en N in de bodem

Organische stof in de bodem bestaat uit jonge en oudere fracties (Janssen, 1984). Het effect van vruchtwisseling en aan- en afvoer van organisch materiaal komt vooraleerst tot uitdrukking in de jonge fracties en pas na langere tijd (orde tientallen jaren) in de oudere fracties. Er bestaat echter nog geen algemeen geaccepteerde methode om de jonge en oude fracties te onderscheiden waardoor meestal (en in deze verkenning ook) wordt teruggevallen op het bepalen van de totale hoeveelheid organische stof. Om dit toe te lichten even een rekenvoorbeeld. Stel de bodem bevat totaal 2% organische stof waarvan 0,3% organische stof jonger dan 20 jaar. Als de aan- en afvoerbalans door een veranderde vruchtwisseling of gebruik van organische meststoffen +33% verandert, dan zal na 20 jaar de hoeveelheid jonge OS in 20 jaar veranderen naar ongeveer 0,4 % en het totaal aan OS naar 2,1%, dat is 5% meer dan het oorspronkelijke totaal van 2%. De bepaling van de totale OS is daarom minder geschikt om trends te detecteren.

Bovendien is het jonge deel van de OS het meest actieve deel van de OS, die een belangrijke rol speelt bij stikstofmineralisatie en -vastlegging. Daarom is er voor dit type studies sterke behoefte aan en alternatief voor de totaal OS bepaling. Er is daarvoor een aantal kandidaten (MacDonald, *et al.*, 2014), zoals de bepaling van de potentiële stikstofmineralisatie tijdens een 7 daagse anaerobe incubatie, de Illinois Soil N-test (ISNT) en Hot Water Carbon extractie. Aanbevolen wordt om de grondmonsters die in deze studie genomen zijn ook aan één of meerdere van deze bepalingmethoden te onderwerpen om na te gaan of er wel veranderingen zijn opgetreden in de hoeveelheid makkelijk afbreekbare organische (stik)stof. Daarvoor zou moeten worden gezocht naar percelen waar een verschil hierin mag worden verwacht op grond van de stikstofbalans. De hypothese zou dan zijn dat er meer makkelijk afbreekbare organische (stik)stof wordt gemeten waar een hoger stikstofoverschot is vastgesteld.

Theoretisch is er nog een andere aanpak om het probleem van onderscheid in organische stof fracties te omzeilen, nl. door gebruik van de N^{15} -isotoop in een proef, waarbij kunstmatig met N^{15} verrijkt N (in kunstmest of mest) wordt toegevoegd en gevolgd richting bodem en plant. Het voordeel is dat je dan goed kunt zien waar die N^{15} naar toe gaat. Het nadeel is dat je niet kunt meten of de nieuwe N (aangerijkt met N^{15}) in de microbiële biomassa of organische stof wordt uitgewisseld tegen oude niet aangerijkte N. Hierdoor kan het lijken alsof je organisch N opbouwt, terwijl dat netto niet zo hoeft te zijn.

Denitrificatie meten

Het voert te ver om hier uitvoerig in te gaan op het meten van de denitrificatie. Het is bekend dat het schatten van de jaarlijkse denitrificatie hoeveelheid in het veld gepaard gaat met veel onzekerheden (o.a. Corré, 1996). Maar dat geldt zoals hiervoor herhaaldelijk duidelijk werd ook voor N-accumulatie in de bodem. Daarom zou meting van denitrificatie kunnen bijdragen aan een betrouwbaarder schatting van de verdeling van stikstof in de bodem over verschillende routes.

5.6 Opties voor systeemontwikkeling

De essentie van het probleem van lage eiwitgehalten in het geoogste gras is dat groeifactoren zoals vochtvoorziening en klimaat enerzijds, en de voorziening van stikstof anderzijds, uit verhouding zijn; de genoemde groeifactoren maken zeer hoge opbrengsten van gras mogelijk en de opname van N schiet hierbij tekort. Het tamelijk hoge N-bemestingsniveau wordt deels gecompenseerd door een zeer lage NLV, vermoedelijk als gevolg van de bouwlandvoorgeschiedenis van het grasland (ook al hebben we dat niet aan kunnen tonen). Mogelijkheden om dit op te lossen zijn:

- **Verhogen van de N-beschikbaarheid door bedrijfsspecifieke N-bemesting**

Verhogen van de N-beschikbaarheid zal moeten gebeuren binnen de wettelijke kaders of binnen de kaders die zich zouden kunnen ontwikkelen in regelgeving, zoals bedrijfsspecifieke bemesting volgens BES. Op grond van de constatering in paragraaf 5.4 is het nog niet mogelijk om het acceptabel N-bodemoverschot te differentiëren op basis van bedrijfsspecifieke informatie over het lot van stikstof (met name denitrificatie en opbouw van organisch N in de bodem). De beschikbaarheid via bemesting wordt dus beperkt door generieke gebruiksnormen, aangevuld met de BES en is in die zin momenteel een vaststaand gegeven. Bedrijfsspecifieke bemesting kan bijdragen aan een hogere beschikbaarheid van N via meststoffen, mits de benutting daarvan hoog is, zoals op dit bedrijf.

- **Verhogen van de N-beschikbaarheid uit mest**

Gegeven de N-bemestingsruimte is het van belang de N-verliezen vanuit het systeem zoveel mogelijk te beperken. Verliezen vinden plaats via emissie van ammoniak, verliezen door uitspoeling en verliezen door denitrificatie wat leidt tot emissie van N_2O en N_2 . Denitrificatie is mogelijk een grote verliespost. De denitrificatie hangt samen met anaërobe omstandigheden in de bodem. Een natte, verdichte bodem kan de denitrificatie dus doen toenemen. De bodem bij Baltus was tot op bouwvoordiepte echter rul en niet of nauwelijks verdicht, maar in kleigronden treedt vaak lokaal denitrificatie op in aggregaten. Een mogelijke interventie kan zijn het toepassen van meststoffen met een hoger ammoniumaandeel, eventueel in combinatie met nitrificatieremmers in het voorjaar. De denitrificatie van nitraatmeststoffen is namelijk hoger dan die van meststoffen op basis van ammonium (Den Boer *et al.*, 2011). Een andere mogelijkheid is om een groter deel van de stikstof later te geven, op het moment dat het vochtgehalte in de bodem lager is. Nadeel hiervan is dat de N-beschikbaarheid in de eerste snede dan onder druk komt te staan. Dit kan echter worden voorkomen door de 1^e snede in een vroeger stadium te oogsten, waardoor meteen het eiwitgehalte zal toenemen.

- **N-binding met klaver**

Bevorderen van N-binding met klaver heeft een gunstig effect op de N-beschikbaarheid. Bijkomend voordeel is dat van de N die door binding is opgenomen minder verloren gaat dan van meststoffen (Schils, 2002).

- **Een hogere N-levering door inwisselen van kunstmest N voor organische N**

Opvallend is het lage NLV van de bodem. Deze houdt waarschijnlijk deels verband met de akkerbouwmatige teelten die sinds de drooglegging van de Wieringermeer op deze grond werden toegepast vóór de vestiging van het melkveebedrijf met een groot aandeel grasland. Door accumulatie van N in de bodem tijdens grasteelt komt de investering van N in de bodem op termijn (deels) terug in de vorm van een verhoogde NLV. N in dierlijke mest kan hieraan bijdragen. Inwisselen van kunstmest N voor dierlijke mest N is daarom gunstiger voor de opbouw van het NLV. Er is enige aanwijzing dat het NLV toegenomen is sinds Baltus meer organische mest N gebruikt in het kader van de BES (Figuur 4.4). Alleen de N die in een jaar van toepassing niet benut wordt, draagt bij aan de NLV van later. Deels is hier de keuze dus tussen nu direct benutten (kunstmest N en minerale deel van DM) of later via de bodem benutten (organisch N). Per saldo (rekening houdend met 'nu en later') gaat het dus om de werkwijze waarbij de verliezen naar de omgeving het laagst zijn, *die* werkwijze heeft de voorkeur.

- **Hogere N-levering door achterwege laten akkerbouw en herverdeling van mest N -giften**
De opbouw van NLV wordt versterkt door akkerbouwmatige teelten achterwege te laten. Nu staan de aardappelteelt en in mindere mate de strokenteelt van maïs de N-opbouw in de weg. De akkerbouwfase is dus ongunstig voor (behoud en ontwikkeling van) de bodemkwaliteit en NLV. Daarbij komt dat in de bouwlandfase na onderploegen van de graszode meer stikstof beschikbaar komt uit de bodem dan waarmee rekening wordt gehouden bij de bemesting van het bouwlandgewas (deels veroorzaakt door het ontijdig vrijkomen van die stikstof). Het N-bemestingsniveau in pootaardappel na 2 jaar gras (80 kg per ha), lijkt hoog (Het nagewas gras neemt echter nog een aanzienlijke hoeveelheid op).
- **Verhogen van de maaifrequentie**
Als het maaimoment afgestemd wordt op de gewenste N-gehalte zal de door het gras opgenomen N niet zo sterk worden verdund over de droge stof. Er zijn twee manieren waarop deze aanpassing kan werken: door de aangepaste maaifrequentie wordt de jaaropbrengst van droge stof beperkt. Dit is waarschijnlijk omdat de fase van lineaire groeiontwikkeling wordt bekort. De andere mogelijkheid is dat de N-opname bij een hogere maaifrequentie verder toeneemt. Dit is alleen waarschijnlijk als het maaistadium wordt teruggebracht van (ver in het) afrijpingsstadium naar voor het afrijpingsstadium. Als men de maaifrequentie opvoert zonder dat de jaaropbrengst van droge stof afneemt en/of de jaaropbrengst van stikstof toeneemt is er slechts sprake van een herverdeling van N over snedes. Dit kan interessant zijn in situaties waarbij de laatste snede een te hoog N-gehalte heeft en de eerste snede een te laag gehalte. Een te hoog N-gehalte in de laatste snede lijkt bij Baltus niet aan de orde. Aanbeveling is om een proef te doen met een verhoogde maaifrequentie op een beperkt areaal.
- **Grasrassen en duur van de graslandfase**
Een ander aspect van oogsten in een jonger stadium is dat voorkomen moet worden dat het ADL-gehalte in het gras te laag wordt. Dit hangt niet alleen af van de teeltwijze en teeltomstandigheden maar heeft ook een genetische component. Baltus verkent al wat de mogelijkheden zijn van grasrassen die vroeger afrijpen. Het is niet onmogelijk dat een langere graslandfase (hoger stadium bij oogst?) toch invloed heeft op de hoeveelheid structuur in het gras. De verkenningen naar optimale grasrassen en het effect van de duur van de graslandfase zouden wellicht meegenomen kunnen worden in de hierboven genoemde proef met maaifrequenties. De relatie tussen structuur en de ouderdom van gras kan ook eenvoudig onderzocht worden door vers gras analyses te verzamelen op verschillende (klei)bedrijven met gras variërend in ouderdom.

Implementatie

De oplossingsruimte wordt bij Baltus beperkt door de aspecten van de bedrijfsvoering die voor Baltus vast staan. Echter, als we teveel van een vaststaande bedrijfsvoering uitgaan, beperkt dit de mogelijkheden om oplossingen in beeld te krijgen en daarom zijn in het bovenstaande ook opties in beschouwing genomen buiten de huidige bedrijfsstrategie. Baltus wil geen hoger aantal snedes per jaar omdat dit zijn voederwinning minder efficiënt maakt (Baltus, mondeling mededeling). Aanbevolen wordt daarom om opties voor systeemaanpassing eerst op een klein deel van het bedrijf te verkennen. Op basis van de inzichten die dat oplevert, kan vervolgens opnieuw afgewogen worden om de bedrijfsvoering aan te passen.

6 Conclusies

De volgende bevindingen hebben betrekking hebben op het melkveebedrijf Baltus:

- Het lage ruw eiwit (RE) gehalte in gras wordt grotendeels verklaard door sterke verdunning van een normale N-opbrengst van gras over een zeer hoge droge stofopbrengst. De fosfaatopbrengst is relatief hoog, maar ook het P gehalte in gras is laag door verdunning.
- De N-respons van gras op beschikbare N is normaal. Op het praktijk bemestingsniveau van werkzame N (Nwz) in de range van 375 tot 500 kg per ha is een duidelijke respons van gras te zien van vooral de N-opbrengst en in iets mindere mate de droge stofopbrengst en de fosfaatopbrengst. De hoeveelheid N die beschikbaar komt uit mest is hoog maar de hoeveelheid N die beschikbaar komt uit levering door de bodem is laag.
- De N-voorraad in de bodem is niet significant toegenomen met een geschat gemiddelde van 10,3 kg N per ha met een 95%-betrouwbaarheidsinterval van -64 tot 106 kg N per ha per jaar. Dit is ook praktisch niet een relevante hoeveelheid.
- Het N-overschot op de bodembalans is duidelijk hoger in de teelt van de voedergewassen gras en maïs, respectievelijk 144 en -28 kg per ha per jaar over 2010-2018, dan in de pootaardappelteelt (-28 kg N per ha).
- De nitraatuitspoeling is duidelijk hoger in de akkerbouwmatige teelten in vergelijking met gras. De nitraatuitspoeling in maïs en aardappel zijn onderling gelijk. De hoge nitraatuitspoeling in de akkerbouwmatige teelten wordt veroorzaakt door het vrijkomen van stikstof die in de bodem worden na geleverd uit gras.
- BEN bemesting versterkt het negatieve P overschot op de bodembalans, de BES bemesting waarbij meer organische mest wordt ingezet, doet het fosfaatoverschot toenemen (minder negatief), maar evenwichtsbemesting wordt nog niet bereikt.
- De visuele bodembeoordeling wijst uit dat doorworteling over de diepte van de bouwvoor niet beperkt is door verdichte lagen; onder de bouwvoor is wel verdichting waarneembaar.
- Bij de aangetroffen bewortelingsdiepte is, ondanks de verschijnselen van bodemverdichting onder de bouwvoor bij de grondwaterstand die zich voordoet op het bedrijf van ca 1,2 m min maaiveld en het bodemtype zavel nog aanvoer van water door capillaire werking van de bodem goed mogelijk, waardoor de gewasgroei niet alleen afhankelijk is van neerslag en droge perioden goed kunnen worden overbrugd.
- De afwisselend zuurstofrijke en zuurstofarme omstandigheden in de bodem kan tot hoge denitrificatie leiden.
- Het stikstofbodemoverschot, zoals hier gedefinieerd, wordt verdeeld over ophoping in de bodem, verlies door denitrificatie en verlies door af- en uitspoeling. De verdeling over deze posten, vooral de posten denitrificatie en ophoping in de bodem, kan op praktijkbedrijven niet nauwkeurig bedrijfsspecifiek gekwantificeerd worden omdat deze posten onvoldoende nauwkeurig bepaald kunnen worden.
- Het bepalen van de bulkdichtheid in aanvulling op het meten van het organisch N-gehalte, kan de nauwkeurigheid van de meting van N-accumulatie in de bodem vergroten.
- Meten van denitrificatie kan bijdragen aan het inzicht in het lot van het N-overschot en daarmee indirect ook aan de schatting van de N-accumulatie in de bodem.

Over de vragen of de accumulatie van organische stikstof in de bodem als een 'milieuneutraal' onderdeel van het bodemoverschot beschouwd kan worden, kan het volgende geconcludeerd worden:

- Accumulatie van stikstof in de bodem is niet zonder meer milieuneutraal. Hoe deze accumulatie beoordeeld moet worden hangt samen met de risico's van het op termijn vrijkomen van de opgebouwde stikstof. Dit risico hangt samen met het toekomstig landgebruik en met de C/N verhouding van het opgebouwde materiaal. Een hogere C/N verhouding betekent een lager risico.
- De accumulatie van stikstof is (nog) niet bedrijfsspecifiek betrouwbaar vast te stellen.

Mogelijke oplossingen voor het verbeteren van de stikstofvoorziening van het gras zijn:

- Bemesting bedrijfsspecifiek afstemmen op de hoge gewasopbrengst op het bedrijf. Dat wil in dit geval zeggen verhogen.
- Toepassen van meststoffen met een hoger ammoniumaandeel, eventueel in combinatie met nitrificatieremmers in het voorjaar.
- Stimuleren van N-binding met klaver of andere gewassen met dit vermogen
- Stimuleren van NLV door inwisselen van kunstmest N door organische N
- Stimuleren van NLV door achterwege laten bouwland, en/of het verkennen van de mogelijkheden om de graslandfase langer te maken
- Verhogen van de maaifrequentie in gras, i.c. maaien in een lager stadium, in combinatie met
- Inzet van grasrassen die eerder afrijpen voor het handhaven van een structuurvoorziening.

Implementatie

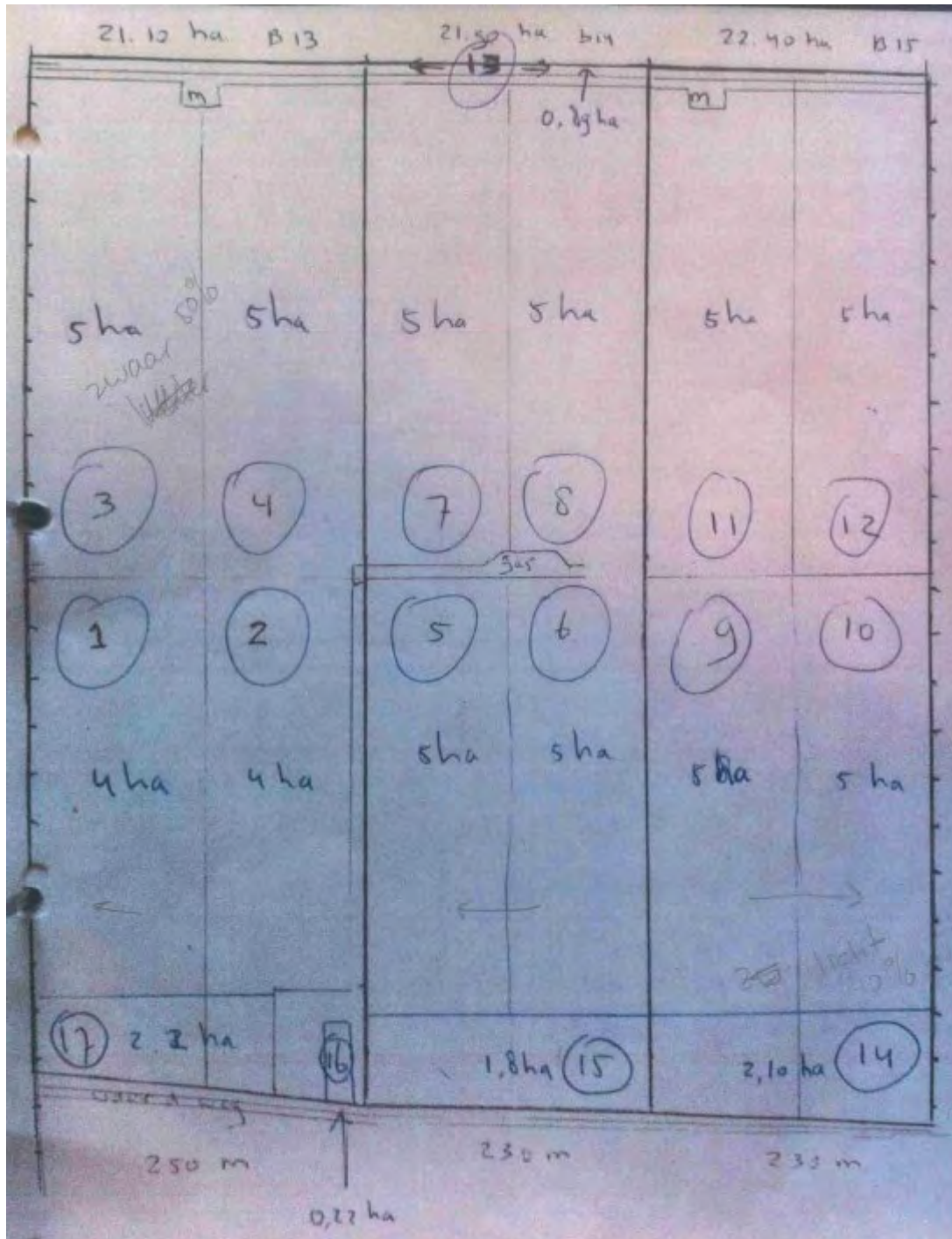
Aanbevolen wordt om verkenningen op een klein deel van het bedrijf uit te voeren. Op basis van de inzichten die dat oplevert, kan vervolgens opnieuw overwogen worden om de bedrijfsvoering aan te passen.

Literatuur

- Aarts, F.H.M., C.H.G. Daatselaar en G. Holshof, 2008. Bemesting, meststoffenbenutting en opbrengst van productiegrasland en snijmaïs op melkveebedrijven. Plant Research International, LEI, ASG, Wageningen UR, Rapport 208.
- Corre, W.J., 1996. Stikstofverlies door denitrificatie in blijvend grasland op De Marke. In: 'Integrale monitoring van stikstofstromen in bodem en gewas; Resultaten van proefbedrijf De Marke. Rapport no. 14, AB-DLO rapport 57, pag 65-75.
- CBGV, 2017. BEMESTINGSADVIES Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen. Livestock Research. <http://www.bemestingsadvies.nl>. Laatste wijziging augustus 2017.
- Cencic, O.; Rechberger, H., Material Flow Analysis with Software STAN. Journal of Environmental Engineering and Management 2008, 18, (1), 5.
- De Haan M.H.A, J. Verloop en G.J. Hilhorst, 2019 Droogte op Koeien & Kansen-bedrijven in 2018; praktijkervaringen. Wageningen Livestock Research, Wageningen Plant Research, rapport nr 84.
- Den Boer, D.J., G. Holshof, D.W. Bussink, J.C. van Middelkoop, 2011. Type en toedieningsvorm van N-kunstmest; Effecten op gewas- en eiwitproductie en -kwaliteit, NMI rapport 1364.N.09.
- EC, 1991 Council Directive of 12 December 1991 Concerning the Protection of Waters Against Pollution Caused by Nitrates from Agricultural Sources (Directive 91/676/EEC).
- EC, 2000 Directive of the European Parliament and of the Council of 23 October establishing a framework for Community action on water policy (Directive 2000/60/EC).
- Eurofins, ongepubliceerde gegevens, persoonlijke communicatie Fabri.
- Fraters, B., T.C. van Leeuwen, A. Hooijboer, M.W. Hoogeveen, L.J.M. Boumans, J.W. Reijs, 2012. De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven : Herberekening van uitspoelfracties, RIVM Bilthoven, rapport nr Rapportnummer: 680716006, 35 pagina's.
- Groenendijk, P., L. Renaud, C. van der Salm, H. Luesink, P.W. Blokland, T. de Koeijer, 2015. Nitraat en N- en P-uitspoeling bij de gebruiksnormen van het 5de NAP; Modelberekeningen met MAMBO en STONE. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2647.
- Holshof, G., en A. Van Den Pol Dasselaar, 2014. Modelling DM growth of multi-species grassland plots in the Netherlands. In: 25th General Meeting on 'EGF at 50: The Future of European Grasslands.- Zurich, Switzerland: European Grassland Federation EGF- p. 725-727.
- Hooijboer A.E.J., F.W.J.M. Weijs, 2013. Waterkwaliteit op Koeien & Kansen-bedrijven; resultaat van 10 jaar bemonstering. RIVM rapport 680717021/2013.
- Hooijboer A.E.J. Nieuwsbrief LMM (datum en aflevering onbekend).
- Hoving, I.E., en G. Holshof, 2017; ongepubliceerde gegevens van een experiment met gras, uitgevoerd op Zegveld.
- Janssen B.H., 1984. A simple method for calculating decomposition and accumulation of 'young' soil organic matter. Plant and Soil, 76, 297. ISSN 0032-079X.
- Oenema, J; 2019; ongepubliceerde gegevens van een experiment met gras, uitgevoerd op De Marke.
- Oenema J, L.B. Šebek, J.J. Schröder, J. Verloop, M.H.A de Haan, G.J. Hilhorst, 2017. Toetsing van de KringloopWijzer; gemeten N voorspelde stikstof- en fosfaatproducties van mest en gewas. WUR, WPR rapport 689. 79 pp.
- Schröder, J.J., Hilhorst, G.J., Oenema, J., Verloop, J. 2018. Bedrijfsspecifieke mest- en kunstmestgiften op melkveebedrijven : onderbouwingen ten behoeve van de 'BES' in 2016-2018, Wageningen: Wageningen Livestock Research (Wageningen Plant Research 802)-29.

- Schröder, J.J., H.F.M. Aarts, M.J.C. de Bode, W. van Dijk, J.C. van Middelkoop, M.H.A. de Haan, R.L.M. Schils, G.L. Velthof & W.J. Willems, 2004. Gebruiksnormen bij verschillende landbouwkundige en milieukundige uitgangspunten. Plant Research International, rapport nr. 79, Wageningen, 60 pp.
- Schröder, J.J., Aarts, H.F.M., Middelkoop, van J.C., Velthof, G.L., Reijks, J.W., Fraters, B., 2009. Nitrates directive requires limited inputs of manure and mineral fertilizer in dairy farming systems. Rapport, Plant Research International, Wageningen UR, urn:nbn:nl:ui:32-3787098.
- Steur G.G.L., en W. Heijink, 1991 Bodemkaart van Nederland, Schaal 1:50000; Algemene begrippen en indelingen. 4e Uitgave, Staring Centrum, Stiboka.
- Oenema J., 2013. Transitions in nutrient management on commercial pilot farms in the Netherlands, Ph.D. Thesis, Wageningen University, Wageningen, 198 pp.
- Schröder, J.J., H. van Keulen, 1997. Modelling the residual N-effect of slurry applied to maize land on dairy farms in The Netherlands. Netherlands Journal of Agricultural Science, 45, 477-494. ISSN 0028-2928.
- Noeleen McDonald, Catherine J. Watson, Stan Lalor, David P. Wall, 2014. Evaluation of Soil Tests for Predicting Nitrogen Mineralization in Temperate Grassland Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 78:1051–1064, DOI: 10.2136/ssaj2013.09.0411.
- Verloop, J., Rapport over de opzet en ontwikkeling van de Ruwvoertol; in voorbereiding;
- Verloop, J., J. Oenema, G.J. Hilhorst en J. Gielen, 2017. BEN: Bedrijfsspecifieke bemesting met kunstmest stikstof; Resultaten 2014 en 2015. Rapport nr. 77, Plant Research International nr. 670, Wageningen UR, 37 pp.
- Schils, R., 2002. White clover utilisation on dairy farms in the Netherlands. Thesis Wageningen UR, 149 p. ISBN 9058087034.
- Salama, Heba., M. Loesche, A. Herman, F. Taube en M. Gierus, 2017. A simplified maturity index to quantify the development of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and its relationship with yield and nutritive value. Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment, Volume 68: Issue 2.

Bijlage I Plattegrond van het bedrijf Baltus



Bijlage II Vruchtopvolging op de percelen van bedrijf Baltus

Verhuur is voor pootaardappelen

Perceel	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1	Snijmais	Verhuur	Gras	Gras	Verhuur	Gras	Snijmais	Verhuur	Gras
2	Gras	Verhuur	Gras	Snijmais	Verhuur	Gras	Gras	Verhuur	Gras
3	Snijmais	Verhuur	Gras	Gras	Verhuur	Gras	Snijmais	Verhuur	Gras
4	Gras	Verhuur	Gras	Snijmais	Verhuur	Gras	Gras	Verhuur	Gras/Snijmais
5	Gras	Gras	Verhuur	Gras	Snijmais	Verhuur	Gras	Snijmais	Verhuur
6	Gras	Gras	Verhuur	Gras	Snijmais	Verhuur	Gras	Snijmais	Verhuur
7	Gras	Snijmais	Verhuur	Gras	Gras	Verhuur	Gras	Gras	Verhuur
8	Gras	Snijmais	Verhuur	Gras	Gras	Verhuur	Gras	Gras	Verhuur
9	Verhuur	Gras	Snijmais	Verhuur	Gras	Snijmais	Verhuur	Gras	Snijmais
10	Verhuur	Gras	Snijmais	Verhuur	Gras	Snijmais	Verhuur	Gras	Snijmais
11	Verhuur	Gras	Gras	Verhuur	Gras	Gras	Verhuur	Gras	Gras
12	Verhuur	Gras	Gras	Verhuur	Gras	Gras	Verhuur	Gras	Gras
13	Gras	Gras	Gras	Gras	Gras	Gras	Gras	Gras	Gras
14	Verhuur	Gras	Snijmais	Verhuur	Gras	Snijmais	Verhuur	Gras	Snijmais
15	Gras	Snijmais	Verhuur	Gras	Snijmais	Verhuur	Gras	Snijmais	Verhuur
16	Gras	Gras	Gras	Gras	Gras	Gras	Gras	Gras	Gras
17	Gras	Verhuur	Gras	Gras	Verhuur	Gras	Gras	Verhuur	Gras

Perceel	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	Gras	Gras/Snijmais	Verhuur	Gras/verhuur	Snijmais	Verhuur	Gras
2	Gras	Snijmais	Verhuur	Gras	Gras/Snijmais	Verhuur	Gras
3	Gras	Gras/Snijmais	Verhuur	Gras	Gras	Verhuur	Gras
4	Gras/Snijmais	Snijmais/erwten	Verhuur	Gras	Gras	Verhuur	Gras
5	Verhuur	Gras	Gras/Snijmais	Verhuur	Gras	Snijmais	Verhuur
6	Verhuur	Gras	Snijmais	Verhuur	Gras	Gras/Snijmais	Verhuur
7	Verhuur	Gras	Gras	Verhuur	Gras	Gras	Verhuur
8	Verhuur	Gras	Gras	Verhuur	Gras	Gras	Verhuur
9	Snijmais	Verhuur	Gras	Gras/Snijmais	Verhuur	Gras	Snijmais
10	Snijmais	Verhuur	Gras	Snijmais	Verhuur	Gras	Gras/Snijmais
11	Gras	Verhuur	Gras	Gras	Verhuur	Gras	Gras
12	Gras	Verhuur	Gras	Gras	Verhuur	Gras	Gras
13	Gras	Gras	Gras	Gras	Gras	Gras	Gras
14	Snijmais	Verhuur	Gras	Snijmais	Verhuur	Gras	Gras/Snijmais
15	Verhuur	Gras	Snijmais	Verhuur	Gras	Gras/Snijmais	Verhuur
16	Gras	Gras	Gras	Gras	Gras	Gras	Gras
17	Gras	Gras	Verhuur	Gras	Snijmais	Verhuur	Gras

Bijlage III Neerslag en temperatuur in de onderzoeksperiode

De gemiddelde Temperatuur op bedrijf Baltus, benaderd op basis van metingen op weerstation Den Helder (Tabel 1) en cumulatieve neerslag per maand, benaderd op basis van waarnemingen op weerstations Anna-Paulowna, De Haukes, Hoogwoud en Kreileroord (Tabel 2).

Tabel 1 Gemiddelde etmaaltemperatuur per maand (°Celcius), volgens weerstation Den Helder.

Maand	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Normaal ¹⁾	4,1	4,0	5,9	8,8	12,5	15,0	17,4	17,7	15,3	11,7	7,7	5,0
Stdev Norm	2,1	2,1	1,5	1,3	1,4	1,0	1,4	1,1	1,2	1,5	1,5	2,1
2010-2018	3,8	3,3	5,7	8,9	12,6	15,2	17,8	17,6	15,5	12,2	7,9	6,0
Stdev	1,9	1,9	1,9	1,6	1,8	1,0	1,2	0,8	1,3	1,2	1,2	2,5

¹⁾ Gemiddelde over de laatste 30 jaar, gerekend tot en met 2018.

Tabel 2 Neerslagsom per maand (mm), gemiddelden van weerstations Anna-Paulowna, De Haukes, Hoogwoud en Kreileroord.

Maand	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2010	57	66	42	20	59	31	66	179	95	68	68	41
2011	50	48	6	12	21	84	180	124	81	90	9	129
2012	88	20	25	58	53	88	108	110	97	171	81	127
2013	51	44	35	22	47	65	39	34	139	118	116	76
2014	92	81	29	51	95	54	50	159	22	87	53	86
2015	107	54	50	19	33	35	95	139	129	37	134	60
2016	97	58	57	58	57	82	63	71	29	86	110	27
2017	63	65	48	28	27	62	72	105	204	75	113	111
2018	101	32	55	107	31	29	8	109	58	42	26	97
2010-2018	78	52	39	42	47	59	76	114	95	86	79	84

Bijlage IV Gebruikte data uit STONE berekeningen

Tabel 3.1: Gemiddelde waterbalans in mm op grasland op het bedrijf van Baltus. Hiervoor zijn STONE-plots 2509 en 2016 gebruikt, gemiddeld over de periode 1981-2010 (Groenendijk et al., 2015) voor de locatie Noord Noord-Holland, grasland, kleigrond met drains op 120 cm-mv. Plot 2509 heeft een belangrijke kwelcomponent. Systemen 1,2,3 zijn sloten van toenemende grootte (sloot-tocht-kanaal bijvoorbeeld).

STONE plot nummer	2509	2016
periode 1981-2010	Gt IV	GtVI
Neerslag	873	873
Bodemverdamping	214	217
Gewastranspiratie	343	329
Kwel	173	55
Afvoer		
Systeem 1	34	39
Systeem 2	28	50
Systeem 3	1	1
Systeem 4 (drains)	307	201
Systeem 5 (maaiveldgreppels)	104	41
surface runoff	17	50
Afvoer door bovenste 20cm van de bodem (als onderdeel van andere fluxen)	14	3

Tabel 3.2 Ontwikkeling van het bedrijfsgemiddelde gemeten nitraatgehalte (mg/L) in drainwater van 2010 -2018 en de daaruit afgeleide N-vracht in kg.ha⁻¹jaar⁻¹ met de draindebieten volgens Groenendijk et al., 2015.

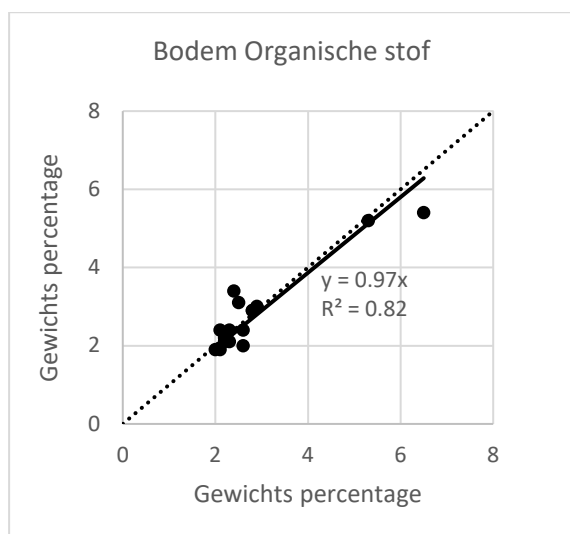
Jaar	Gewogen gemiddelde ⁶	Rekenkundig gemiddelde	Afvoer in mm volgens STONE		Berekende N-afvoer kg/ha		
			plot 2016	plot 2509	plot 2016	plot 2509	Bedrijfs-gemiddeld ⁷
2010	8,7	11,1	208	298	4,1	5,9	5,0
2011	8,9	8,9	214	307	4,3	6,2	5,2
2012	13,7	9,2	313	392	9,7	12,1	10,9
2013	11,0	9,4	188	305	4,7	7,6	6,1
2014	10,1	10,7	208	301	4,7	6,9	5,8
2015	12,2	11,2	245	342	6,7	9,4	8,1
2016	15,0	14,4	189	290	6,4	9,8	8,1
2017	9,8	10,8	275	359	6,1	7,9	7,0
2018	6,3	6,4	n.a	n.a	n.a	n.a	
Gemiddeld	11,1	10,2	ZieTabel II.1		5,8	8,2	7,0

⁶ De concentraties van de afzonderlijke metingen zijn gewogen naar het op dat moment aangetroffen (=momentane) debiet.

⁷ gemiddeld over beide plots omdat die ieder ongeveer de helft van het bedrijfsareaal beslaan (zie figuur 2.2).

Bijlage V Resultaten van de driemaal herhaalde bodembemonstering op het bedrijf Baltus

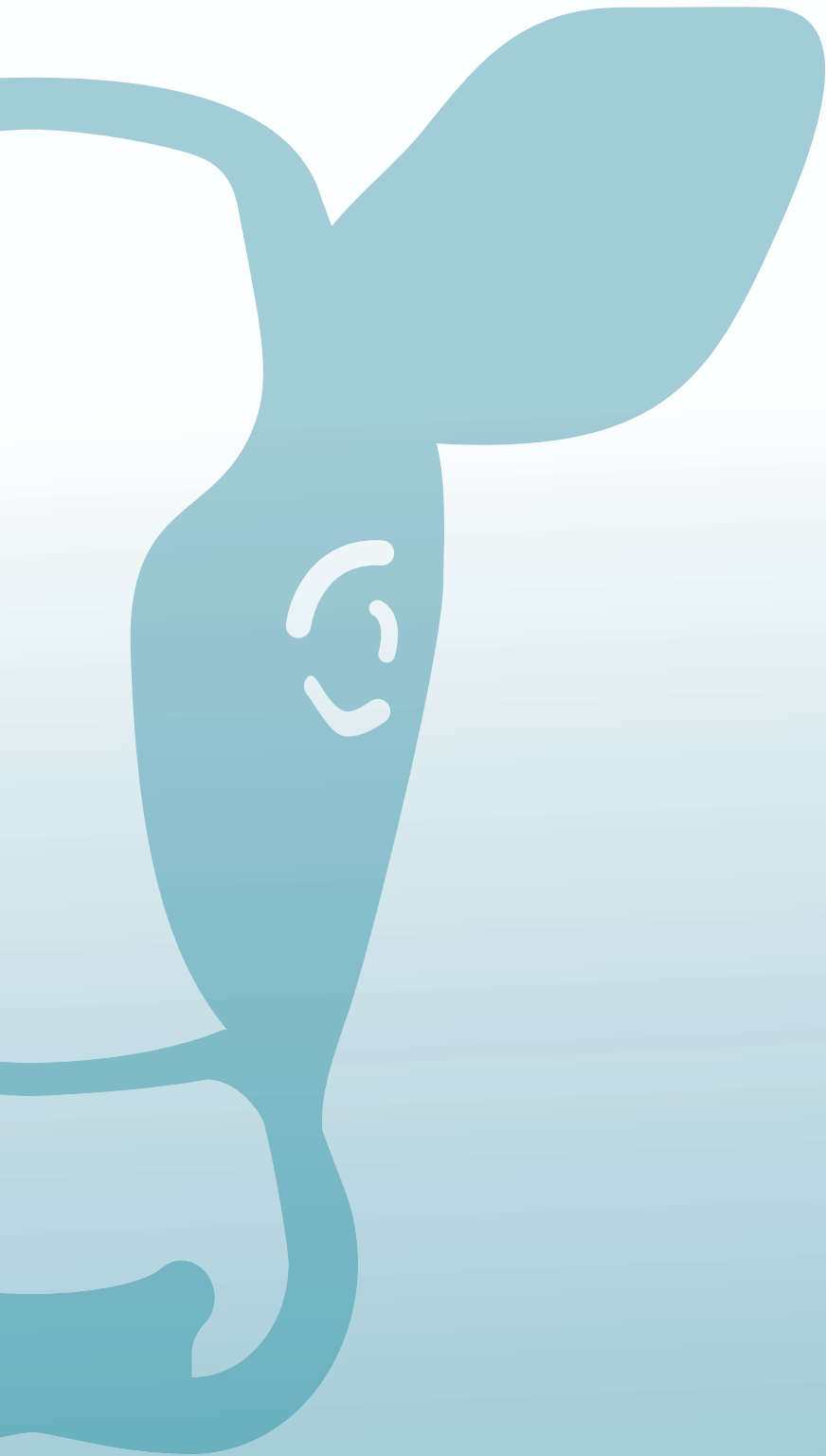
Figuur 1 toont de resultaten van twee meetrondes voor bodem organische stof. De vergelijking in de figuur geeft de relatie weer tussen de twee metingen; tevens afgebeeld de mate waarin meting 1 de variantie van meting 2 verklaart (R^2). Tabel 2 vat de resultaten voor organische stof en stikstof samen.



Figuur 1 Het percentage organische stof in de bodem vastgesteld in twee meetrondes die in elkaar opvolgende dagen zijn uitgevoerd. Elk punt representeert een perceel.

Tabel 1 Statistische kengetallen met betrekking tot de resultaten voor het OS-gehalte en het N-gehalte in de bodem waargenomen in drie meetrondes.

Vergeleken meetronde	OS-percentage		N-gehalte	
	<i>Regressiecoëfficiënt</i>	R^2	<i>Regressiecoëfficiënt</i>	R^2
1:2	0,97	0,82	0,91	0,81
1:3	0,98	0,88	0,99	0,92
2:3	1,00	0,91	0,91	0,80



Secretariaat Koeien & Kansen

Postbus 338
6700 AH Wageningen
T (0317) 48 01 77
E info@koeienenkansen.nl
www.koeienenkansen.nl