



Schatten van grasopbrengst op basis van spectrale reflectie, grashoogte en modellering

Onderzoeksresultaten van een maaiproef op zand- klei en veengrond 2016-2017

I.E. Hoving, J. van Riel, G. Holshof, M. Plomp, S. Agricola, K. van Boheemen en G. Roerink

Rapport 1200



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Schatten van grasopbrengst op basis van spectrale reflectie, grashoogte en modellering

Onderzoekresultaten van een maaiproef op zand- klei en veengrond 2016-2017

I.E. Hoving¹, J. van Riel¹, G. Holshof¹, M. Plomp¹, S. Agricola², K. van Boheemen³ en G. Roerink⁴

1 Wageningen Livestock Research

2 MSc Biosystems engineering Wageningen University & Research

3 Wageningen Plant Research

4 Wageningen Environmental Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research, in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Agrifirm Plant B.V., ZLTO en Kverneland Group Mechatronics B.V. in het kader van het deelproject Sensorgestuurde gras- en snijmaïsteelt van Precisielandbouw 2.0 (Publiek-Private Samenwerking) en het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en ZuivelNL in het kader van Amazing Grazing (Publiek-Private Samenwerking).

Wageningen Livestock Research

Wageningen, november 2019

Rapport 1200

Hoving, I.E., J. van Riel, G. Holshof, M. Plomp, S. Agricola, K. van Boheemen en G. Roerink, 2019. *Schatten van grasopbrengst op basis van spectrale reflectie, grashoogte en modellering; Onderzoeksresultaten van een maaiproef op zand- klei en veengrond 2016-2017*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1200.

Samenvatting NL. Voor melkveehouders is een goede inschatting van de actuele grasopbrengst essentieel voor graslandplanning. Om te zien in hoeverre met remote sensing grasopbrengst en stikstofgehalte gemeten kan worden, zijn in een veldproef spectrale reflectiemetingen vergeleken met de drogestofopbrengst en het stikstofgehalte van gemaaid gras ('ground truth' data). Deze opbrengsten en gehalten zijn tevens gebruikt voor validatie van een modelmatige schatting van de grasopbrengst en het stikstofgehalte of ruw eiwitgehalte. Als praktische referentie is tevens een vergelijk gemaakt met grashoogtemetingen. Reflectiemetingen gaven een ruwe schatting van de drogestofopbrengst. Door onderscheid te maken in locatie en door basale groeidata mee te nemen verbeterde de schatting aanzienlijk. Een modelmatige groeivoorspelling gaf een betere schatting van de drogestofopbrengst en verbeterde nog meer in combinatie met reflectiemetingen of grashoogte. Het stikstofgehalte van gras blijkt vooralsnog nauwelijks te meten met remote sensing en ook lastig te voorspellen.

Summary UK. For dairy farmers a good estimate of the current grass yield is essential for grassland planning. To see to what extent grass yield and nitrogen content can be measured with remote sensing, spectral reflection measurements were compared in a field trial with dry matter yields and nitrogen content of mown grass ('ground truth' data). These yields and contents were also used to validate a model-based estimate of the grass yield and the nitrogen content or crude protein content. A practical comparison has also been made with grass height measurements. Reflection measurements gave a rough estimate of the dry matter yield. By making a distinction between location and by including basic growth data, the estimate improved considerably. A model-based growth prediction gave a better estimate of the dry matter yield and improved even further in combination with reflection measurements or grass height. With the current techniques, nitrogen content of grass appears to be difficult to measure and predict.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/508117> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).

© 2019 Wageningen Livestock Research
Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E info.livestockresearch@wur.nl,
www.wur.nl/livestock-research. Wageningen Livestock Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

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.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.

Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.
Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Inhoud

	Inhoud	3
	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	11
2	Achtergronden	13
	2.1 Reflectiemetingen	13
	2.2 Grashoogte	16
	2.3 Grasgroeimodel	17
3	Opzet onderzoek	20
	3.1 Veldexperiment op klei-, zand en veengrond	20
	3.1.1 Opzet en uitvoering veldproef	20
	3.1.2 Waarnemingen	22
	3.1.3 Uitgangspunten bodemvochtbalans	26
	3.2 Statistische analyse	26
	3.3 Webapplicatie grasgroeivoorspelling	28
4	Resultaten	29
	4.1 Opbrengst en kwaliteit gras ('ground truth')	29
	4.2 Reflectie vs. opbrengst en kwaliteit	30
	4.3 Grashoogte vs. opbrengst	35
	4.4 Groeimodel vs. opbrengst en kwaliteit	36
	4.4.1 Drogestofopbrengst en stikstofgehalte op snedebasis	36
	4.4.2 Benadering bodemvochttoestand	37
	4.4.3 Stikstoflevering bodem	38
	4.4.4 Drogestofopbrengst op jaarbasis	40
	4.5 Combinaties van schatters vs. opbrengst en kwaliteit	41
	4.5.1 Correlaties drogestofopbrengst en diverse schatters	41
	4.5.2 Analyse reflectiemetingen, grashoogte en gemodelleerde grasgroei	42
	4.6 Reflectiemetingen eBee drone	48
	4.6.1 Reflectiemetingen vs. drogestofopbrengst	48
	4.6.2 Correlaties CropScan versus eBee-drone	49
	4.6.3 Validatie en kalibratie	50
	4.6.4 Verhouding reflecties tussen kleurenbanden	51
	4.6.5 Effect correctie voor verschil in meettijdstippen	51
5	Discussie	53
6	Conclusies en aanbevelingen	59
7	Valorisatie	60
8	Vervolg	61
	Literatuur	62
	Bijlage 1 Tijdschema maaien per proeflocatie	65
	Bijlage 2 Proefveldschema per locatie	66

Bijlage 3	Botanische samenstelling	69
Bijlage 4	Bodemvochttoestand	78
Bijlage 5	Stikstofopbrengst onbemest	82
Bijlage 6	Residuele variantie	83
Bijlage 7	Functies drogestofopbrengst CropScan, Grashoogte en Groeimodel	85
Bijlage 8	Functies drogestofopbrengst eBee, Grashoogte en Groeimodel	88

Woord vooraf

Het toepassen van remote sensing met een multi- of hyperspectrale camera voor het bepalen van gewasopbrengsten en gewassenmerken wordt steeds algemener. Dergelijke camera's worden toegepast als sensor op een machine of trekker, in drones en satellieten en meten de lichtreflectie van het gewasoppervlak in verschillende golflengte bereiken (kleurenbanden). Op basis van de verschillende reflecties van deze golflengte bereiken worden vegetatie-indexen berekend die gelden als maat voor biomassa van het gewas. Tot op heden is deze techniek vooral ontwikkeld voor bijbemesting in granen en aardappels. Deze techniek kan voor grasland interessant zijn voor het schatten van opbrengst en voederwaardekenmerken voor het monitoren van grasgroei ter ondersteuning van de graslandplanning. Van belang is dat een nauwkeurig verband gevonden wordt tussen de indexen en de werkelijke opbrengst en voederwaardekenmerken.

Onderzocht is of door middel van een veldproef ijklijnen vastgesteld konden worden voor grasland in het Publiek-Private Samenwerkingsproject (pps) Precisielandbouw 2.0. Dit deel van het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV), Agrifirm Plant B.V., ZLTO en Kverneland Group Mechatronics B.V. in het kader van het werkpakket 3c 'Sensorgestuurde gras- en snijmaïsteelt' van de PPS Precisielandbouw 2.0. Daarbij is de veldproef ingezet voor het valideren van een modelmatige schatting van grasgroei afhankelijk van het niveau van stikstofbemesting en vochtvoorziening. Dit deel van het onderzoek is uitgevoerd in het kader van de pps Amazing Grazing (bouwsteen grasgroei voorspelling), dat gefinancierd is door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en ZuivelNL.

Het veldonderzoek is uitgevoerd in samenwerking met de melkveeproefbedrijven KTC Zegveld en Dairy Campus, akkerbouwproefbedrijf Vredepeel en Wageningen Environmental Research. Met dit rapport wordt beoogd een bijdrage te leveren aan het kunnen toepassen van remote sensing techniek en modelmatige grasgroei voorspelling op melkveebedrijven.

Dr. drs. I.D. de Wolf

Afdelingshoofd Veehouderij & Omgeving, Wageningen Livestock Research

Samenvatting

Voor een efficiënter graslandgebruik geven melkveehouders aan vooral behoefte te hebben aan het bepalen van de gewenste inschaarhoeveelheid bij weiden, de grasopbrengst bij maaien voor ruwvoerderwinning en het stikstofgehalte van vers gras. Om te zien in hoeverre met remote sensing grasopbrengst en stikstofgehalte gemeten kan worden, zijn in een veldproef reflectiemetingen vergeleken met de opbrengsten en het stikstofgehalte van gemaaid gras ('ground truth'). Deze opbrengsten en gehalten zijn tevens gebruikt voor validatie van een modelmatige schatting van de grasopbrengst en het stikstofgehalte of ruw eiwitgehalte.

Op de proefbedrijven Vredepeel (zand), Dairy Campus (klei) en KTC Zegveld (veen) is in 2016 en 2017 een maaiproef uitgevoerd om de maaiopbrengsten te kunnen relateren aan reflectiemetingen, grashoogte, basale groeidata (oogstdag, aantal groeidagen en stikstofbestedingsniveau) en een modelmatig berekende grasgroei. In de veldproef werden als behandelingen drie stikstofbestedingsniveaus en vier maaitijdstippen binnen een snede gehanteerd. Binnen een locatie zijn deze behandelingen in tweevoud uitgevoerd. De drie locaties verschilden voor wat betreft de grondsoort, weersituatie, de beschikbaarheid van bodemvocht en de stikstoflevering door de bodem. De variatie in stikstofbesteding is gebruikt om te zien hoe het groeiemodel reageert op de beschikbaarheid van stikstof als groeifactor. De groeitrappen zijn aangelegd om bij eind oogst van de snede over een brede range aan opbrengstverschillen te beschikken voor toetsing van de reflectiemetingen. Als referentie voor de reflectiemetingen is een gekalibreerd handheld apparaat gebruikt dat ontwikkeld is voor onderzoeksdoeleinden (MSR CropScan). Daarnaast zijn op Dairy Campus dronebeelden (eBee met een Multispec4C camera) gebruikt om de grasopbrengsten mee te schatten, als vergelijk met de CropScan beelden.

Voor het modelmatig schatten van de actuele grasopbrengst en het ruw eiwitgehalte werd gebruik gemaakt van een empirisch groeiemodel (GRAS2007), waarbij stikstof en temperatuur de belangrijke groeiparameters zijn. De invloed van de vochtvoorziening werd meegenomen door de modeluitkomsten te corrigeren voor verdampingsreductie die optrad door vernatting of droogte. Hiertoe was het groeiemodel gekoppeld aan een bodemvochtmodel. Dit model berekende een bodemvochtbalans op dagbasis volgens een eenvoudig zogenaamd bakjesmodel. Voor de groeicorrectie is aangenomen dat de reductie van opbrengst recht evenredig is met de verdampingsreductie. Het geheel is als prototype webapplicatie (GrasSignaal) vormgegeven, zodat de benodigde bodemtextuurdata en weergegevens locatie specifiek opgehaald konden worden.

Getoetst is welke vegetatie-index of individuele golflengte de beste schatting gaf voor drogestofopbrengst en stikstofgehalte. Vervolgens is deze toetsing vergeleken met het schatten van drogestofopbrengst en stikstofgehalte met grashoogte en het toepassen van een grasgroei-model. Voor reflectiepercentages en grashoogte vond de analyse plaats op basis van kalibratie en voor het groei-model op basis van validatie. In de analyse is ook gekeken of combinaties van schatters een betere schatting gaven van drogestofopbrengst en stikstofgehalte.

De drogestofopbrengsten zijn op logschaal vergeleken met reflectiemetingen, grashoogte, basale groeidata en gemodelleerde grasgroei. Over locaties heen gaf het groei-model de beste schatting, daarna grashoogte en vervolgens reflectiemetingen. Voor wat betreft de reflectiemetingen was de vegetatie-index $WDVI_{red}$ de beste schatter. De schattingen met reflectiemetingen en grashoogtemetingen verbeterden aanmerkelijk in combinatie met de basale groeidata. Ook in combinatie met het groei-model leverde grashoogte en reflectiemetingen betere schattingen, evenals reflectiemetingen gecombineerd met grashoogte. Vergeleken met de absolute drogestofopbrengst verbeterde het verschil in drogestofopbrengst vooral de verklaarde varianties voor de reflectiemetingen en het groei-model. Op basis van de kalibraties zijn ijklijnen afgeleid om de reflectie- en hoogtemetingen in drogestofopbrengst of verschil in drogestofopbrengst te vertalen al of niet in

combinatie met basale groeidata. In Tabel 1 staan de percentages verklaarde variantie voor individuele en gecombineerde schatters voor drogestofopbrengst op logbasis.

Tabel 1 Percentage verklaarde variantie (R^2) voor individuele en gecombineerde schatters van Spectrale reflectie metingen ($WDVI_{red}$), Groeidata (groeidagen + stikstofbemesting + oogstdatum), Groeimodel (GRAS2007) en Grashoogte voor Ln drogestofopbrengst, voor drie proeflocaties (Dairy Campus, Vredepeel en KTC Zegveld) en beide proefjaren (2016-2017).

Schatters	R^2
Groeidata	71
Groeimodel	72
Grashoogte	65
Reflectie ($WDVI_{red}$)	56
Grashoogte + Groeidata	85
Grashoogte + Groeimodel	80
Reflectiemetingen + Grashoogte	77
Reflectiemetingen + Groeidata	78
Reflectiemetingen + Groeimodel	77
Reflectie + Grashoogte + Groeidata	87

Een schatting van stikstofgehalte op basis van globale groeidata gaf een redelijk resultaat ($R^2=71\%$) vergeleken met reflectiemetingen en grashoogte, waarvan de percentages verklaarde variantie bijzonder laag bleken, respectievelijk $R^2=5$ en 14% en dus geen toegevoegde waarde hadden ten opzichte van globale groeidata. De beste schatter voor reflectiemetingen was overigens golflengte 560 nm (groen). Ook het groeimodel gaf een relatief slechte voorspelling ($R^2=14\%$). Dit kwam omdat in deze benadering stikstofgehalte een resultante is van het quotiënt van drogestofopbrengst en stikstofopbrengst. Doordat stikstofgehalte ten opzichte van drogestofopbrengst een relatief klein getal is, is de foutmarge groot. Om dit probleem op te lossen zal stikstofgehalte apart geschat worden uit de onderliggende data van het empirische groeimodel. Vanwege dezelfde reden is ook het meten van stikstofgehalte met reflectiemetingen erg lastig. De resultaten waren ongeschikt voor het afleiden van bruikbare ijklijnen.

Afwijkingen in de modelmatig berekende grasgroei werden veroorzaakt door (1) een verkeerde schatting van de stikstoflevering op basis van bodemmonsters, (2) een afwijkende benadering van het vrijkomen van stikstof gedurende het groeiseizoen, (3) een grote variatie in gemeten grasopbrengst tussen herhalingen en (4) een afwijkende benadering van de bodemvochttoestand. Vanwege de grote invloed die stikstof heeft op de voorspelde grasgroei, is de grasopbrengst berekend op basis van de werkelijk gemiddelde stikstoflevering per locatie per jaar. Dit betekent dat de afwijkingen van het model groter zullen zijn naarmate de analyses meer afwijken van de werkelijke stikstoflevering.

In de analyse is een vergelijk gemaakt tussen CropScan en eBee data. De correlaties tussen beide databronnen voor vier kleurenbanden was relatief laag. Redenen hiervoor zijn o.a. de wijze van correctie voor inkomend licht, de meettijdstippen waren niet identiek en de Multispec 4c camera van de eBee hanteerde een bandbreedte voor de golflengtes waarin gemeten wordt, terwijl bij de CropScan dit één enkele golflengte was. Voor de eBee data is een aparte kalibratie uitgevoerd om tot bruikbare ijklijnen te voor drogestofopbrengst te komen.

De webapplicatie GrasSignaal zoals die in het onderzoek is toegepast voor groeivoorspelling, wordt doorontwikkeld tot een applicatie die melkveehouders praktisch kunnen inzetten. Om een webapplicatie te kunnen draaien is data nodig en moeten modellen worden aangestuurd. Hiertoe wordt een user interface gemaakt waarbij het invoeren van data tot een minimum beperkt wordt, door zoveel mogelijk gebruik te maken van data die generiek beschikbaar is, zoals weerdata, bodemtextuur, hydrologische kenmerken en grondgebruik. Alle data worden ruimtelijk als een kaartlaag ingebracht om data te kunnen koppelen. Hierbij zal gebruik worden gemaakt van het internetplatform Akkerweb van Wageningen UR.

Het combineren van databronnen lijkt perspectiefvol om meer grip te krijgen op de te verwachten grasopbrengst. Aanbevolen wordt om in te zetten op een modelmatige grasgroeivoorspelling als basis en deze aan te vullen met reflectiemetingen (remote sensing) of grashoogtemetingen. Bekeken moet worden op welke wijze dit praktisch uitvoerbaar is. Verder moet gekeken worden of het meten en voorspellen van bodemvocht en stikstoflevering uit de bodem verbeterd kan worden.

1 Inleiding

Melkveehouders stellen in het groeiseizoen zich dagelijks de vraag hoeveel gras beschikbaar is en van welke kwaliteit. Om gras van de gewenste kwaliteit te oogsten en om grasland efficiënt te weiden is het van belang dat actuele grasopbrengsten goed gemonitord en geschat kunnen worden. In een haalbaarheidsonderzoek (Hoving et al., 2015) zijn de ambities en de technische mogelijkheden uitgewerkt om tot een integraal adviesstelsel voor precisielandbouw te komen betreffende de productie van ruwvoer (gras en maïs). Geadviseerd is hoe een praktisch adviesstelsel voor operationele beslissingen op het melkveebedrijf gerealiseerd kan worden door integratie van bestaande componenten (data, sensoren en modellen), en hoe dit stelsel verbeterd kan worden op de langere termijn door gerichte R&D. In dit kader is ook gekeken naar de potentie van spectrale reflectiemetingen en modelmatige grasgroei-voorspelling. Algemene ijklijnen voor het toepassen van spectrale reflectiemetingen waren nog niet beschikbaar en validatie van grasgroei-voorspelling onder praktijkomstandigheden had nog niet plaatsgevonden.

In 2015 is gestart met het verkennen van de toepassing van reflectiemetingen door gebruik te maken van dronebeelden, echter de conclusie was dat 'ground truth' metingen nodig zijn voor het kalibreren van metingen voor het vaststellen van de gewenste ijklijnen of het valideren van modelmatige berekende grasopbrengsten. Zodoende is afstand genomen van de meer toepassingsgerichte vragen en is in 2016 en 2017 ingezet op een fundamenteel opgezet onderzoek in de vorm van een uitgebreid veldexperiment. Het onderzoek richtte zich op het toepassen van reflectiemetingen, grashoogtemetingen en het modelmatig voorspellen van grasgroei. Metingen en voorspellingen zijn vergeleken en databronnen zijn gecombineerd om te zien of dit tot een betere voorspelling leidt. Hierbij zijn ook basale groeidata meegenomen, zoals oogstdag, aantal groeidagen en het bemestingsniveau voor stikstof.

Het gebruik van multi- of hyperspectrale camera's voor het op afstand meten van biomassa en gewassenmerken met satelliet of drone (remote sensing) is al decennialang in ontwikkeling en krijgt steeds meer toepassing in de praktijk. De camera's (radiometers) worden kwalitatief beter en kunnen in steeds meer banden of golflengtes reflecties meten. Dit maakt het mogelijk specifiekere indexen te berekenen die een nauwer verband hebben met fysieke en fysiologische kenmerken van een gewas. Ook kunnen mogelijk relaties gelegd worden met voederwaardekenmerken of inhoudsstoffen. Voor grasland zou remote sensing een alternatief kunnen betekenen voor de grashoogtemeter. Dit bespaart tijd en brengt de variatie binnen percelen beter in beeld.

Knipling et al. (1970) beschrijft de fysieke en fysiologische basis van gewasreflectie voor zichtbaar licht en nabij infrarode straling. Aangegeven wordt dat fysiologische veranderingen in een gewas (b.v. door ziekte of droogte) het chlorofyl gehalte van individuele bladeren verandert, wat vooral de reflectie van zichtbaar licht beïnvloedt. Veranderingen in gewasontwikkeling en daarmee de karakteristiek van het gehele bladerdek beïnvloeden vooral de nabij-infraroodreflectie (zie verder voor achtergronden Hoofdstuk 2). Ontwikkelingen in het toepassen van reflectietechniek waren vooral gericht op het monitoren van veranderingen in chlorofyl en fysiologische gewassenmerken, zoals LAI (Clevers, 1989; Le Roux, 1997), pFAR (Cristiano et al., 2010), chlorofyl gehalte (Clevers and Gitelson, 2013), Ncontent (Clevers and Gitelson, 2013, Kamenova, 2013), aandeel groen materiaal (Schut en Ketelaars, 2003), waterstress (Govender et al., 2009) en vegetatiekenmerken van natuurlijk grasland (Li Jianlong et al., 1998; Mansour et al., 2012). In Thiessen (2015) is, vergelijkbaar met het onderzoek dat in het voorliggende rapport is beschreven, gekeken naar zowel het toepassen van reflectiemetingen als een modelmatige groei-voorspelling voor gras. In dit kader is een veldexperiment uitgevoerd op melkvee-proefbedrijf De Marke en dit resulteerde voor reflectiemetingen (uitgevoerd met CropScan) in een kalibratiecurve voor droge stof en stikstofopbrengst (vegetatie-index $WDVI_{red}$) en een modelmatige schatting van de grasopbrengst. Het onderzoek leverde echter geen breed toepasbare ijklijnen op, aangezien de reflectiemetingen in één weerjaar op één locatie zijn uitgevoerd. De modellering is voor een reeks van weerjaren uitgevoerd en was gericht op het bepalen van het effect van verschillende bemesting- en oogststrategieën. De wijze van modellering was door de vereiste kalibratie niet geschikt voor operationele doeleinden.

Om tot bruikbare ijklijnen te komen is een meerjarige veldproef uitgevoerd op de proefbedrijven Dairy Campus, Vredepeel en KTC Zegveld, die respectievelijk de grondsoorten klei, zand en veen vertegenwoordigen. Hierbij is ervoor gezorgd dat op het moment van meting een breed bereik van grasopbrengsten beschikbaar was. In de literatuur zijn namelijk vooral experimenten beschreven, waarin door middel van tijdseries de accumulatie van drogestof- of stikstofopbrengst gerelateerd is aan reflectiepercentages. Het nadeel van een dergelijke proefopzet is dat verschil in meetcondities tussen tijdstippen (atmosferische ruis, tijdstip op de dag, mate van waterstress door droogte) extra ruis kunnen geven in de relatie met droge stof en kwaliteitsparameters. In het experiment zijn reflectiemetingen vergeleken met de opbrengsten en het stikstofgehalte van gemaaid gras. Deze opbrengsten en gehalten zijn tevens gebruikt voor validatie van een modelmatige schatting van de grasopbrengst en het stikstofgehalte of ruw eiwitgehalte. Tevens zijn grashoogtemetingen uitgevoerd, omdat de grashoogtemeter als praktisch referentie voor het schatten van grasopbrengst beschouwd kan worden.

Het veldexperiment beantwoordt de volgende onderzoeksvragen:

1. zijn met spectrale reflectiemetingen de opbrengst en het stikstofgehalte van gras te bepalen?
2. hoe verhouden deze metingen zich voor grasopbrengst tot het gebruik van een grashoogtemeter?
3. in hoeverre is grasgroei modelmatig te voorspellen?
4. leidt het combineren van databronnen tot een betere schatting van grasopbrengst en stikstofgehalte?

In het voorliggende rapport zijn de resultaten van het onderzoek beschreven en is een doorkijk gegeven hoe verder van remote sensing techniek gebruik gemaakt kan worden. Tevens is beschreven hoe met real time data en een webapplicatie invulling gegeven kan worden aan decision support.

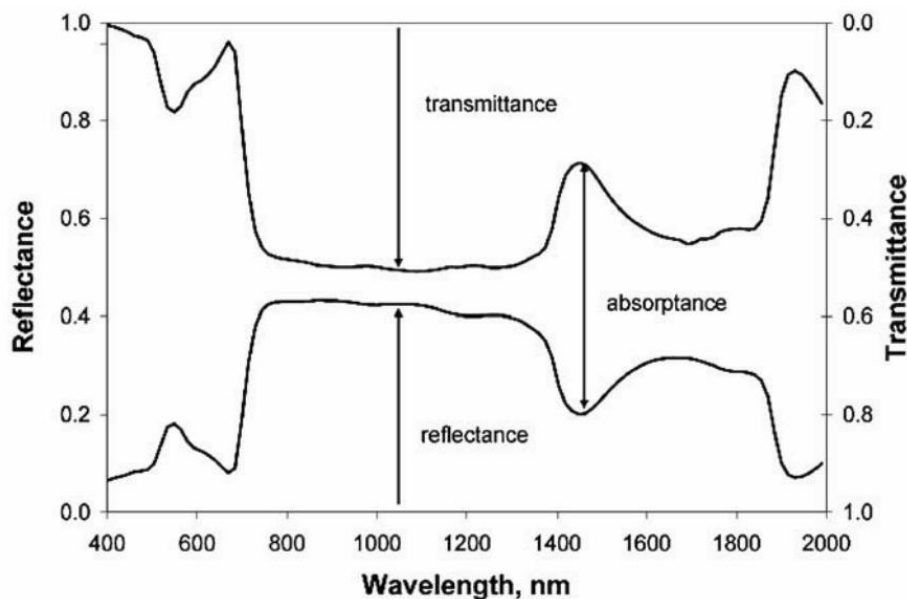
2 Achtergronden

2.1 Reflectiemetingen

Theoretisch kader

Imaging-spectroscopie is een technologie waarmee gereflecteerde elektromagnetische energie wordt gedetecteerd. Om vanuit landbouwkundig perspectief te kunnen interpreteren hoe deze informatie interacteert met vegetatie, is begrip van de energie-interacties vereist (Knipling, 1970; Knyazikhin et al., 2005). De straling van de zon is een mengsel van elektromagnetische (EM) golven dat infrarode straling (IR), zichtbaar licht en ultraviolette straling (UV) bevat. Elektromagnetische golven dragen energie die wordt gereflecteerd, overgedragen of geabsorbeerd door gewassen, bodem en andere biologische en geologische kenmerken aan de oppervlakte van de aarde. Deze drie componenten zijn nauw met elkaar verbonden en zijn van belang in het verklaren van de fysische en fysiologische basis voor bladreflectie. Er is sprake van reflectie wanneer een foton aan dezelfde kant het blad verlaat als waar het invallende foton vandaan komt en er is sprake van transmissie wanneer een foton aan de tegenovergestelde kant het blad verlaat als waar het invallende foton vandaan komt (Knyazikhin et al., 2005).

De interactie van EM-energie en een plantenblad voor golflengtes in het gebied van 400 tot 2000 nm is weergegeven in Figuur 1 (Knyazikhin et al., 2005). De figuur toont de reflectie en transmissie en absorptie van EM-energie. In het zichtbare gebied van het EM-spectrum (400 - 700 nm) bedraagt zowel de reflectie als de transmissie maximaal twintig procent en in het nabij-infraroodbereik van het EM-spectrum (700-1300 nm) is dit 40 tot 50 procent.

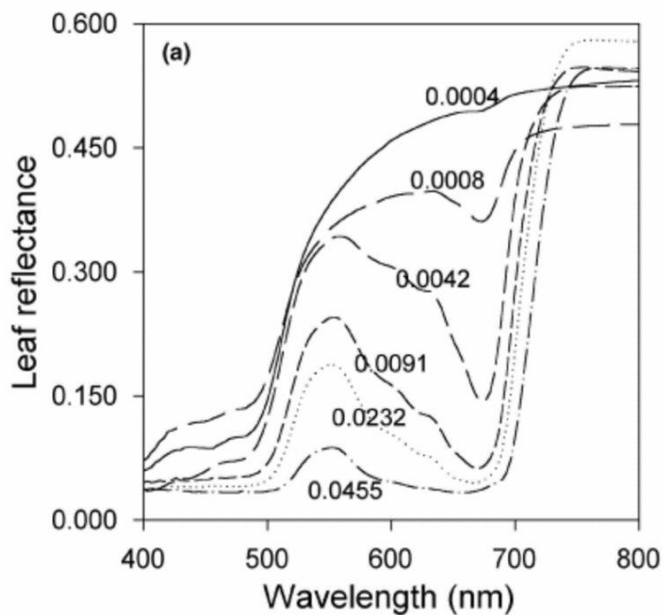


Figuur 1 Reflectie-, absorptie- en transmissiespectra van een plantenblad voor golflengtes in het gebied van 400 tot 2000 nm (Knyazikhin et al., 2005).

De absorptie van EM-energie is in Figuur 1 weergegeven als het gebied tussen de reflectie en transmissie. De absorptie van licht in het zichtbare gebied van EM-energie is hoog, voornamelijk vanwege het bladpigment chlorofyl (Clevers en Gitelson, 2013). Het chlorofylpigment en de inwendige bladstructuur zorgen voor een verdeling van het invallende licht in de bladeren, wat resulteert in een vergelijkbare kromme voor transmissie en reflectie (Knipling, 1970; Knyazikhin et al., 2005). Rood en blauw licht wordt voornamelijk geabsorbeerd door chlorofyl en groen licht (540nm) wordt minder geabsorbeerd.

Figuur 1 toont twee belangrijke absorptiegebieden, veroorzaakt door het pigment chlorofyl en water. In het gebied tussen 400 en 700 nm wordt de absorptie vooral veroorzaakt door chlorofyl en in het gebied tussen 1300 en 1800 nm wordt de absorptie vooral veroorzaakt door water. De transparantie van een blad is hoog voor EM-energie tussen 700-1300 nm, omdat bladpigment en cellulose transparant zijn voor het nabij-infrarode deel van dit spectrum. Maximaal tien procent van de nabij-infrarode energie wordt geabsorbeerd door een plantenblad (Christensen, 2004). Het watergehalte van een gewas beïnvloedt de reflectie in het golflengtegebied van 400 tot 2800 nm, maar de pieken bij 1450 nm, 1970 nm en 2800 nm worden sterk beïnvloed door het watergehalte (Christensen, 2004). Daarom zijn deze pieken interessant om het watergehalte van bladeren van planten, het drogestofgewicht en het verse gewicht van het gewas te bepalen. Vanwege variabiliteit in watergehalte door verschillende groeiomstandigheden worden deze pieken te veel beïnvloed om hiermee biomassa of andere plantparameters te bepalen.

Chlorofyl is essentieel voor de omzetting van elektromagnetische energie in chemische energie en bepaalt daarom het fotosynthetische potentieel van een blad- en biomassaproductie (Filella et al., 1995). Metabolische verstoringen beïnvloeden het chlorofylgehalte van een plantenblad. Het verminderen van het chlorofylgehalte is een van de symptomen van plantstress, andere symptomen zijn reductie van de bladoppervlakte en de temperatuur van de luifel. Het verschil in bladreflectiviteit in het bereik van 400 tot 700 nm wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door het verschil in chlorofylgehalte. Naarmate plantenbladeren bederven en energie minder efficiënt wordt geabsorbeerd, neemt de visuele reflectie toe (Knipling, 1970). Dit wordt getoond in Figuur 2, waar een blad met een laag chlorofylgehalte een hogere reflectie heeft dan een blad met een hoog chlorofylgehalte.



Figuur 2 Reflectiespectra die veranderingen in percentage reflectie aangeven. Getallen naast elke curve geven het totale chlorofylgehalte (mg cm^{-2}) van het blad aan, gemeten door dimethylsulfoxide-extractie (Richardson et al., 2002).

De golflengte waar de helling van deze verandering maximaal is, wordt de red edge positie (REP) genoemd (Horler et al., 1983). Figuur 2 toont de REP als een scherpe verandering in bladreflectie tussen 680 en 750 nm en een verschuiving in positie van deze scherpe verandering tussen hoog en laag chlorofylgehalte. De REP is waardevol voor het schatten van het chlorofylgehalte (Clevers en Kooistra, 2012; Horler et al., 1983). De reflectie van een enkel blad verschilt echter van de reflectie van een bladerdek in een veld. De reflectie van een bladerdek is aanzienlijk minder in vergelijking met een enkel blad, vanwege de belichtingshoek, bladoriëntatie, schaduwen en niet-gebladerte-achtergrondoppervlakken (Knipling, 1970). Vooral metingen van gewassen met een open karakter of een lange onvolledige bodembedekkingsduur worden beïnvloed door de reflectie van de grond (Schut,

2003). Vanwege de verschillen in reflectie zijn vegetatie-indexen ontwikkeld om planteigenschappen te schatten, terwijl tegelijkertijd wordt gecorrigeerd voor bodemreflectie en andere veldomstandigheden.

Vegetatie indexen

Multispectrale camera's worden ingezet om voor specifieke golflengtes, die meerdere banden in het kleurenspectrum vertegenwoordigen (groen, rood en nabij infrarood), de mate van gewasreflectie te bepalen. Per bandbreedte is de mate van lichtabsorptie en reflectie door het gewas verschillend. Voor planten geeft de kleur rood de meeste absorptie en geeft nabij infrarood (NIR) de meeste reflectie. Vervolgens wordt de verhouding tussen reflectiewaarden in verschillende banden omgerekend in een gewasindex, zoals NDVI of WDWI. Deze indexen zijn een maat voor de hoeveelheid biomassa of voor kenmerken van het gewas zoals chlorofylgehalte of stikstofgehalte.

Vegetatie indexen zijn verhoudingen van spectrale metingen in verschillende ruimtelijke banden of lineaire combinaties van spectrale metingen (Payero et al., 2004). Vegetatie-indexen worden robuuster gevonden voor het schatten van gewaskenmerken dan een enkele golflengte, omdat deze meer golflengten vertegenwoordigen. Een overzicht van vegetatie indexen, de betreffende formules en de toepassing is gegeven in Tabel 2. Daarbij zijn de vegetatie-indexen gerelateerd aan verschillende plantkarakteristieken.

Tabel 2 Vegetatie-indexen (VI) gebaseerd op Hatfield et al. (2008) en Kamenova (2013). R_{xxx} geeft de reflectie van het gewas of bodem aan bij golflengte xxx. Het golflengtebereik is van NIR 780 tot 900 nm, van nabij infrarood 720 - 740 nm, van groen 540-670 nm, van rood 640-700 nm en van blauw 450-490 nm.

Vegetatie-index	Formule	Toepassing	Referentie
Normalized difference vegetation index (NDVI)	$\frac{R_{NIR} - R_{red}}{R_{NIR} + R_{red}}$	Vegetation cover, biomass	(Rouse Jr et al., 1974)
Simple ratio	$\frac{R_{NIR}}{R_{red}}$	Biomass, LAI, vegetation cover	(Birth and McVey, 1968; Jordan, 1969)
Red Edge Position(REP)	$700 + 40 \frac{(R_{670} + R_{780})}{2} - R_{700}$ * $\frac{R_{740} - R_{700}}$	N content, biomass	(Guyot and Baret, 1988)
Weighed Difference Vegetation Index red (WDVI _{red})	$R_{NIR} - \frac{R_{NIR\ soil}}{R_{red\ soil}} * R_{red}$	Biomass, LAI	(Clevers, 1989)
Weighed Difference Vegetation Index green (WDVI _{green})	$R_{NIR} - \frac{R_{NIR\ soil}}{R_{green\ soil}} * R_{green}$	Biomass, LAI	(Clevers, 1989)
Chlorophyll Index green	$\frac{R_{NIR}}{R_{green}} - 1$	LAI, chlorophyll	(Gitelson et al., 2003)
Chlorophyll Index red edge	$\frac{R_{NIR}}{R_{red\ edge}} - 1$	LAI, chlorophyll	(Gitelson et al., 2003)
Enhanced vegetation index	$2.5 * \frac{R_{NIR} - R_{red}}{R_{NIR} + 6R_{red} - R_{blue} + 1}$	Biomass, LAI	(Huete et al., 2002)
Normalised difference red edge (NDRE)	$\frac{R_{790} - R_{720}}{R_{790} + R_{720}}$	N content	(Barnes et al., 2000)
Normalised difference red edge1 (NDRE1)	$\frac{R_{750} - R_{705}}{R_{750} + R_{705}}$	N content, chlorophyll	(Gitelson and Merzlyak, 1994)
MERIS terrestrial chlorophyll index (MTCI)	$\frac{R_{754} - R_{709}}{R_{709} + R_{681}}$	N content, chlorophyll	(Dash and Curran, 2004)

In Tabel 3 staat een overzicht van de percentages verklaarde variantie van de vegetatie indexen in combinatie met de gerelateerde parameter uit Tabel 2. Het betreft waarden op basis van spectrale

metingen van gras. Wanneer meerdere R²-waarden beschikbaar waren is een bereik van R²-waarden getoond.

Tabel 3 Percentages verklaarde variantie (R²) per vegetatie-index (reflectiemetingen) voor biomassa, LAI of stikstofgehalte voor gras met literatuurreferentie.

Vegetatie-index	R ²	Gewassenmerk	Referentie
Normalized difference vegetation index (NDVI)	31; 45-84; 62-78	N content; Biomass; LAI	(Kamenova, 2013; Mutanga and Skidmore, 2004; Papadavid et al., 2013; Schut, 2003; Vescovo and Gianelle, 2008)
Simple ratio	64; 38; 65	LAI; Biomass; N content	(Thiessen, 2015; Vescovo and Gianelle, 2008)
Red Edge Position(REP)	60-79	N content	(Clevers and Gitelson, 2013; Kamenova, 2013; Mistele and Schmidhalter, 2008)
Weighed Difference Vegetation Index red (WDVI _{red})	49-85; 78-83	Biomass; LAI	(Papadavid et al., 2013; Thiessen, 2015)
Weighed Difference Vegetation Index green (WDVI _{green})	47-65	Biomass	(Schut, 2003; Thiessen, 2015)
Chlorophyll Index green	35-77	N content	(Clevers and Gitelson, 2013; Kamenova, 2013)
Chlorophyll Index red edge	48-75	N content	(Clevers and Gitelson, 2013; Kamenova, 2013)
Enhanced vegetation index	10	Biomass	(Biewer et al., 2009c)
Normalised difference red edge (NDRE)	50-62	N content	(Clevers and Gitelson, 2013; Kamenova, 2013)
Normalised difference red edge1 (NDRE1)	36-67	N content	(Clevers and Gitelson, 2013; Kamenova, 2013)
MERIS terrestrial chlorophyll index (MTCI)	53-78	N content	(Clevers and Gitelson, 2013; Kamenova, 2013)

Uit Tabel 3 volgt dat WDVI_{red} de beste schatter is voor drogestofopbrengst van gras, gevolgd door NDVI en WDVI_{green}. Op basis van WDVI_{red} vonden Schut (2003) en Thiessen (2015) een RMSE met een bereik van 219 tot 638 kg.ha⁻¹.

Het stikstofgehalte, of in feite betreft het de stikstofopbrengst (aangezien het stikstofgehalte per m² wordt uitgedrukt), vertoont de hoogste correlatie met de indexen REP en MTCI met ongeveer een zelfde bereik aan percentage verklaarde variantie. Chlorofyl-indexgroen en chlorofyl-index rood hebben als bovengrens ongeveer een zelfde percentage verklaarde variantie. Uit deze tabel kan worden geconcludeerd dat WDVI_{red}, WDVI_{green}, NDVI, REP, MTCI voor gras de meest veelbelovende vegetatie-indexen zijn.

2.2 Grashoogte

Diverse meetsystemen zijn op de markt die meer of minder geavanceerd zijn voor wat betreft meten en datalogging (Booij, 2014). Door Holshof en Stienezen (2016) is de inzet van verschillende grashoogtemeters onderzocht waaronder de Jenquip EC09 en EC10 (zie Afbeelding 1). Hierbij zijn grashoogtemetingen vergeleken met gemaaide opbrengsten. Alle geteste grashoogtemeters waren met ongeveer een gelijke betrouwbaarheid te gebruiken in het traject tot 2700 kg droge stof per ha boven stoppelniveau (lichte maaisnede). De verklaarde variantie was hierbij ongeveer 70%. Door de hoogtemetingen per proefplot te middelen werd de schatting aanzienlijk verbeterd (89% verklaarde

variantie), omdat dan de variatie binnen een plot niet meegenomen wordt. Differentiatie naar snede (tijdstip in groeiseizoen) gaf geen verbetering van de schatting.



Afbeelding 1 Gebruik Jenquip EC09 Platemeter voor het meten van grashoogte.

2.3 Grasgroeimodel

Voor een modelmatige voorspelling van de grasgroei is in het onderzoek gebruik gemaakt van GRAS2007, een stochastisch model van Wageningen Livestock Research dat gebaseerd is op alle groeiverloopproeven die de laatste decennia zijn uitgevoerd. Het model geeft een goede voorspelling van de grasgroei op goede cultuurgraslanden (80-100% Engels raaigras), maar ook voor graslanden met een meer gevarieerd grassenbestand (Holshof en van den Pol, 2014) die lager gewaardeerd worden.

In GRAS2007 wordt gebruik gemaakt van een stikstofbalans, waarbij de stikstofopbrengst geschat wordt op basis van het stikstofleverend vermogen van de bodem (NLV), uit stikstof gegeven met kunstmest en dierlijke mest en uit onbenutte stikstof uit een vorige snede. De stikstofopbrengst vanuit de bodem wordt als stikstofjaaropbrengst voor drie grondsoorttypen geschat (zand, klei en veen) en volgens een sigmoïde curve verdeeld over het groeiseizoen (stikstoflevering per dag). De (geschatte) stikstoflevering kan ook als input worden opgegeven. De stikstof uit toegediende (kunst)mest wordt met een vertragingsfactor (tijd gift en tijd opname) opgenomen in de plant. Over de totale beschikbare stikstof wordt een efficiëntie geschat. Vanuit een stikstofopbrengst wordt vervolgens de droge stofopbrengst geschat door middel van een aantal factoren (sneenummer, dag in het seizoen, stikstofgift en groeiduur). Vervolgens wordt de grasopbrengst per dag gecorrigeerd voor eventuele stress door droogte of vernatting, op basis van een eenvoudig 'bakjes' model voor het berekenen van een bodemvochtbalans dat gebruikt wordt in het beregeningsadviesprogramma BeregeningsSignaal van ZLTO. Daarbij wordt voor de bodemfysische uitgangspunten uitgegaan van de bouwstenen van de Staringreeks (Wösten et al, 2003).

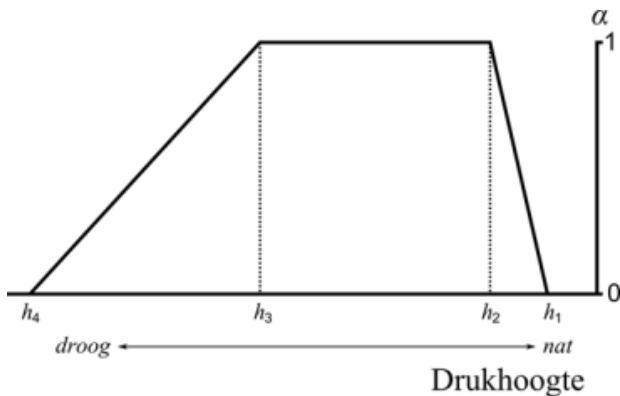
Voor gewasverdamping, welke berekend wordt door het KNMI, wordt gebruik gemaakt van de formule van Makkink. De potentiële verdamping wordt gerelateerd aan de potentiële verdamping van een referentiegewas via een gewasfactor (Vergelijking 1):

$$ET_{p0} = K_c ET_{ref} \quad (1)$$

waarin ET_{p0} (mm/d) gelijk is aan de potentiële verdamping van een willekeurig gewas, K_c (-) de gewasfactor en ET_{ref} (mm/d) de potentiële verdamping van een referentiegewas is. Het referentiegewas is gras en de $K_c = 1$.

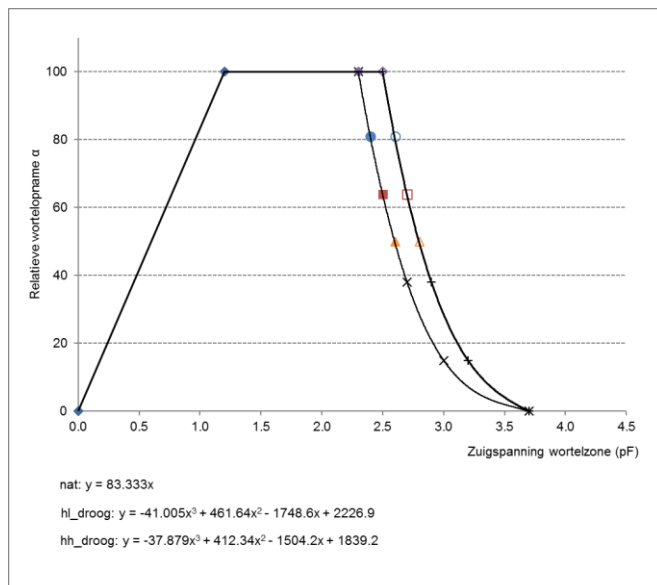
Onder veldomstandigheden wordt de verdamping echter gereduceerd door vernatting of droogte. Zowel te droge als te natte omstandigheden leiden tot een suboptimale transpiratie omdat plantenwortels dan onvoldoende water kunnen opnemen. Voor het berekenen van reducties in de wateropname door te droge (watertekort) en te natte (zuurstoftekort) omstandigheden heeft Feddes et al. (1978) een wortelonttrekkingsfunctie ontwikkeld (Figuur 3). Bij optimale bodemvochtcondities zijn de plantenwortels in staat te voldoen aan de potentiële opname. Bij te droge omstandigheden

wordt de waterflux naar de wortels kleiner dan de potentiële opname. Deze afname wordt uitgedrukt in een reductiecoëfficiënt die varieert van 0.0 (geen opname) tot 1.0 (potentiële opname).



Figuur 3 Relatieve wortelopname α (relatief ten opzichte van potentiële opname) als functie van de drukhoogte h volgens Feddes et al. (1978). De wateropname door wortels neemt lineair af van h_3 tot h_4 door droogtestress. Tussen h_2 en h_3 is de wateropname optimaal ($\alpha=1$). Volgens deze functie neemt de wateropname af door zuurstofstress tussen de kritische grenswaarden h_2 en h_1 .

Voor het bepalen van de actuele gewasverdamping in GRAS2007 is gebruik gemaakt van een afgeleide van de Feddes reductiefunctie. De verdampingsreductie bij een relatief natte vochttoestand van de bodem (wortelzone) en bij een relatief droge vochttoestand van de bodem worden volgens verschillende functies beschreven. Daarbij is voor het droge traject onderscheid gemaakt in een relatief hoge en in een relatief lage verdampingsvraag. Gekozen is voor niet lineaire functies (expert judgement), omdat bij de gebruikelijke lineaire functies de verdamping te snel reduceert in vergelijking tot de praktijk. Een belangrijk ijkpunt hierbij is dat bij een zuigspanning in de wortelzone ter grootte van $pF = 2.7$ (drukhoogte -500 cm) de actuele verdamping ongeveer 50% van de potentiële verdamping bedraagt. In een berekeningsexperiment op grasland werd met een eenvoudig berekende vochtbalans en een halvering van de verdamping op het moment dat het kritieke moment van beregenen werd bereikt goed benaderd (Hoving en van Riel, 2003). In Figuur 4 staat de uitwerking van de Feddes functie voor GRAS2007.



Figuur 4 Relatieve wortelopname α (relatief ten opzichte van potentiële opname) als functie van de zuigspanning pF volgens Feddes et al. (1978), toegepast in GRAS2007 om de transpiratiereductie te berekenen, met een functie voor het natte traject ('Nat') en functies voor een lage verdampingsvraag (hl) en een hoge verdampingsvraag (hh) voor gras. Bij ($\alpha=100$) is de wateropname optimaal.

Bij een suboptimale vochtvoorziening in de wortelzone zal de potentiële transpiratie (T_{pot}) afnemen tot de actuele transpiratie (T_{act}), waardoor de gewasopbrengst lager wordt dan potentieel haalbaar is. De groeireductie door nat- of droogteschade wordt in GRAS2007 berekend door de groei te corrigeren met een transpiratiefactor. De relatieve gewasopbrengst (Y_{act}/Y_{pot}) wordt gelijk gesteld aan relatieve transpiratie (T_{act}/T_{pot}) volgens Vergelijking 2 op basis van Doorenbos and Kassam (1979).

$$\left(1 - \frac{Y_{act}}{Y_{pot}}\right) = K_Y \left(1 - \frac{T_{act}}{T_{pot}}\right) \quad (2)$$

Waarbij:

- Y_{pot} : Potentiële gewasopbrengst
- Y_{act} : Actuele gewasopbrengst
- K_Y : gewasresponsfactor (= 1 voor gras)
- T_{pot} : Potentiële transpiratie
- T_{act} : Actuele transpiratie

3 Opzet onderzoek

3.1 Veldexperiment op klei-, zand en veengrond

3.1.1 Opzet en uitvoering veldproef

Op de proefbedrijven Dairy Campus (klei), Vredepeel (zand) en KTC Zegveld (veen) is in 2016 en 2017 een maaiproef uitgevoerd met drie stikstofbestedingsniveaus en vier maaitijdstippen binnen een snede. De gemeten maaiopbrengsten zijn gebruikt voor het valideren van de modelmatige groeivoorspelling en het kalibreren van schattingen met spectrale reflectiemetingen en grashoogtemetingen. De drie locaties verschillen voor wat betreft de grondsoort, weersituatie, de beschikbaarheid van bodemvocht en de stikstoflevering door de bodem. De variatie in stikstofbesteding is gebruikt om te zien hoe het groeimodel reageert op de beschikbaarheid van stikstof als groeifactor. De groeitrappen zijn aangelegd om bij eindooft van de snede over een brede range aan opbrengstverschillen te beschikken voor toetsing van de reflectiemetingen. Tevens dienden de groeitrappen om de modelmatige groeivoorspelling te toetsen.

Samengevat waren de behandelingen als volgt:

Hoofdbehandeling Locatie (grondsoort):

1. Dairy Campus (klei)
2. Vredepeel (zand)
3. KTC Zegveld (veen)

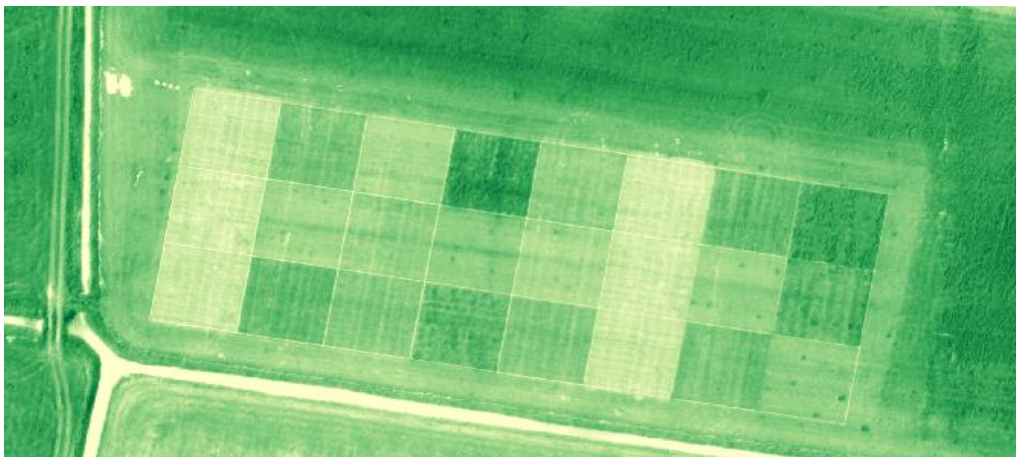
Subbehandeling Stikstofbesteding

1. N0 (onbested)
2. N1 (matige N gift)
3. N2 (ruime N-gift)

Subbehandeling Groeiduurtijd

1. T1 (oogst bij ongeveer 500 kg ds.ha⁻¹ of een gewaslengte van ongeveer 9 cm)
2. T2 (oogst een week na T1)
3. T3 (oogst een week na T2)
4. T4 (oogst een week na T3. Op dit tijdstip werden ook de T1-T3 veldjes geoogst)

De veldjes waren zo groot dat deze op satelliet en dronebeelden goed te onderscheiden waren (zie Afbeelding 2).



Afbeelding 2 Beeld van het proefveld op Dairy Campus dat genomen is met een Sensefly Ebee RTK, een drone die uitgerust is met een multispectrale camera voor het meten van biomassa.

Uitgangsproof voor de maaiproef was het creëren van een variatie in opbrengst en tijd. Om dit te bereiken werden vier opbrengstbepalingen binnen een snede uitgevoerd (T1 t/m T4). Per stikstofbemestingstrap en per tijdstip (T) werden afzonderlijke veldjes aangelegd. Om een gelijk uitgangspunt te hebben voor de volgende snede werden op het laatste maaitijdstip van een snede de T4 veldjes gemaaid, maar ook de overige veldjes van T1-T3. In Tabel 4 staat schematisch het tijdschema voor maaien per snede in de tijd. In Bijlage 1 is het tijdschema per snede per N-niveau in meer detail weergegeven.

Tabel 4 Tijdschema maaiproef met vier opbrengstbepalingen binnen een snede (T1 t/m T4).

Snede/week	1	2	3	4	5	6	7	8
Snede 1	T1	T2	T3	T1 - T4				
Snede 2					T1	T2	T3	T1 - T4
Etc.								

Door de gecombineerde uitvoering (groeiverloop en opbrengstvariatie) was een compact proefveld mogelijk. De oneven tijdstippen (T1-T3) werden gebruikt voor het bepalen van het groeiverloop van gras (tijdreeks) en de even tijdstippen (T4) werden gebruikt voor het meten van opbrengst in verschillende groeistadia op één tijdstip (opbrengstreeks).

Voor metingen met satellieten en drones (multispectrale camera), waren de afzonderlijke veldjes voor proefveldbegrippen relatief groot. Ondanks dat, bleek het lastig om meetgrids van satellietbeelden binnen de netto oppervlakte te laten vallen. Per proeflocatie was vanwege de beschikbare ruimte de omvang van de veldjes verschillend. De netto oppervlakte was op KTC Zegveld 16 x 20 m, op proefbedrijf Vredepeel 12 x 24 m en op Dairy campus 20 x 20 m.

In Bijlage 2 staat per proeflocatie een schema van het proefveld waarbij in eerste instantie maaitijdstippen en in tweede instantie de stikstoftrappen geloot zijn. Het schema is niet volledig geloot om binnen de compacte opzet ruimte te houden om de individuele veldjes te kunnen uitmaaien. In 2017 is op KTC Zegveld het proefveldschema aangepast vanwege schade aan de graszode door vernatting als gevolg van extreme neerslag eind juni in 2016.

Bemesting

De velden werden alleen met kunstmest bemest. Om fosfor- en kalitekorten te voorkomen werd tijdens het seizoen twee keer (voorjaar en tweede helft juli) een fosfor en kali bemesting gegeven. In het voorjaar 80 kg K₂O per ha en 45 kg P₂O₅ per ha en in juli 50 kg K₂O en nogmaals 45 kg P₂O₅ per ha. De kali werd toegediend als K₂O en de fosfaat als Tripelsuper. Voor elke snede werd een stikstofgift (KAS) gegeven volgens het schema in Tabel 5. De bemesting vond steeds plaats op de dag van het maaien, of uiterlijk de volgende dag.

Tabel 5 Stikstofbemesting (KAS 24%) per snede per object (N0, N1, N2)

Stikstoftrap	1	2	3	4	5	6	totaal
<i>Veengrond</i>							
N0	0	0	0	0	0	0	0
N1	40	30	20	20	15	15	140
N2	80	60	40	40	30	30	280
<i>Zandgrond</i>							
N0	0	0	0	0	0	0	0
N1	50	40	30	30	15	15	180
N2	100	80	60	60	30	30	360
<i>Kleigrond</i>							
N0	0	0	0	0	0	0	0
N1	50	40	30	30	15	15	180
N2	100	80	60	60	30	30	360

3.1.2 Waarnemingen

De opbrengstbepalingen door middel van maaien werden enerzijds uitgevoerd voor het creëren van opbrengstvariatie (T1-T3) en anderzijds het kalibreren van reflectie- en grashoogtemetingen en het valideren van modelmatige grasgroei (T4). Daarbij werden dagelijkse en wekelijkse metingen uitgevoerd als invoer voor de modelmatige opbrengstschatting of om gebruikte modelvariabelen te toetsen. De metingen zijn in het onderstaande nader gespecificeerd.

Oogstmomenten T1-T3 (6 veldjes op 3 tijdstippen per snede):

1. Uitmaaien (opbrengst en stikstofgehalte)

Oogstmomenten T4 (24 veldjes op 1 tijdstip):

1. Grashoogtemeter (opbrengst)
2. CropScan (optische beelden-opbrengst en stikstofgehalte)
3. Drone (optische beelden-opbrengst en stikstofgehalte). Alleen op Dairy Campus
4. Uitmaaien (opbrengst en stikstofgehalte)

Dagelijkse metingen

1. Bodemvocht (sensor)
2. Bodemtemperatuur (sensor)
3. Grondwaterstand (sensor)
4. Neerslag (sensor en handmatig)

Wekelijks

1. Bodemvochtmonsters op T4 veldjes. Start in april, totaal 24 weken.
2. Grondwaterstand (handmatig)

Bepalen drogestofopbrengst door middel van maaien

Wekelijks werden opbrengsten bepaald. Op de oneven oogsttijdstippen (T1 t/m T3) steeds 1 object per week (6 velden) en op even oogsttijdstippen (T4) alle objecten (24 velden). Per veldje werd met een HaldrupTM-oogstmachine 2 stroken uitgemaaid van 1,5 x 8 m. De lengte van de stroken werd nauwkeurig gemeten. Na uitmaaien van de stroken van de betreffende opbrengstvelden werd het gehele opbrengstveld gemaaid met een gangbare maaier en werden de grasresten afgevoerd. De eerste maaibeurt vond plaats op het moment dat het gras oogstbaar was, ongeveer bij 500 kg drogestof per ha of een gewaslengte van ongeveer 9 cm. Na de eerste maaibeurt stond het maaischema redelijk vast, tenzij sprake was van een extreem droge periode, waardoor geen maaibaar gewas beschikbaar was. Op dat moment werd het maaischema aangepast.

Van het geoogste gras van de maaistroken werden monsters genomen voor de bepaling van het droge stofgehalte. De monsters worden in duplo gestoken en gedroogd: één monster om het droge stofgehalte te bepalen en één monster om te analyseren op N-totaal. De verse grasopbrengst werd gewogen en het drogestofgehalte werd bepaald door grasmonsters gedurende 24 uur in een droogstoof bij 70 °C te drogen.

Grashoogte metingen

Op de dag van oogst (T4) werden van de te maaien veldjes voor oogst de grashoogtes gemeten. De metingen werden uitgevoerd met een Jenquip EC09 Electronic Plate Counter (©Grasstec 2016). Daarbij werd het aantal klikken genoteerd en omgerekend naar centimeters. Per veldje werden random zes metingen gedaan. Grashoogtes zijn niet omgerekend naar grasopbrengst, maar uitsluitend gebruikt als schatter in de statistische analyse.

Reflectiemetingen

CropScan Multispectral Radiometers (MSR)

Als basis voor de reflectiemetingen werd de CropScan Multispectral Radiometer (CropScan, 2016; MSR87, MSR16R) ingezet. Dit is een gekalibreerd handheld apparaat dat ontwikkeld is voor onderzoekdoeleinden.

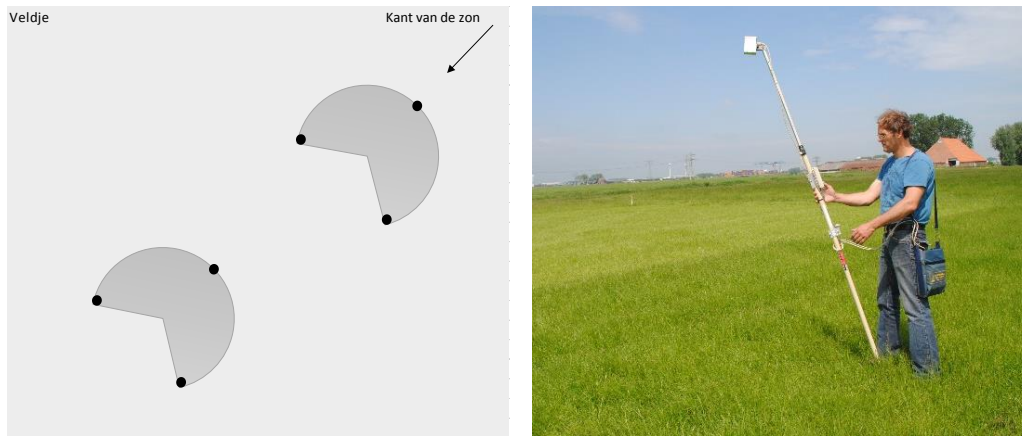
Op het T4 moment werd een dag voor de oogst de lichtreflectie gemeten met een gekalibreerde CropScan Multispectral Radiometer (CropScan, 2016; MSR87, MSR16R). Op Dairy Campus (2016 - 2017) en KTC Zegveld (2017) werd gemeten in zestien banden tussen 460 - 1080 nm. Op Vredepeel (2016-2017) werd gemeten in acht banden tussen 460 en 810 nm, waarbij vijf van de acht banden overeenkwamen met de CropScan met zestien banden. Het verschil in apparatuur was zodoende geen beperking van de gegevensanalyse. In Tabel 6 staat een overzicht van de golflengtes per uitvoering van de CropScan.

Tabel 6 Golflengtes CropScan MSR87 en MSR16R.

Golflengte	MSR87	MSR16R
Nm460	x	x
Nm490		x
Nm510	x	x
Nm560	x	x
Nm610	x	
Nm660	x	
Nm670		x
Nm700		x
Nm710	x	
Nm720		x
Nm730		x
Nm740		x
Nm760	x	x
Nm780		x
Nm810	x	x
Nm870		x
Nm900		x
Nm970		x
Nm1080		x

De CropScan radiometer is op een statief bevestigd, waarmee op ongeveer 2 m boven het gewasoppervlak metingen worden verricht. Met een waterpas die aan het statief bevestigd is, kan de radiometer verticaal en horizontaal in de juiste positie gehouden worden. De diameter van het meetveld is de helft van de hoogte van de radiometer boven het gewas. Aangenomen wordt dat de fluxdichtheid van het inkomende licht die op de bovenkant van de radiometer valt (bovenzijde) identiek is aan de fluxdichtheid die op het doelloppervlak invalt. Voor elke golflengte wordt per meting automatisch het percentage reflectie berekend.

De metingen met de cropScan werden op twee locaties binnen een veldje uitgevoerd. Per locatie werden cirkelgewijs drie metingen gedaan, staande in het hart van de cirkel (in totaal zes metingen), met het gezicht naar de zon, om te voorkomen dat schaduwwerking op zou treden. Zie Afbeelding 3 voor een schematisch weergave van de CropScan metingen en een foto van het gebruik.



Afbeelding 3 Links een schematisch weergave van de CropScan metingen per veldje; drie metingen cirkelgewijs staande in het hart van de cirkel, op twee locaties per veldje. Rechts een optisch beeld van het uitvoeren van de CropScan metingen.

Sensefly eBee RTK

Aanvullend op de CropScan-metingen zijn op Dairy Campus in beide proefjaren reflecties gemeten met een Sensefly eBee RTK drone. De drone vluchten werden uitgevoerd door loonbedrijf Christel Thijssen (www.dronewerkers.nl). De betreffende eBee drone was uitgerust met een AIRINOV Multispec 4C camera. Deze camera meet in vier kleurenbanden en de specificaties hiervan zijn als volgt:

- Green (550 ± 40)
- Red (660 ± 40)
- Red edge (735 ± 10)
- Near infrared (790 ± 40)

De AIRINOV Multispec 4C camera wordt voor elke vlucht gekalibreerd met een witte plaat waarvan de reflectiewaarde bekend is. Op basis hiervan wordt een statistische correctie uitgevoerd voor de hoogte van de metingen. Vervolgens corrigeert de Multispec per afzonderlijke foto voor de lichtsterkte van het inkomende licht. Dit betreft één correctie voor het gehele spectrum. In het algemeen is bij rood en groen (lage reflectiepercentages) de meetfout relatief groot en is bij infrarood en nabij infrarood de meetfout relatief klein (hoge reflectiepercentages).

Op basis van vluchten in 2015 bleek dat de data binnen één meetmoment beter vergeleken konden worden dan over meetmomenten heen. Een vergelijk tussen data over meetpunten heen vraagt in de eerste plaats een goede detectie en correctie voor inkomend licht. De sensor voor inkomende licht aan de bovenkant van de drone zorgt hier in principe voor. Het is echter wel van belang dat de verschillende golflengtebereiken onderling op elkaar afgestemd worden (en blijven). Daarom zou in principe voor elk golflengtebereik afzonderlijk een ijking moeten plaatsvinden. Om inzicht te krijgen in de reflecties per golflengtebereik zijn additioneel op de standaard witte kalibratieplaat vier kalibratieplaten ingezet met de kleuren zwart, donkergrijs, lichtgrijs en wit. De kleur van de platen is gebaseerd op de mate waarin per band reflecties van de platen en gewas overeenkomen.

Per plaat zijn in principe de reflectiewaarden (of absorptiewaarden) per golflengtebereik gelijk. Metingen met de CropScan uitgevoerd door Wageningen Plant Research op 4 maart 2018 (niet gepubliceerde data Meurs, 2018) illustreren dat per plaat vergelijkbare reflectiepercentages gevonden werden voor golflengtes die de vier golflengtebereiken representeren van de Multispec 4c camera van de eBee (zie Tabel 7).

Tabel 7 Reflectiewaarden kalibratieplaten (wit, lichtgrijs, donker grijs en zwart) per golflengtebereik (groen, rood, nabij infrarood en infrarood) gemeten met een CropScan radiometer op één tijdstip (niet gepubliceerde data Meurs, 2018).

Kalibratieplaat	Groen	Rood	Infrarood	Nabij infrarood
Wit	0.592	0.543	0.535	0.513
Lichtgrijs	0.353	0.314	0.301	0.283
Donkergrijs	0.149	0.136	0.134	0.131
Zwart	0.039	0.036	0.047	0.058

De inzet van de kalibratieplaten was bedoeld om enerzijds te zien hoe de reflectiepercentages tussen golflengtebereiken zich verhouden en anderzijds of een methode gevonden kan worden om de variatie in reflectiepercentages tussen meetmomenten te verminderen. Geprobeerd is of met een standaardisatie van reflectiepercentages van het gras tot een eenduidigere relatie te komen tussen reflectiepercentages en drogestofopbrengst.

Bodemvocht

Op de T4 veldjes werden wekelijks van april tot november bodemmonsters genomen (totaal 24 weken) met een gutsboor van 18 mm tot een diepte van 25 cm. Dit betekent dat van de veldjes N0, N1 en N2 in tweevoud monsters werden genomen (6 veldjes).

De monsters werden gedroogd in een droogstoof met goede luchtafzuiging gedurende ten minste 48 uur bij 70°C. Volgens protocol dienen grondmonsters bij 40°C gedroogd te worden, echter op Dairy Campus en KTC Zegveld was onvoldoende stoofcapaciteit om op bij de relatief lagere temperatuur te kunnen drogen. Naar verwachting had dit geen negatief effect op de resultaten.

Het bodemmonster werd goed gemengd en in een dunne laag uitgespreid op de ondergrond van een bak die geen vocht absorbeert. Wanneer het volume van het monster te groot was werd na het mengen van het verzamelmonster een submonster genomen.

Om het volumepercentage vocht te bepalen werden de grondmonsters gewogen, gedroogd en teruggewogen. Per veldje werden de vers- en drooggewichten zowel in een Excelbestand gezet als ingevoerd in BeregeningsSignaal (zie paragraaf 3.2). In BeregeningsSignaal rekent het programma automatisch voor het betreffende perceel, gewas en worteldiepte de vochtvoorraad in de wortelzone uit.

Worteldiepte

Voor het modelmatig benaderen van de bodemvochttoestand op basis van een bodemvochtbalans werd per jaar de worteldiepte bepaald op de T4 veldjes waar ook de bodemvochtmonsters werden genomen. De worteldiepte werd bepaald met een wortelboor, waarbij per 5 cm diepte het aantal wortels op het snijvlak werd geteld. Dieper dan 15 beneden maaiveld waren de graswortels lastig waar te nemen, zeker op kleigrond. Daarom werden aanvullend profielkuilen gegraven om de worteldiepte vast te stellen. De worteldieptes waren als volgt:

Zegveld	25 cm
Vredepeel	30 cm in 2016 en 25 cm in 2017
Dairy Campus	40 cm

Het gras op proeflocatie Vredepeel was bij de start van het onderzoek relatief jong (inzaai 2014) en dat verklaart wellicht de afname van de worteldiepte in 2017. Op zandgrond met een dun humeus dek wortelt ouder gras minder diep dan grasland dat 1 of 2 jaar oud is (Soesbergen *et al.*, 1986).

Neerslag

De neerslag werd op de proefpercelen gemeten met een professionele regenmeter van Eijkelkamp en dagelijks voor 09.00 uur afgelezen. De data worden geregistreerd en opgeslagen in een Excel-file. Daarbij wordt de neerslagregistratie in BeregeningsSignaal volgens buienradar gecontroleerd. Bij afwijking werd de betreffende hoeveelheid overschreven met een eigen waarneming.

Grondwaterstand

Tegelijkertijd met het nemen van de vochtmonsters werd wekelijks de grondwaterstand op het proefperceel gemeten. Hiertoe was op een representatieve plek een grondwaterstandsbuis geplaatst. De metingen werden uitgevoerd met een meetlint en daaraan bevestigd een dompelklokje.

3.1.3 Uitgangspunten bodemvochtbalans

De uitgangspunten voor het berekenen van een bodemvochtbalans per veldje binnen een proeflocatie betreffende de textuur van de boven- en ondergrond en de dikte van de wortelzone staan in Tabel 8. De textuurklassen die bepalend zijn voor de bodemfysica zijn gekozen op basis van de Staringreeks (Wösten et al., 2013).

Tabel 8 *Uitgangspunten textuur boven- en ondergrond op basis van de Staringreeks (Wösten et al., 2013) en de dikte van de wortelzone.*

	Dairy Campus	Vredepeel		Zegveld
		2016	2017	
Bovengrond	Matig zware klei (B11)	Leemarm fijn zand (B1)	Zwak lemig fijn zand (B2)	Kleiig veen (B18)
Ondergrond	Matig zware klei (O12)	Leemarm fijn zand (O1)	Leemarm fijn zand (O1)	Mesotroof en eutroof veen (O17)
Wortelzone	40 cm	30 cm	25 cm	25 cm

Voor de proeflocatie Vredepeel is in 2017 de keuze van de bovengrond aangepast, omdat deze bij nader inzien niet aansloot bij de typering volgens de bodemkaart en de bodemvochtsituatie in de praktijk onvoldoende benaderde. De worteldiepte is aangepast op basis van de gemeten worteldiepte.

3.2 Statistische analyse

De statistische analyse richtte zich op het verklaren van de absolute drogestofopbrengst en het stikstofgehalte in vers gras op basis van de uitgevoerde metingen en modelmatige voorspellingen. Daarbij zijn ook de relatieve verschillen in drogestofopbrengst en stikstofgehalte geschat om te zien in welke mate verschillen tussen veldjes of percelen geschat kunnen worden. Doorgaans zijn relatieve verschillen beter te schatten dan absolute verschillen. De drogestofopbrengsten zijn Ln getransformeerd om minder last te hebben van een verzadigingseffect bij hogere opbrengstniveaus.

De analyse is uitgevoerd op de data van de T4 oogstmomenten om voor (1) reflectiemetingen, (2) grashoogtemetingen en (3) modelmatige grasgroei voorspelling een afzonderlijk voorspellende modellen te genereren, maar ook om te zien hoe deze zich tot elkaar verhouden. Voor de reflectiemetingen richtten de analyses zich op afzonderlijke golflengtes en vier algemene vegetatie-indices die uit reflecties bij 560 nm, 660 - 670 nm, 710-720 nm en 810 nm berekend zijn, te weten NDVI (Rouse et al., 1973), $WDVI_{red}$ (Clevers, 1989), $WDVI_{green}$ (Clevers, 1989) en NDRE (Barnes et al., 2000).

De analyses zijn uitgevoerd met het statistische pakket Genstat 16th edition (2013). De selectie van het meest verklarende enkelvoudige kenmerk uit de reflectiemetingen (zowel vegetatie-indexen als de enkelvoudige bandbreedtes 560, 760 en 810) is uitgevoerd met de procedure RSEARCH. De selectie is uitgevoerd met en zonder gebruik van basale groeidata. Deze data betrof de groeiduur van de betreffende snede, stikstofbemestingsniveau, locatie en oogstdatum.

Na selectie van het beste reflectiemetingkenmerk zijn verschillende relevante kandidaatmodellen met elkaar vergeleken. De modellen waren opgebouwd uit schatters van verschillende bronnen, te weten grashoogtemetingen (Grashoogte), modelvoorspellingen (Groeimodel), reflectiemetingen (Reflectiemetingen) en basale groeidata (Groeidata). Binnen Groeidata zijn de afzonderlijke kenmerken meegenomen (groeiduur, stikstofbemestingsniveau, locatie en oogstdatum), aangezien

deze allen een significant effect op drogestofopbrengst hadden. Voor KTC Zegveld waren in 2016 geen CropScan metingen beschikbaar, waardoor deze locatie x jaar niet in de modellen is meegenomen. De kandidaatmodellen zijn vergeleken op statistische aspecten, zoals het percentage verklaarde variantie (R-kwadraat) en de residuele variantie. Om zicht te krijgen in de opbouw van de restvariantie is van de meest relevante variantiecomponenten de variantie geschat met een Mixed model. Hierbij is gebruik gemaakt is van de procedure REML uit Genstat (2013). Zie voor de gekozen variantiecomponenten en het inzicht waar deze keuzes toe bijdragen Tabel 9.

Tabel 9 Gekozen variantiecomponenten (rood) voor de analyse van de opbouw van residuele variantie met de procedure REML Genstat (2013) en het inzicht waar deze keuzes toe bijdragen.

Variantiecomponent	Inzicht
LOCATIE (representeert grondsoort)	
JAAR	
LOCATIE.JAAR	Systematische afwijking combinatie locatie.jaar
VELDJE	
LOCATIE.VELDJE	
JAAR.VELDJE	
LOCATIE.JAAR.VELDJE	Systematische afwijking van specifieke veldjes?
SNEDE	
JAAR.SNEDE	
LOCATIE.SNEDE	
LOCATIE.JAAR.SNEDE	Systematische afwijking van specifieke snede binnen locatie.jaar
LOCATIE.JAAR.SNEDE.NBEMESTING	Gecreëerde variatie in responsekenmerk door verschil in N-bemesting
LOCATIE.JAAR.SNEDE.GROEIDUUR	Gecreëerde variatie in responsekenmerk door verschil in groeiduur
LOCATIE.JAAR.SNEDE.NBEMESTING.GROEIDUUR	
LOCATIE.JAAR.SNEDE.VELDJE	Systematische afwijking van specifieke veldjes binnen snede binnen jaar binnen locatie (=restvariantie)

Alle kandidaatmodellen zijn onderling vergeleken, maar ook vergeleken met een Mixed model zonder verklarende termen, een zogenaamd 'leeg' model. Hierdoor was berekening van partiële R-kwadraten van alle variantiecomponenten mogelijk, bijvoorbeeld om te zien of verschillen in drogestofopbrengst die geïntroduceerd werden door de behandeling stikstofbemesting beter of slechter te verklaren waren dan verschillen die geïntroduceerd werden door de behandeling Groeiduur. De geanalyseerde schatters voor drogestofopbrengst, stikstofgehalte en verschillen in drogestofopbrengst (kandidaatmodellen) staan in Tabel 10.

Tabel 10 Geanalyseerde schatters voor drogestofopbrengst, stikstofgehalte en verschillen in drogestofopbrengst (kandidaatmodellen).

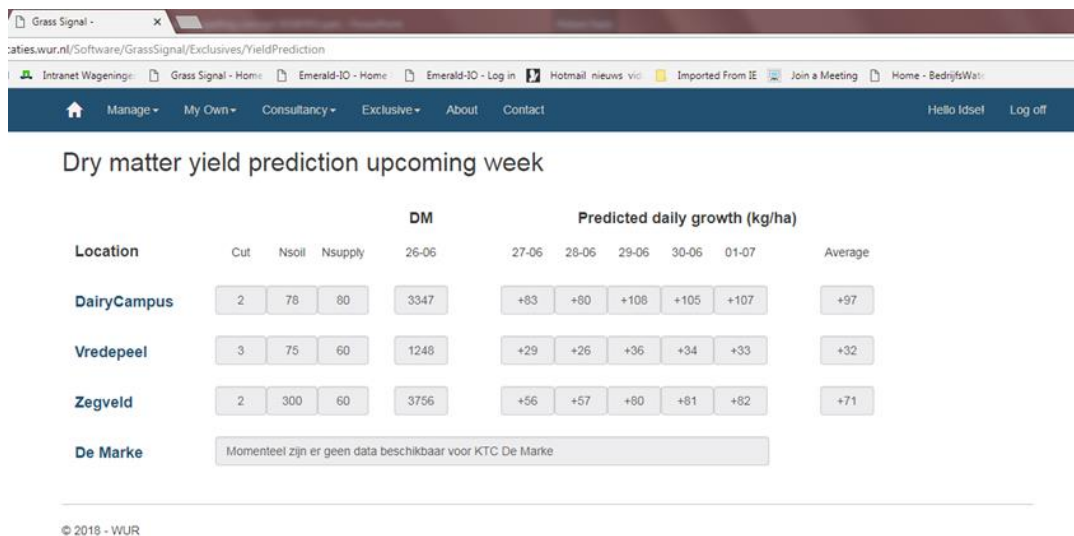
Schatter
Groeidata
Groeimodel
Grashoogte
Reflectiemetingen
Grashoogte + Groeidata
Grashoogte + Groeimodel
Reflectiemetingen + Grashoogte
Reflectiemetingen + Groeidata
Reflectiemetingen + Groeimodel

3.3 Webapplicatie grasgroeivoorspelling

Voor het voorspellen van grasgroei is een voorlopige webapplicatie gemaakt om automatische datakoppelingen voor bodemfysica en weerdata mogelijk te maken. Deze data zijn noodzakelijk om een bodemvochtbalans te kunnen berekenen. Op basis van beschikbaar bodemvocht werd de berekende grasopbrengst gecorrigeerd (zie paragraaf 2.3). De betreffende data was locatie specifiek. Voor de bodemfysica werd gebruik gemaakt van de BOFEK-kaart, welke afgeleid is van de 1:50.000 bodemkaart en de zogenaamd Staringreeks bouwstenen weergeeft voor de boven- en ondergrond. Voor de weerdata (historisch en verwachting) is gebruik gemaakt van data die geleverd werd door Nelen & Schuurmans ten behoeve van BeregeningsSignaal van ZLTO. BeregeningsSignaal maakt gebruik van een eenvoudig bodemvochtbalans model van Wageningen Livestock Research. Voor de historische neerslag is gebruik gemaakt van radardata (grid van 2,4 km).

Met GRAS2007 werd op dagbasis de optimale groei berekend, waarbij een overmaat of tekort aan vocht de groei reduceerde. Grasgroei kreeg via een http-reply in xml-vorm de benodigde input van de webservice van BeregeningsSignaal. Het betrof een eenvoudige koppeling op afstand, waarbij beide programma's ongewijzigd bleven. Voor praktijktoepassing is het de bedoeling dat de applicaties onder het internetplatform Akkerweb gaan draaien, zodat de programma toegankelijker worden, beter geïntegreerd worden en de koppelingen gemakkelijker te realiseren zijn.

De opgave van de stikstofgift en het oogsttijdstip per snede werden als input voor GRAS2007 georganiseerd via een website getiteld GrasSignaal. Deze website werd ook gebruikt om de resultaten van de voorspelde grasgroei te tonen. De website was toegankelijk via zowel een interne login voor het regelen van de benodigde inputs en het kunnen bekijken van de resultaten, als een externe login voor projectteamleden, Veeteelt (zie Afbeelding 4) en de opdrachtgevers om de resultaten van de proefvelden real time te kunnen volgen.



Afbeelding 4 Wekelijkse grasgroeivoorspelling voor publicatie in Veeteelt met GrasSignaal.

4 Resultaten

4.1 Opbrengst en kwaliteit gras ('ground truth')

De maaiopbrengsten vormde een belangrijke basis voor de analyse van de verschillende schatters voor drogestofopbrengst en stikstofgehalten. In Tabel 11 staan de resultaten voor deze variabelen per locatie per proefjaar, per behandeling en per snede. Daarbij staat voor drogestofopbrengst de jaaropbrengst vermeld en voor stikstofgehalte het gemiddelde over de sneden.

Tabel 11 Drogestofopbrengst (kg drogestof per ha) en stikstofgehalte (g per kg drogestof) per locatie per proefjaar, per behandeling, per snede en respectievelijk de som van en het gemiddelde over de sneden.

Jaar	Groei-duur	N-bemesting	Sned e 1		Sned e 2		Sned e 3		Sned e 4		Sned e 5		Sned e 6		Totaal		
			DS	N	DS	N	DS	N	DS	N	DS	N	DS	N	DS som	N gemiddeld	
<i>Dairy Campus</i>																	
2016	T4	N0	1930	14.3	631	16.6	604	21.0	526	25.6	289	28.1			3980		21.1
		N1	4187	14.8	1679	21.7	1750	20.1	1523	23.5	410	30.9			9549		22.2
		N2	6592	17.9	2114	29.1	3126	22.9	2450	-	490	37.4			14773		26.8
2017	T4	N0	449	17.5	1795	14.5	1008	16.8	728	18.6	724	18.7			4705		17.2
		N1	2104	20.0	4326	15.7	1783	19.0	1463	17.0	1123	20.7			10799		18.5
		N2	4179	25.0	5364	18.8	2811	24.3	2802	22.1	1743	21.5			16899		22.3
<i>Vredepeel</i>																	
2016	T4	N0	898	13.8	1640	15.3	614	13.5	437	22.7	573	26.0	378	28.8	4540		20.0
		N1	2481	14.9	2727	17.2	1783	13.8	1441	20.9	1290	22.7	666	33.5	10389		20.5
		N2	3495	21.2	3505	25.2	2844	18.1	2222	26.7	1609	23.9	879	38.2	14555		25.5
2017	T4	N0	756	13.6	859	16.1	511	21.7	584	25.4	641	33.7			3351		22.1
		N1	2226	16.6	2047	17.1	1315	20.6	1498	23.9	1052	29.5			8138		21.5
		N2	3130	28.3	2853	26.6	1551	28.2	2012	29.8	1181	33.5			10726		29.3
<i>KTC Zegveld</i>																	
2016	T4	N0	3634	20	4336	16	1557	26	975	34	463	40			10965		27.2
		N1	5186	22	4407	21	2223	31	1409	36	622	43			13847		30.6
		N2	5575	22	5350	21	2338	32	1385	37	635	44			15283		31.3
2017	T4	N0	2909	22.9	3701	22.7	2341	28.5	2394	28.0	781	36.1			12126		27.6
		N1	3735	25.0	4379	24.5	2403	32.4	2616	34.5	782	37.2			13915		30.7
		N2	4124	27.4	5122	29.3	2778	35.9	2854	36.5	715	37.5			15592		33.3

Opvalt dat het effect van stikstofbemesting op Dairy Campus en Vredepeel aanmerkelijk groter was dan op KTC Zegveld door de lagere stikstoflevering van respectievelijk de klei- en zandgrond ten opzichte van veengrond. In 2017 had het N0-object op KTC Zegveld door de relatief hoge stikstoflevering zelfs een hoger opbrengstniveau dan het N2-object op Vredepeel. Ook de stikstofgehalten van het gras op KTC Zegveld waren in verhouding hoger.

De opbrengsten zijn gerelateerd aan de beschikbaarheid van vocht en daarmee aan de hoeveelheid neerslag. Om een beeld te krijgen van de hoeveelheden neerslag en de verdeling over het groeiseizoen staat in Tabel 12 de hoeveelheid neerslag per locatie per maand per jaar.

Tabel 12 Neerslag per locatie per maand in 2016 en 2017 (mm). Bron KNMI op basis van de neerslagstations Leeuwarden, IJsselsteyn (L) en Zegveld.

	2016			2017		
	Dairy Campus	Vredepeel	KTC Zegveld	Dairy Campus	Vredepeel	KTC Zegveld
Januari	82	90	148	60	54	75
Februari	59	93	102	58	64	83
Maart	63	43	68	56	70	58
April	56	56	98	30	17	33
Mei	35	51	77	30	27	43
Juni	84	277	178	95	48	44
Juli	75	62	75	105	109	161
Augustus	76	47	56	114	62	75
September	25	22	46	151	69	128
Oktober	57	50	67	84	38	84
November	70	92	105	98	55	90
December	33	28	19	105	100	152
Totaal	714	910	1038	985	713	1025

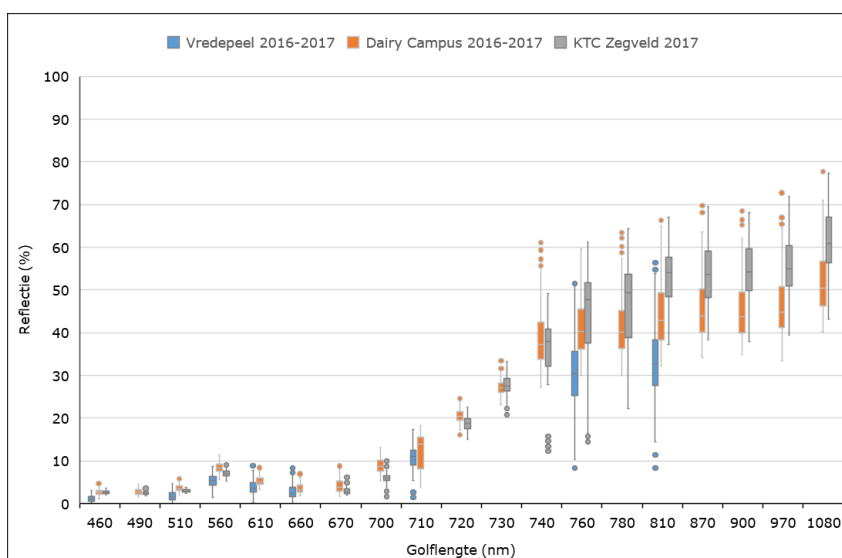
In 2016 viel op Dairy Campus aanmerkelijk minder neerslag dan op beide andere locaties. In juni hier zijn niet de extreme zware buien gevallen zoals dat op Zegveld en op Vredepeel wel het geval was. Op Zegveld leidde dat tot dermate veel schade aan de graszode (zuurstofstress in de wortelzone) dat het proefveld in 2017 niet op dezelfde plaats kon worden voortgezet. September was daarentegen een relatief droge maand. In 2017 waren april, mei relatief droog, juli was relatief nat en op Vredepeel waren augustus, september en oktober relatief droog.

Gedurende het onderzoek is de botanische samenstelling van de graszode per proefveld gemonitord. In Bijlage 3 staan de resultaten van de botanische kartering op de drie proeflocaties en beide proefjaren. Gestart is met een kartering bij aanvang van de proef en vervolgens een kartering in het najaar van 2016 en 2017. De resultaten verschilden voor Dairy Campus en Vredepeel relatief weinig tussen de metingen. Op KTC Zegveld was het aandeel Engels raai op een aantal veldjes aanzienlijk gedaald door wateroverlast. Hierop is het proefveld in 2017 verplaatst.

4.2 Reflectie vs. opbrengst en kwaliteit

Resultaten reflectiemetingen

De gemeten reflectiepercentages per golflengte staan in Figuur 6. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de drie locaties (grondsoorten) en is de variatie tussen de metingen weergegeven met uiterste waarden en de mediaan.

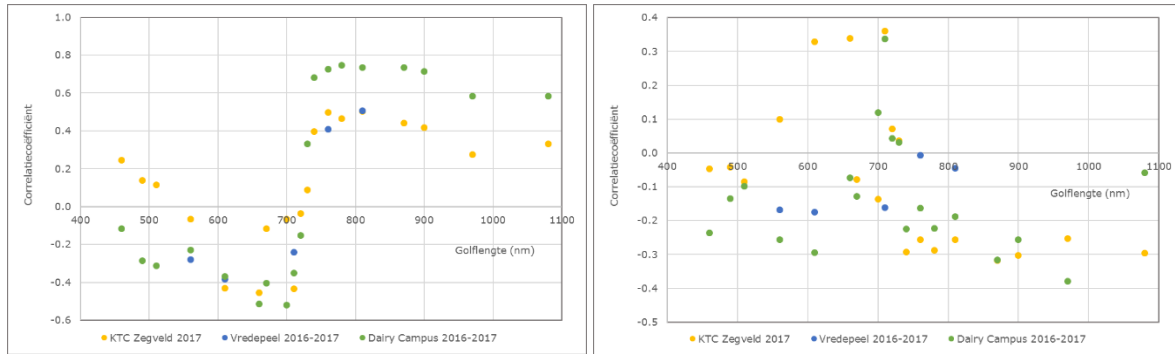


Figuur 6 Percentage lichtreflectie afhankelijk van de golflengte, waarbij de uiterste waarden en de mediaan zijn weergegeven.

Figuur 7 laat globaal een zelfde verloop van reflectie spectra zien als in Figuur 1 en 2 in Hoofdstuk 2; een kleine piek in het percentage lichtreflectie bij een golflengte 560 nm, vervolgens een dal bij 660-670 nm en vanaf 710 nm een relatief sterke stijging van het reflectiepercentage tot 810 nm, waarna de stijging sterk afneemt. Per locatie zijn de reflectiepercentages verschillend, vooral in het nabij infrarood en het infrarood gebied.

Correlatie golflengtes vs. drogestofopbrengst en stikstofgehalte

Om inzicht te krijgen in welke golflengtes er het meest toe doen, zijn de correlaties tussen de reflectiepercentages van de golflengtes en de drogestofopbrengst respectievelijk stikstofgehalte nader geanalyseerd. De resultaten staan in Figuur 7 en daarbij is onderscheid gemaakt tussen de drie locaties.

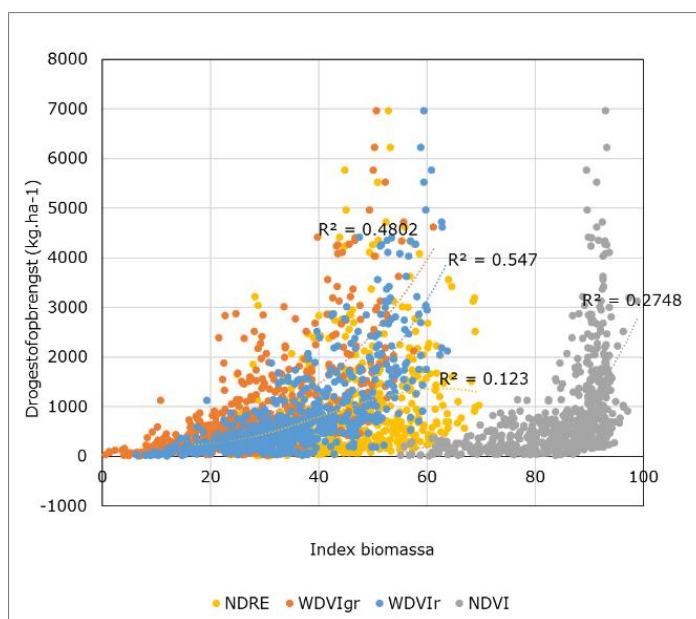


Figuur 7 Correlatie tussen reflectiepercentages en drogestofopbrengst (links) respectievelijk stikstofgehalte (rechts) per golflengte.

Voor de drogestofopbrengst worden voor de golflengten tussen 600 en 900 nm correlatiecoëfficiënten gevonden tussen de -0,60 en +0,80. Tussen de grondsoorten en de golflengtes zijn de correlaties verschillend. Het gebied tussen 600 en 900 nm lijkt het meest bruikbaar voor het toepassen van reflectiemetingen. Voor N-gehalte zijn de correlatiecoëfficiënten aanmerkelijk lager. Deze liggen tussen -0,40 en +0,40. Bovendien is het beeld niet eenduidig voor de golflengtes tussen 400 en 720 nm aangezien in dit gebied per golflengte zowel positieve als negatieve correlaties voorkomen.

Vertaling reflectiepercentages in vegetatie-indexen

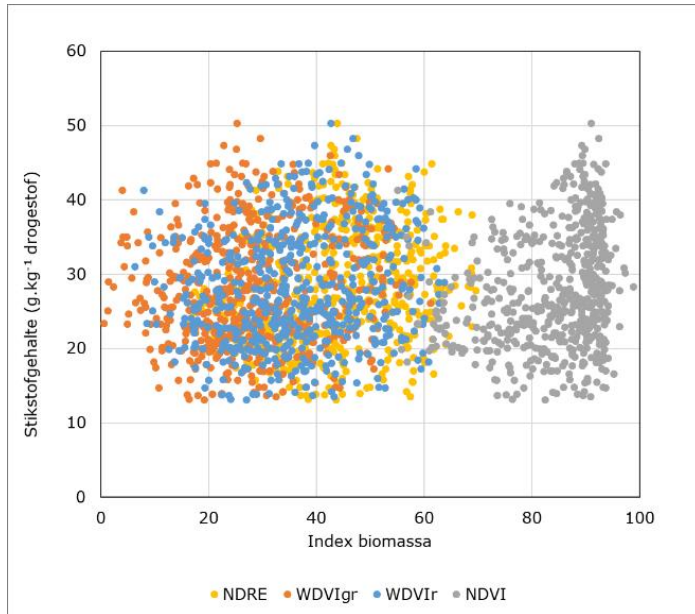
In Figuur 8 zijn de berekende waarden voor de vegetatie-indexen NDRE, $WDVI_{red}$, $WDVI_{green}$ en NDVI uitgezet tegen de drogestofopbrengst voor de drie proeflocaties en beide proefjaren (2016-2017).



Figuur 8 Reflectiepercentages voor de vegetatie-indexen NDRE, $WDVI_{green}$, $WDVI_{red}$ en NDVI versus de drogestofopbrengst voor de drie proeflocaties en beide proefjaren (2016-2017). Per vegetatie-index staat het percentage verklaarde variantie vermeld.

De relatie tussen de waarden van de vegetatie-indexen en de drogestofopbrengst is exponentieel, waardoor reeds een verzadigingseffect optreedt bij opbrengstniveaus hoger dan 1500 à 2000 kg drogestof per ha. Het verzadigingseffect was voor NDVI en NDRE sterker dan voor WDWI, waardoor voor deze indexen het percentage verklaarde variantie aanmerkelijk lager was.

In Figuur 9 zijn de waarden van de vegetatie-indexen NDRE, WDWI_{red}, WDWI_{green} en NDVI uitgezet tegen het stikstofgehalte in vers gras.



Figuur 9 Reflectiepercentages voor de vegetatie-indexen NDRE, WDWI_{green}, WDWI_{red} en NDVI versus het stikstofgehalte in vers gras voor de drie proeflocaties en beide proefjaren (2016-2017).

Figuur 9 laat een volledige spreiding in resultaten zien, wat betekent dat er nauwelijks perspectief is voor het vinden van een bruikbare relatie.

Statistische analyse Ln drogestofopbrengst en stikstofgehalte

De reflectiepercentages voor afzonderlijke golflengtes en de waarden voor de vegetatie-indexen zijn statistisch getoetst voor Ln droge stofopbrengst, stikstofgehalte, het verschil in Ln drogestofopbrengst en het verschil in stikstofgehalte tussen veldjes. De analyse is uitgevoerd over de drie locaties heen met de vegetatie-indexen en individuele golflengtes als enkelvoudige schatter en in combinatie met Groeidata. Als resultaat van de analyse staan de percentages verklaarde variantie (R^2) en de P-waarden voor een 95% betrouwbaarheidsinterval in respectievelijk Tabel 13, 14, 15 en 16.

Tabel 13 Percentages verklaarde variantie (R^2) en overschrijdingskansen voor een 95% betrouwbaarheidsinterval (P -waarde) voor vegetatie-indexen en afzonderlijke golflengtes als enkelvoudige en gecombineerde schatter met basale groeidata (locatie, stikstofbemestingsniveau, aantal groeidagen en oogstdag) voor Ln drogestofopbrengst.

R^2	Df	560	760	810	CIred	NDRE	NDVI	WDVI _{gr}	WDVI _r
<i>Enkelvoudige schatter</i>									
54.9	2	-	-	-	-	-	-	-	< 0.001
51.2	2	-	-	< 0.001	-	-	-	-	-
50.1	2	-	< 0.001	-	-	-	-	-	-
48.4	2	-	-	-	-	-	-	< 0.001	-
39.3	2	-	-	-	-	-	< 0.001	-	-
24.6	2	-	-	-	< 0.001	-	-	-	-
18.3	2	-	-	-	-	< 0.001	-	-	-
0.01	2	0.778	-	-	-	-	-	-	-
<i>Combinatie met groeidata</i>									
78.0	12	-	-	-	-	-	-	-	< 0.001
77.5	12	-	< 0.001	-	-	-	-	-	-
77.5	12	-	-	< 0.001	-	-	-	-	-
75.3	12	-	-	-	-	-	< 0.001	-	-
74.6	12	-	-	-	-	< 0.001	-	-	-
74.5	12	-	-	-	-	-	-	< 0.001	-
72.4	12	-	-	-	< 0.001	-	-	-	-
70.5	12	0.259	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 14 Percentages verklaarde variantie (R^2) en overschrijdingskansen een 95% betrouwbaarheidsinterval (P -waarde) voor vegetatie-indexen en afzonderlijke golflengtes als enkelvoudige en gecombineerde schatter met basale groeidata (locatie, stikstofbemestingsniveau, aantal groeidagen en oogstdag) voor stikstofgehalte.

R^2	Df	560	760	810	CIred	NDRE	NDVI	WDVI _{gr}	WDVI _r
<i>Enkelvoudige schatter</i>									
7.4	2	< 0.001	-	-	-	-	-	-	-
6.3	2	-	-	-	-	-	< 0.001	-	-
4.1	2	-	-	-	-	< 0.001	-	-	-
3.4	2	-	-	-	< 0.001	-	-	-	-
2.4	2	-	-	-	-	-	-	-	< 0.001
1.7	2	-	-	-	-	-	-	0.002	-
0.8	2	-	-	0.028	-	-	-	-	-
0.7	2	-	0.049	-	-	-	-	-	-
<i>Combinatie met groeidata</i>									
72.7	12	< 0.001	-	-	-	-	-	-	-
71.9	12	-	-	-	-	-	< 0.001	-	-
71.6	12	-	-	-	-	< 0.001	-	-	-
71.5	12	-	-	-	< 0.001	-	-	-	-
70.6	12	-	-	-	-	-	-	-	0.032
70.6	12	-	-	0.072	-	-	-	-	-
70.5	12	-	-	-	-	-	-	0.205	-
70.4	12	-	0.375	-	-	-	-	-	-

Tabel 15 Percentages verklaarde variantie (R^2) en overschrijdingskansen een 95% betrouwbaarheidsinterval (P -waarde) voor vegetatie-indexen en afzonderlijke golflengtes als enkelvoudige en gecombineerde schatter met basale groeidata (locatie, stikstofbemestingsniveau, aantal groeidagen en oogstdag) voor verschil in Ln drogestofopbrengst.

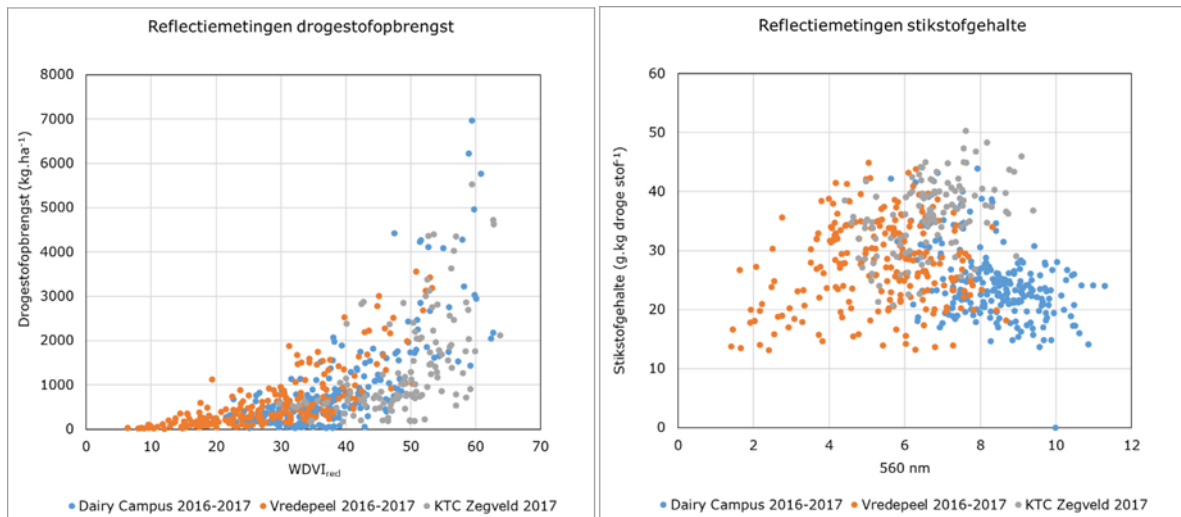
R^2	Df	560	760	810	NDVI	NDRE	Clred	CCCI	WDVI _{gr}	WDVI _r
<i>Enkelvoudige schatter</i>										
73	2	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0.001
73	2	-	-	-	-	-	-	-	< 0.001	-
71	2	-	-	-	-	< 0.001	-	-	-	-
68	2	-	-	< 0.001	-	-	-	-	-	-
67	2	-	< 0.001	-	-	-	-	-	-	-
66	2	-	-	-	< 0.001	-	-	-	-	-
65	2	-	-	-	-	-	-	< 0.001	-	-
39	2	-	-	-	-	-	< 0.001	-	-	-
21	2	< 0.001	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Combinatie met groeidata</i>										
79	12	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0.001
78	12	-	-	-	-	-	-	-	< 0.001	-
77	12	-	-	-	-	< 0.001	-	-	-	-
76	12	-	-	< 0.001	-	-	-	-	-	-
75	12	-	< 0.001	-	-	-	-	-	-	-
74	12	-	-	-	< 0.001	-	-	-	-	-
73	12	-	-	-	-	-	-	< 0.001	-	-
62	12	-	-	-	-	-	< 0.001	-	-	-
56	12	< 0.001	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 16 Percentages verklaarde variantie (R^2) en overschrijdingskansen een 95% betrouwbaarheidsinterval (P -waarde) voor vegetatie-indexen en afzonderlijke golflengtes als enkelvoudige en gecombineerde schatter met basale groeidata (locatie, stikstofbemestingsniveau, aantal groeidagen en oogstdag) voor verschil in stikstofgehalte.

R	Df	560	760	810	NDVI	NDRE	Clred	CCCI	WDVI _{gr}	WDVI _r
<i>Enkelvoudige schatter</i>										
2.55	2	-	-	< 0.001	-	-	-	-	-	-
2.26	2	-	< 0.001	-	-	-	-	-	-	-
2.25	2	-	-	-	-	-	-	-	< 0.001	-
2.05	2	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0.001
1.31	2	-	-	-	0.003	-	-	-	-	-
0.77	2	-	-	-	-	0.019	-	-	-	-
0.34	2	-	-	-	-	-	-	0.084	-	-
0.12	2	0.19	-	-	-	-	-	-	-	-
< 0.001	2	-	-	-	-	-	0.494	-	-	-
<i>Combinatie met groeidata</i>										
42.7	12	-	-	< 0.001	-	-	-	-	-	-
42.2	12	-	< 0.001	-	-	-	-	-	-	-
42.1	12	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0.001
41.9	12	-	-	-	-	-	-	-	< 0.001	-
39.7	12	-	-	-	< 0.001	-	-	-	-	-
39.6	12	-	-	-	-	< 0.001	-	-	-	-
39.1	12	-	-	-	-	-	-	0.001	-	-
38.1	12	-	-	-	-	-	0.142	-	-	-
37.9	12	0.953	-	-	-	-	-	-	-	-

Voor drogestofopbrengst en verschil in drogestofopbrengst was WDVred de beste schatter, zowel als enkelvoudige schatter als gecombineerd met basale groeidata. Voor stikstofgehalte was dit golflengte 560 (de kleur groen in het zichtbare licht). De groeidata verbeterde de schatting voor drogestofopbrengst en N-gehalte aanzienlijk. Voor stikstofgehalte is zonder groeidata nauwelijks sprake van enige voorspelling en dit geldt tevens voor het verschil in stikstofgehalte.

De reflectiemetingen voor drogestofopbrengst en stikstofgehalte op basis van respectievelijk WDVred en 560 nm staan in Figuur 10.

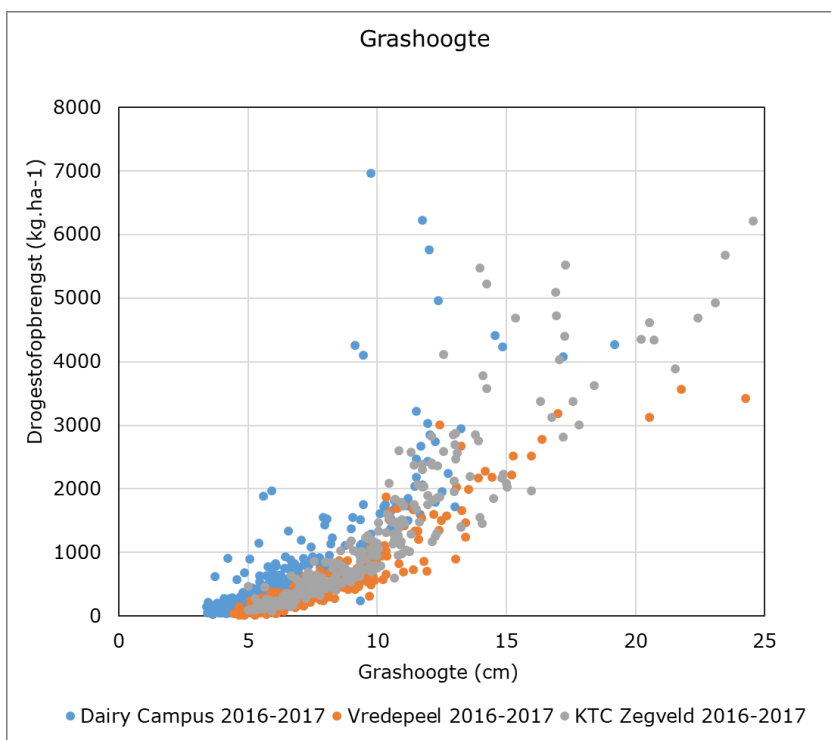


Figuur 10 Reflectiemetingen in relatie tot drogestofopbrengst op basis van $WDVI_{red}$ en in relatie tot het stikstofgehalte in vers gras op basis van golfengte 560 nm voor Dairy Campus en Vredepeel (2016-2017) en KTC Zegveld (2017).

Voor zowel drogestofopbrengst als stikstofgehalte valt op dat per locatie de reflectiewaarden voor respectievelijk $WDVI_{red}$ en 560 nm verschillen. Vooral voor Vredepeel werden relatief lagere reflectiewaarden voor opbrengsten en gehalten gevonden dan op de Dairy Campus en KTC Zegveld.

4.3 Grashoogte vs. opbrengst

De resultaten van de grashoogtemetingen voor de drie proeflocaties en beide proefjaren in relatie tot de gemeten drogestofopbrengst door middel van maaien staan in Figuur 11.



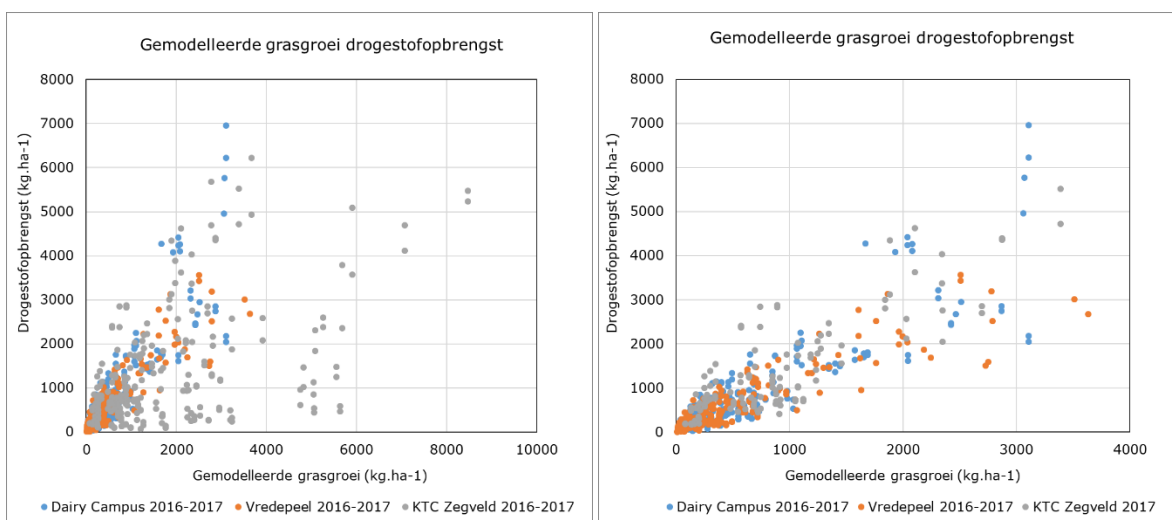
Figuur 11 Grashoogte (cm) in relatie tot drogestofopbrengst voor Dairy Campus, Vredepeel en KTC Zegveld en beide proefjaren (2016-2017).

Evenals voor reflectiemetingen trad voor grashoogte een verschuiving op in de relatie met drogestofopbrengst tussen locaties en nam de variatie in meetresultaten toe bij het hoger worden van de opbrengsten. Bij vergelijkbare opbrengsten werden voor Vredepeel hogere grashoogtes gemeten dan voor Dairy Campus. Op Dairy Campus was de zode iets opener en was het Engels raaipercentage iets lager dan op Vredepeel (zie Bijlage 3). De resultaten van KTC Zegveld lagen tussen die van Dairy Campus en Vredepeel in. Op Zegveld was het bezettingspercentage van grassen relatief hoog, maar was het Engels raai-aandeel aanzienlijk lager.

4.4 Groeimodel vs. opbrengst en kwaliteit

4.4.1 Drogestofopbrengst en stikstofgehalte op snedebasis

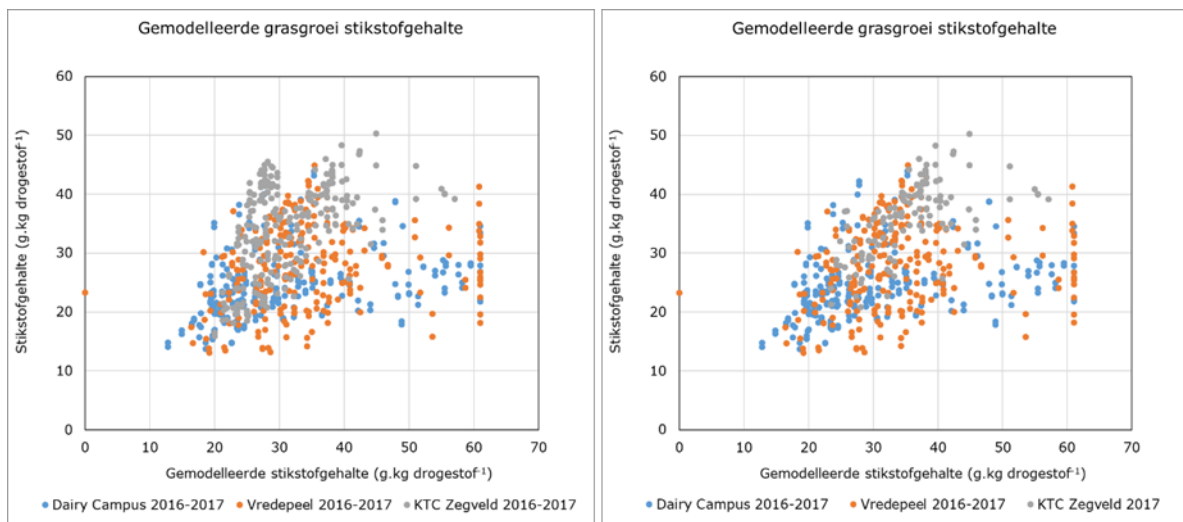
De resultaten van de berekende grasgroei in relatie tot de gemeten drogestofopbrengst voor de drie proeflocaties en beide proefjaren staan in Figuur 12. Hierbij is onderscheid gemaakt in de resultaten voor Zegveld in- en exclusief het meetjaar 2016 aangezien de sterke vernatting eind juni 2016 de resultaten sterk heeft beïnvloed. Dit betrof vooral de tweede snede, maar ook latere sneden. Vanwege de grote invloed die stikstof heeft op de voorspelde grasgroei, is de grasgroei berekend op basis van de werkelijk gemiddelde stikstoflevering per locatie per jaar (zie paragraaf 4.5.3).



Figuur 12 Gemodelleerde grasgroei in relatie tot drogestofopbrengst voor Dairy Campus, Vredepeel en KTC Zegveld en beide proefjaren (2016-2017). In de linker grafiek is dit inclusief 2016 voor KTC Zegveld waarin de meetresultaten verstoord zijn door sterke vernatting en in de rechter grafiek is dit exclusief 2016 zonder deze verstoring.

Zonder KTC Zegveld 2016 laten de resultaten een redelijk verband zien tussen de gemodelleerde grasopbrengsten en de werkelijk gemeten grasopbrengsten. Ook het groeimodel liet bij hoge grasopbrengsten grotere afwijkingen zien. Door de vernatting op KTC Zegveld in 2016 werd de tweede snede laat geoogst, omdat door zowel de slechte draagkracht van de graszode als de sterke groeireductie, de oogst uitgesteld moest worden. Dit betekende voor het groeimodel een relatief lange groeiduur, die tot uiting kwam in zeer hoge grasopbrengsten. Doordat het bodemvochtmodel geen relatief natte situaties kon benaderen (hoger dan veldcapaciteit, zie volgende paragraaf), kwam vernatting niet tot uiting in groeireductie. Verder spelen in de afwijkingen de benadering van het stikstofleverend vermogen van de grond ook een belangrijke rol (zie paragraaf 4.4.3 en paragraaf 5.3).

De resultaten van het groeimodel voor wat betreft het stikstofgehalte staan in Figuur 13.

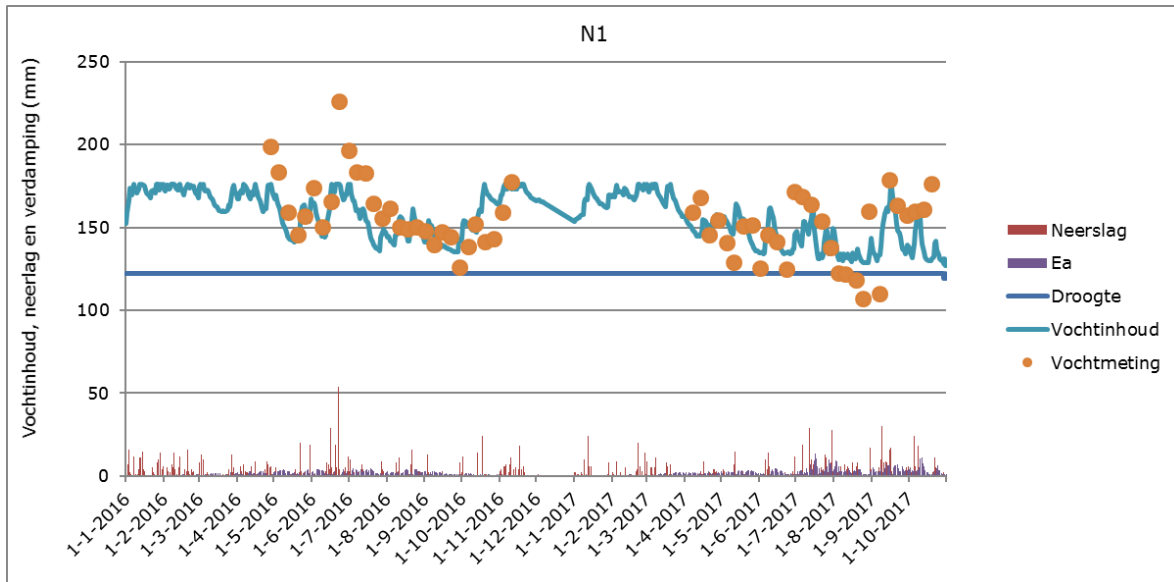


Figuur 13 Gemodelleerde grasgroei in relatie tot stikstofgehalte voor Dairy Campus, Vredepeel en KTC Zegveld en beide proefjaren (2016-2017). In de linker grafiek is dit inclusief 2016 voor KTC Zegveld waarin de meetresultaten verstoord zijn door sterke vernatting en in de rechter grafiek is dit exclusief 2016 zonder deze verstoring.

De resultaten laten een grote spreiding zien in resultaten, wat aangeeft dat de relatie tussen de modelberekening en de geanalyseerde hoeveelheid zeer grof is. De spreiding in resultaten is voor Vredepeel en Dairy Campus groter dan voor KTC Zegveld. Zie verder Hoofdstuk Discussie.

4.4.2 Benadering bodemvochttoestand

Een belangrijk aspect in de modelmatige schatting van grasgroei is de reductie van opbrengst door een suboptimale vochtvoorziening (zie paragraaf 2.3). Een voorbeeld van de resultaten van een berekende bodemvochtbalans staat in Figuur 18. Het betreft een bodemvochtbalans voor het proefperceel op KTC Zegveld (2016-2017) van de subbehandeling Stikstofbemesting N1. Het resultaat van de wekelijks genomen vochtmonsters van de bovengrond zijn ter vergelijking eveneens in de grafiek weergegeven. Daarbij zijn neerslag en verdamping weergegeven, omdat die in sterke mate het verloop van de bodemvochttoestand in de tijd bepalen; een neerslagoverschot geeft een toename van de hoeveelheid vocht en een verdampingsoverschot geeft een afname van de hoeveelheid vocht. De horizontale lijn geeft aan bij welke bodemvochttoestand de beschikbaarheid van vocht beperkend is voor gewasverdamping en groei. Dit is de hoeveelheid vocht in de wortelzone die overeenkomt met een zuigspanning ter grootte van $pF=2,7$. In Bijlage 4 is per locatie per stikstofbehandeling de bodemvochtbalans conform Figuur 14 weergegeven.

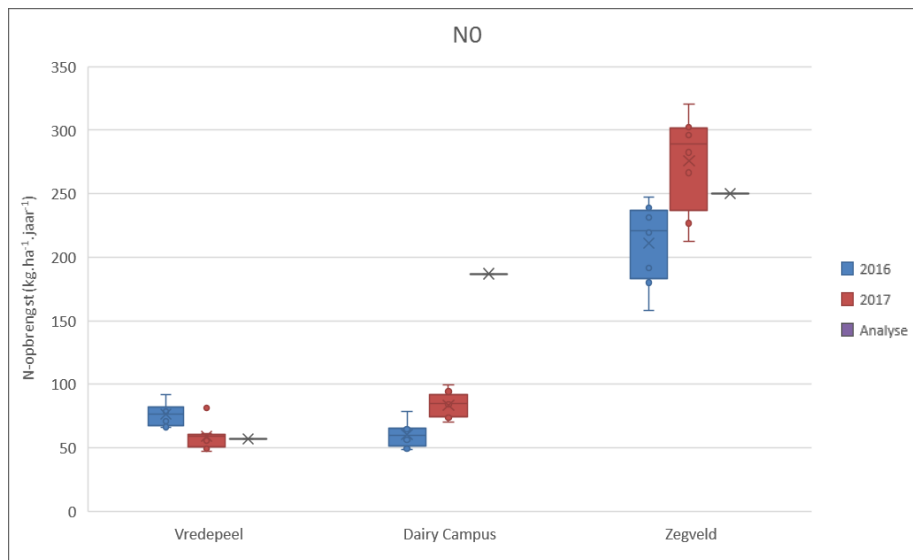


Figuur 14 Vochtinhoud van de wortelzone, neerslag en verdamping (Ea) op dagbasis (mm) in 2016 en 2017. Daarbij de kritieke lijn waarbij droogte zichtbaar wordt (hoeveelheid vocht in de wortelzone die overeenkomt met een zuigspanning van $pF=2,7$) en resultaten van wekelijkse vochtmetingen.

In relatief natte perioden (vooral eind juni 2016) was op alle drie de locaties de gemeten vochtinhoud van de wortelzone aanmerkelijk hoger dan de berekende vochtinhoud. Dit komt omdat in het eenvoudige vochtmodel een maximale vochtinhoud werd aangehouden ter grootte van veldcapaciteit. Dit is de hoeveelheid vocht in de wortelzone die overeenkomt met een zuigspanning ter grootte van $pF=2,0$ (zie verder Hoofdstuk Discussie). Doordat relatief natte situaties niet goed in het model werden benaderd, werd vooral voor Dairy Campus de vochttoestand onderschat. Dit had vervolgens een onderschatting van de modelmatig berekende grasgroei tot gevolg. Voor zeer natte perioden met wateroverlast werd daarentegen de groei overschat, doordat groeireductie door zuurstofstress onvoldoende werd meegenomen. Zie verder Hoofdstuk Discussie.

4.4.3 Stikstoflevering bodem

In de modelmatige schatting van grasgroei speelt de stikstoflevering van de bodem een grote rol. De berekende stikstoflevering van de bodem op basis van de stikstofopbrengst van de onbemeste velden, week sterk af van de geschatte NLV (volgens bodemanalyse) en was verschillend tussen jaren en tussen herhalingen. In Bijlage 5 staat de stikstofopbrengst van de onbemeste velden per groeiduur (T1-T4) per locatie per proefjaar. In Figuur 15 zijn deze resultaten grafisch weergegeven om de verschillen tussen de proefjaren en de variatie tussen veldjes inzichtelijk te maken. Daarbij is de NLV getoond, als resultaat van de bodemanalyses die bij aanvang van het onderzoek in 2016 zijn genomen.

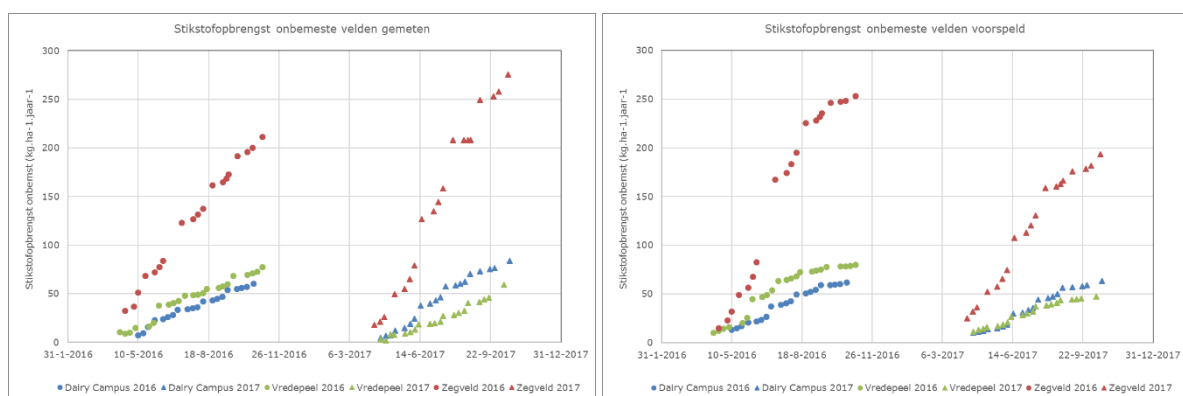


Figuur 15 Stikstofopbrengst onbemeste velden per locatie en per proefjaar en NLV per locatie op basis van bodemanalyses genomen in 2016.

Uit Figuur 15 blijkt dat voor Dairy Campus dat de geanalyseerde NLV aanmerkelijk hoger was (>100 kg per ha per jaar) dan de werkelijk gerealiseerd stikstofopbrengst. Daarbij was het verschil in gerealiseerde stikstofopbrengsten tussen beide proefjaren aanzienlijk.

Vanwege de grote afwijking tussen de werkelijke stikstoflevering en de NLV volgens de bodemanalyse, is voor Dairy Campus de grasgroei berekend op basis van de werkelijk gemiddelde stikstoflevering in 2016. Dit betrof voor 2016 dus een correctie achteraf en voor 2017 een uitgangspunt.

Om een beeld te krijgen van de stikstoflevering gedurende het groeiseizoen is in Figuur 16 zowel de gemeten als de modelmatig voorspelde stikstoflevering van alle acht N0-veldjes uitgezet tegen de tijd. Het betreft stikstofopbrengsten van alle Groeiduurniveaus (T1-T4), zodat niet alleen de eindopbrengsten, maar ook de tussenopbrengsten van een snede zijn weergegeven.

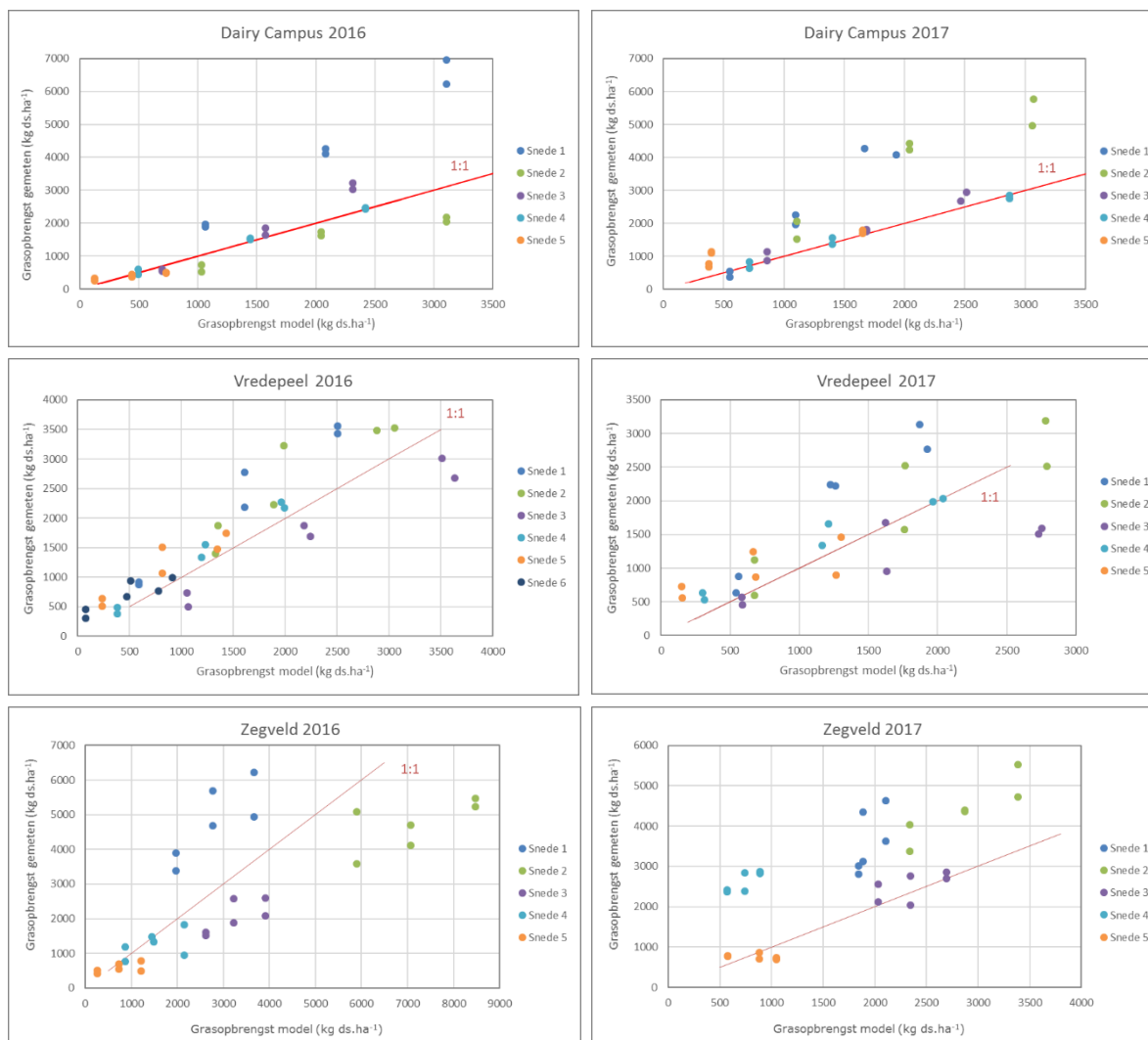


Figuur 16 Cumulatieve stikstofopbrengst onbemeste veldjes (N0) 2016 en 2017, gemeten aan de hand van maaiofbrengsten (links) en modelmatig voorspeld met Gras2007 (rechts).

Opvalt dat voor zowel de gemeten als de voorspelde stikstofopbrengsten het verloop van een S-curve (sigmoïde functie) laten zien. Voor Dairy Campus kwamen de uiteindelijke niveaus en de curves redelijk overeen. Voor 2017 werd de werkelijke stikstoflevering enigszins onderschat. Voor Vredepeel hadden de metingen in 2016 een meer lineair verloop dan die van de voorspelde stikstoflevering en voor 2017 kwamen het verloop van de metingen en de voorspellingen redelijk overeen. Voor Zegveld werd in 2016 de stikstoflevering overschat, mogelijk door stagnatie van de groei eind juni door van

wateroverlast. In 2017 werd de stikstoflevering aanzienlijk onderschat, mogelijk door een te sterke reductie van groei door overschatting van droogte.

In Figuur 17 is per snede per locatie per jaar de modelmatig berekende grasgroei uitgezet tegen de gemeten grasopbrengst voor Groeiduur T4 en Stikstofbemesting (N0-N2.)

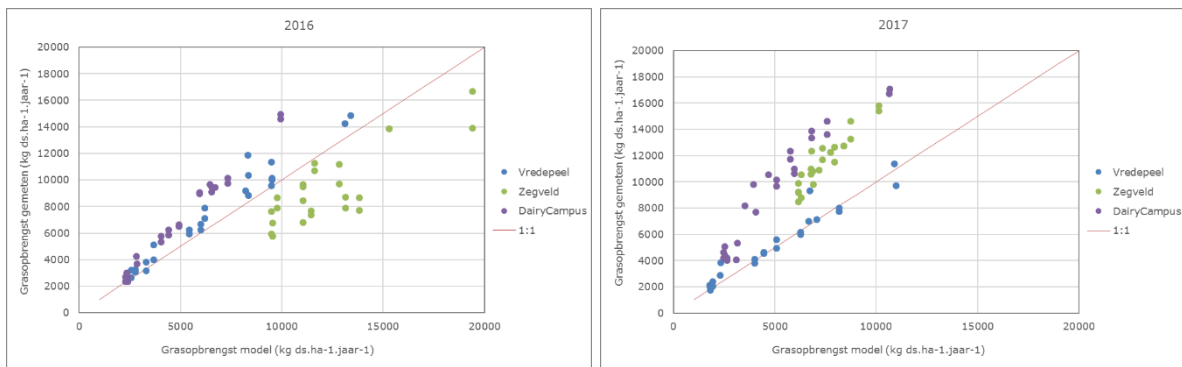


Figuur 17 Modelmatig berekende grasgroei per snede per locatie per jaar uitgezet tegen de gemeten grasopbrengst voor Groeiduur T4 en Stikstofbemesting (N0-N2).

De vergelijking tussen de modelmatig berekende grasgroei en de gemeten grasgroei laat voor Dairy Campus in 2016 vooral een aanzienlijke onderschatting van de gemeten grasgroei zien voor snede 1 en in 2017 voor snede 1 en 2. Vredepeel gaf voor beide proefjaren een meer gespreid beeld van de resultaten te zien, met in 2016 een overschatting van snede 1 en 2 en in 2017 een onderschatting van snede 1 en een overschatting van snede 3. Voor Zegveld werd in 2016 de gemeten opbrengst van snede 1 onderschat en van snede 2 en 3 overschat. In 2017 werd de gemeten opbrengst van snede 1, 2 en 4 onderschat. Voor Zegveld lijken de afwijkingen verband te houden met de overschatting van de stikstoflevering in 2016 en de onderschatting van de stikstoflevering in 2017.

4.4.4 Drogestofopbrengst op jaarbasis

De jaaropbrengsten per locatie per proefjaar zijn weergegeven in Figuur 18 om te zien hoe deze opbrengsten worden voorspeld. Verschillen tussen sneden zouden weg kunnen vallen of elkaar juist kunnen versterken.



Figuur 18 Cumulatie van modelmatig berekende snede opbrengsten per locatie per jaar (links 2016 en rechts 2017) voor de gemiddelden per veldje van alle combinaties van Groeiduur T1-T4 en Stikstofbemesting N0-N2.

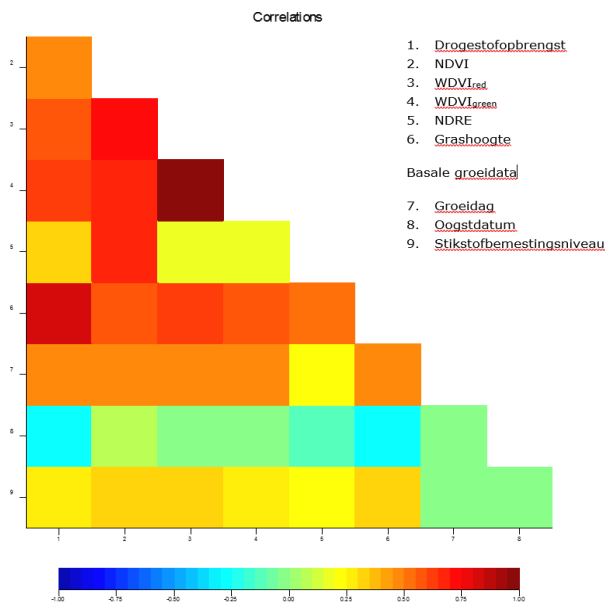
Voor Vredepeel 2017 werden de jaaropbrengsten goed voorspeld, ondanks de spreiding in resultaten voor de individuele sneden (Figuur 17). Voor Dairy Campus 2016 en 2017 werden de opbrengsten onderschat door een overschatting van vochtlimitering. Voor Zegveld 2016 waren de berekende opbrengsten hoger dan de metingen door een overschatting van de stikstoflevering. In 2017 gaf een onderschatting van de stikstoflevering lagere modelopbrengsten dan de gemeten opbrengsten.

4.5 Combinaties van schatters vs. opbrengst en kwaliteit

4.5.1 Correlaties drogestofopbrengst en diverse schatters

Om inzicht te krijgen in hoeverre de reflectiemetingen uitgedrukt in vegetatie-indexen (NDVI, $WDVI_{red}$, $WDVI_{green}$, NDRE), grashoogte, en basale groeidata (oogstdag, aantal groeidagen en stikstofbemestingsniveau) zich verhouden tot de drogestofopbrengst is berekend in hoeverre deze databronnen gecorreleerd zijn.

Het resultaat is in een diagram met kleuren weergegeven in Figuur 19. Des te roder de kleur des te hoger de correlatie. In potentie bieden de databronnen die sterk gecorreleerd zijn met de drogestofopbrengst het meeste perspectief om te gebruiken als schatter voor drogestofopbrengst.



Figuur 19 Correlaties tussen drogestofopbrengst en verschillende databronnen, namelijk vegetatie-indexen (NDVI, $WDVI_{red}$, $WDVI_{green}$, NDRE) voortkomend uit reflectiemetingen, grashoogte en basale groeidata (oogstdag, aantal groeidagen voor oogst en N-niveau).

Grashoogte had de hoogste correlatie met drogestofopbrengst, hoger dan de vegetatie-indexen die voortkomen uit de reflectiemetingen. $WDVI_{green}$ had van de vegetatie-indexen de hoogste correlatie. Verder valt op dat van de basale groeidata het aantal groeidagen een redelijk hoge correlatie had. Aangezien voor de vegetatie-indexen grotendeels van dezelfde golf lengtes gebruik gemaakt wordt, zijn de correlaties tussen deze indexen per definitie hoog.

4.5.2 Analyse reflectiemetingen, grashoogte en gemodelleerde grasgroei

Voor drogestofopbrengst, stikstofgehalte, het verschil in droge stofopbrengst en het verschil in stikstofgehalte is voor de databronnen Reflectie metingen, Grasdata, Groeimodel en Grashoogte het percentage verklaarde variantie (R^2), de residuele variantie (σ) en de 2S waarde berekend voor de drie locaties en per locatie. Uitgegaan is van de individuele en gecombineerde databronnen en dit bracht de kandidaatmodellen zoals die in Tabel 10 staan. Drogestofopbrengst is in de statistische analyse Ln-getransformeerd. Tevens zijn voor de variantiecomponenten, zoals die in Tabel 9 zijn toegelicht, de partiële R-kwadraten berekend. In de analyse zijn de resultaten van KTC Zegveld 2016 niet meegenomen, omdat voor dit jaar geen CropScan-data beschikbaar waren (zie paragraaf 3.1.2).

De 2s-waarde wordt berekend uit de residuele variantie (*mean square prediction error*) en geeft de omvang van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de voorspelling weer. De 2s-waarde wordt bij drogestofopbrengst echter weergegeven op oorspronkelijk schaal (terugtransformatie) en hierdoor is de 2s-waarde een vermenigvuldigingsfactor. Dus wanneer de 2s-waarde bijvoorbeeld 3 bedraagt dan ligt de voorspelde waarde in de range van 1/3 tot 3 keer de voorspelde drogestofopbrengst. De resultaten van de statistische analyse voor drogestofopbrengst, stikstofgehalte, het verschil in droge stofopbrengst en het verschil in stikstofgehalte staan respectievelijk in Tabel 17, 18, 19 en 20. De resultaten voor de uitsplitsing van de residuele variantie over de verschillende modelcomponenten staan Bijlage 6.

Tabel 17 Percentage verklaarde variantie (R^2), residuele variantie (σ^2 op logschaal) en 2S-waarde voor individuele en gecombineerde schatters van Reflectie metingen ($WDVI_{red}$ en klei 810), Groeidata, Groeimodel en Grashoogte voor Ln drogestofopbrengst, voor de drie locaties gezamenlijk (2016-2017) en per locatie/grondsoort (klei en zand 2016-2017 en veen 2017).

	Locaties gezamenlijk 2016-2017			Dairy Campus (klei) 2016-2017			Vredepeel (Zand) 2016-2017			KTC Zegveld (veen) 2017		
	R^2	σ^2	2S	R^2	σ^2	2S	R^2	σ^2	2S	R^2	σ^2	2S
Leeg model	0	1.35	10.18	0	1.39	10.55	0	1.38	10.44	0	0.75	5.65
Groeidata	71	0.39	3.51	72	0.37	3.40	71	0.40	3.55	64	0.27	2.83
Groeimodel	72	0.37	3.38	71	0.40	3.55	74	0.36	3.34	68	0.24	2.66
Grashoogte	65	0.47	3.94	74	0.35	3.28	83	0.23	2.60	91	0.07	1.68
Reflectiemetingen ($WDVI_{red}$, klei 810 nm)	56	0.59	4.65	53	0.63	4.88	68	0.45	3.80	37	0.47	3.96
Grashoogte + Groeidata	85	0.20	2.43	87	0.19	2.37	85	0.21	2.47	92	0.06	1.64
Grashoogte + Groeimodel	80	0.27	2.82	80	0.28	2.86	86	0.19	2.39	91	0.07	1.68
Reflectiemetingen + Grashoogte	77	0.32	3.07	77	0.31	3.04	85	0.20	2.45	92	0.06	1.64
Reflectiemetingen + Groeidata	78	0.29	2.95	78	0.30	3.00	80	0.27	2.84	69	0.23	2.60
Reflectiemetingen + Groeimodel	77	0.30	3.01	76	0.33	3.16	84	0.22	2.56	69	0.23	2.61
Reflectiemetingen + Grashoogte + Groeidata	87	0.18	2.33	87	0.17	2.29	87	0.18	2.35	92	0.06	1.62

De kalibratie van reflectiemetingen voor drogestofopbrengst gaf over grondsoorten heen slechts een grove schatting ($R^2 = 56\%$). Voor zandgrond was de schatting beter, voor kleigrond vergelijkbaar en voor veengrond was de schatting nog aanmerkelijk zwakker. Opvalt dat de kalibratie op basis van basale Groeidata een betere schatting gaf ($R^2 = 71\%$). De validatie van het groeimodel kwam op een zelfde niveau van percentage verklaarde variantie als Groeidata. Grashoogte gaf over grondsoorten heen een vrij zwakke schatting ($R^2 = 65\%$), echter per locatie was de voorspelling aanmerkelijk beter. Voor Zegveld was de verklaarde variantie van de schatting zelfs hoger dan 90%, maar dit kwam vooral omdat deze alleen gebaseerd was op 2017. De schattingen met reflectiemetingen en grashoogtemetingen verbeterden aanmerkelijk in combinatie met groeidata. Ook in combinatie met het Groeimodel leverde Grashoogte en Reflectiemetingen een betere schattingen, evenals Reflectiemetingen in combinatie met Grashoogte.

Tabel 18 Percentage verklaarde variantie (R^2), residuele variantie (σ^2 op logschaal) en 2S-waarde voor individuele en gecombineerde schatters van Reflectie metingen (560 nm), Groeidata, Groeimodel en Grashoogte voor stikstofgehalte, voor de drie grondsoorten gezamenlijk (2016-2017) en per grondsoort (klei en zand 2016-2017 en veen 2017).

	Alle locaties			Dairy Campus 2016-2017			Vredepeel 2016-2017			Zegveld 2017		
	R^2	σ	2S	R^2	σ	2S	R^2	σ	2S	R^2	σ	2S
Leeg model	0	17.81	8.44	0	12.38	7.04	0	21.48	9.27	0	21.19	9.21
Groeidata	38	11.04	6.64	49	6.33	5.03	36	13.84	7.44	45	11.67	6.83
Groeimodel	24	13.60	7.38	35	8.06	5.68	20	17.27	8.31	24	16.00	8.00
Grashoogte	8	16.38	8.09	1	12.26	7.00	7	20.00	8.94	37	13.28	7.29
Reflectie beelden (560 nm)	3	17.35	8.33	0	12.33	7.02	2	21.06	9.18	12	18.63	8.63
Groeidata + reflectie	43	10.20	6.39	61	4.89	4.42	39	13.11	7.24	44	11.77	6.86
Groeidata + grashoogte	48	9.19	6.06	60	4.96	4.45	44	12.08	6.95	54	9.69	6.23
Groeidata + reflectie beelden + grashoogte	48	9.19	6.06	62	4.75	4.36	44	12.13	6.97	57	9.18	6.06
Groeimodel + grashoogte	25	13.34	7.30	35	8.07	5.68	20	17.15	8.28	41	12.47	7.06
Reflectie beelden + grashoogte	9	16.29	8.07	1	12.30	7.02	7	19.91	8.92	37	13.25	7.28
Reflectie beelden + groeimodel	24	13.62	7.38	37	7.83	5.60	19	17.34	8.33	24	16.05	8.01

Reflectiemetingen gaven voor stikstofgehalte een zeer zwakke voorspelling. Basale groeidata gaven een aanmerkelijk betere schatting. In combinatie met Reflectiemetingen en Grashoogte werd de voorspelling nauwelijks beter. Opmerkelijk is dat het Groeimodel ook een zeer zwakke schatting gaf voor het stikstofgehalte (zie verder hoofdstuk Discussie).

Tabel 19 Percentage verklaarde variantie (R^2), residuele variantie (σ^2 op logschaal) en 2S-waarde voor individuele en gecombineerde schatters van Reflectie metingen ($WDVI_{red}$), Groeidata, Groeimodel en Grashoogte voor verschil in drogestofopbrengst, voor de drie grondsoorten gezamenlijk (2016-2017) en per grondsoort (klei en zand 2016-2017 en veen 2017).

	Locaties gezamenlijk 2016-2017			Dairy Campus (klei) 2016-2017			Vredepeel (Zand) 2016-2017			KTC Zegveld (veen) 2017		
	R^2	σ^2	2S	R^2	σ^2	2S	R^2	σ^2	2S	R^2	σ^2	2S
Leeg model	0	0.88	6.53	0	0.85	6.31	0	1.14	8.47	0	0.44	3.78
Groeidata	52	0.42	3.66	49	0.43	3.71	60	0.45	3.85	47	0.24	2.64
Groeimodel	78	0.20	2.42	80	0.17	2.29	77	0.27	2.80	77	0.10	1.89
Grashoogte	71	0.26	2.77	72	0.24	2.64	69	0.35	3.26	87	0.06	1.61
Reflectiemetingen ($WDVI_{red}$)	73	0.24	2.65	77	0.20	2.42	77	0.26	2.77	54	0.21	2.47
Grashoogte + Groeidata	75	0.22	2.56	76	0.21	2.48	76	0.27	2.84	87	0.06	1.61
Grashoogte + Groeimodel	83	0.15	2.15	83	0.14	2.13	82	0.21	2.49	94	0.03	1.39
Reflectiemetingen + Grashoogte	80	0.18	2.31	80	0.17	2.26	81	0.22	2.55	89	0.05	1.57
Reflectiemetingen + Groeidata	78	0.19	2.40	80	0.17	2.27	82	0.20	2.47	68	0.14	2.12
Reflectiemetingen + Groeimodel	86	0.13	2.03	87	0.11	1.95	86	0.16	2.22	83	0.08	1.74
Reflectiemetingen + Grashoogte + Groeidata	82	0.16	2.20	83	0.15	2.16	84	0.18	2.36	89	0.05	1.56

Vergeleken met de absolute drogestofopbrengst verbeterden de verklaarde varianties voor het verschil in drogestofopbrengst vooral voor Reflectiemetingen en Groeimodel. Ook de schatting voor de combinatie van groeimodel en reflectiemetingen verbeterde aanzienlijk. Voor Groeidata werden de voorspellingen minder goed. Voor grashoogte afzonderlijk en in combinatie met Groeimodel en Reflectiemetingen werd de voorspelling enigszins verbeterd, maar niet in combinatie met Groeidata.

Tabel 20 Percentage verklaarde variantie (R^2), residuele variantie (σ^2 op logschaal) en 2S-waarde voor individuele en gecombineerde schatters van Reflectie metingen ($WDVI_{red}$), Groeidata, Groeimodel en Grashoogte voor verschil in stikstofgehalte, voor de drie grondsoorten gezamenlijk (2016-2017) en per grondsoort (klei en zand 2016-2017 en veen 2017).

	Locaties gezamenlijk 2016-2017			Dairy Campus (klei) 2016-2017			Vredepeel (Zand) 2016-2017			KTC Zegveld (veen) 2017		
	R^2	σ^2	2S	R^2	σ^2	2S	R^2	σ^2	2S	R^2	σ^2	2S
Leeg model	0	62.46	15.81	0	38.88	12.47	0	53.05	14.57	0	40.75	12.77
Groeidata	71	17.92	8.47	72	10.92	6.61	60	21.18	9.20	49	20.70	9.10
Groeimodel	14	53.44	14.62	23	30.01	10.96	6	49.62	14.09	40	24.46	9.89
Grashoogte	5	59.60	15.44	24	29.55	10.87	12	46.78	13.68	40	24.45	9.89
Reflectiemetingen (560 nm)	12	55.18	14.86	19	31.30	11.19	15	45.34	13.47	30	28.36	10.65
Grashoogte + Groeidata	72	17.49	8.36	74	9.94	6.31	61	20.59	9.08	51	19.82	8.90
Grashoogte + Groeimodel	14	53.53	14.63	30	27.04	10.40	12	46.59	13.65	44	22.75	9.54
Reflectiemetingen + Grashoogte	16	52.18	14.45	35	25.30	10.06	25	39.99	12.65	42	23.55	9.71
Reflectiemetingen + Groeidata	73	16.59	8.15	76	9.14	6.05	62	19.92	8.93	50	20.27	9.00
Reflectiemetingen + Groeimodel	22	48.76	13.97	33	26.12	10.22	21	42.13	12.98	44	22.84	9.56
Reflectiemetingen + Grashoogte + Groeidata	74	15.95	7.99	81	7.57	5.50	63	19.50	8.83	52	19.73	8.88

Vergeleken met de rechtstreekse schattingen van het stikstofgehalte uit tabel 18 leverde een schatting van het verschil in stikstofgehalte geen toegevoegde waarde. Vooral voor Groeidata werden de percentages verklaarde variantie zelfs aanzienlijk lager.

Opbouw residuele variantie

Om te zien hoe de residuele variantie is opgebouwd zijn de partiële R-kwadragen van een selectie van variantiecomponenten berekend voor de kandidaatmodellen globaal over de locaties heen en per locatie. In Tabel 21 en 22 staan respectievelijk de resultaten voor drogestofopbrengst en stikstofgehalte over locaties heen. Hierin staan de varianties en de R-kwadragen voor de kandidaatmodellen en de partiële R-kwadragen voor de variantiecomponenten die betrekking hebben op de subbehandelingen Groeiduur en stikstofbemesting om te zien in welke mate de gecreëerde opbrengstverschillen verklaard worden. De resultaten voor alle geselecteerde variantiecomponenten staan in Bijlage 6.

Tabel 21 Percentage verklaarde variantie (R^2), totale residuele variantie (σ^2 op logschaal) en residuele variantie voor variantiecomponenten gericht op de subbehandelingen Stikstofbemesting en Groeiduur en de restvariantie van kandidaatmodellen bestaande uit individuele en gecombineerde schatters van Reflectiemetingen ($WDVI_{red}$ en klei 810), Groeidata, Groeimodel en Grashoogte voor drogestofopbrengst, voor de drie locaties gezamenlijk (2016-2017). Door de numerieke benadering kunnen R-kwadragen voorkomen die kleiner dan 0 of groter dan 100 en deze zijn buiten beschouwing gelaten.

Data bronnen	kandidaatmodellen		Variantiecomponenten				Restvariantie	
	σ^2	R^2	Locatie.Jaar.Snede. σ^2	Groeiduur R^2	Locatie.Jaar.Snede.Nbemesting σ^2	R^2	σ^2	R^2
Leeg model	1	0	0.88	0	0.23	0	0.04	0
Groeidata	0	71	0.23	74	0.02	92	0.04	0
Groeimodel	0	72	0.14	84	0.04	83	0.05	
Grashoogte	0	65	0.17	81	0.03	85	0.02	46
Reflectiemetingen (560 nm)	1	56	0.22	75	0.02	92	0.05	
Grashoogte + Groeidata	0	85	0.10	89	0.01	94	0.05	
Grashoogte + Groeimodel	0	80	0.09	89	0.03	88	0.04	3
Reflectiemetingen + Grashoogte	0	77	0.09	90	0.03	88	0.04	
Reflectiemetingen + Groeidata	0	78	0.11	87	0.01	96	0.03	19
Reflectiemetingen + Groeimodel	0	77	0.10	89	0.02	92	0.03	25
Reflectiemetingen + Grashoogte + Groeidata	0	87	0.07	92	0.01	95	0.04	

De aangebrachte verschillen in groeiduur werden door de kandidaatmodellen Groeidata en Reflectiemetingen minder goed voorspeld dan de aangebrachte verschillen in stikstofbemesting. De restvariantie (Locatie.Jaar.Snede.Veldje) betreft de gemeten duplovariantie in de responsevariabele. Bij het globale model over locaties heen verklaarde de schatter Grashoogte een deel van deze duplovariantie en in kleinere mate ook Reflectiemetingen in combinatie met Groeidata of Groeimodel. Per locatie (Bijlage 6) was de bijdrage van schatters aan de verklaring van de restvariantie veel minder eenduidig. Voor Dairy Campus betrof dit alleen Reflectiemetingen, voor KTC Zegveld vooral Grashoogte en voor Vredepeel zat hier geen lijn in.

Tabel 22 Percentage verklaarde variantie (R^2), totale residuele variantie (σ^2 op logschaal) en residuele variantie voor variantiecomponenten gericht op de subbehandelingen Stikstofbemesting en Groeiduur en de restvariantie van kandidaatmodellen bestaande uit individuele en gecombineerde schatters van Reflectiemetingen ($WDVI_{red}$ en klei 810), Groeidata, Groeimodel en Grashoogte voor stikstofgehalte, voor de drie locaties gezamenlijk (2016-2017). Door de numerieke benadering kunnen R-kwadraten voorkomen die kleiner dan 0 of groter dan 100 en deze zijn buiten beschouwing gelaten.

Data bronnen	kandidaatmodellen		Variantiecomponenten				Restvariantie					
	σ^2	R^2	Locatie	Jaar	Sned.	Groeiduur	Locatie	Jaar	Sned.	Nbemesting	σ^2	R^2
			σ^2	R^2	σ^2	R^2	σ^2	R^2				
Leeg model	62	0	10.20	0	6.74	0	4.10				0	
Groeidata	18	71	3.73	63	1.59	76	4.35					
Groeimodel	53	14	7.40	27	3.41	49	1.72				58	
Grashoogte	60	5	10.23		6.72	0	1.25				70	
Reflectiemetingen (560 nm)	55	12	12.68		4.69	30	2.27				44	
Grashoogte + Groeidata	17	72	3.36	67	1.61	76	4.55					
Grashoogte + Groeimodel	54	14	7.50	26	3.34	50	1.84				55	
Reflectiemetingen + Grashoogte	52	16	8.79	14	6.49	4	3.12				24	
Reflectiemetingen + Groeidata	17	73	3.84	62	1.22	82	4.48					
Reflectiemetingen + Groeimodel	49	22	7.30	28	2.09	69	2.27				45	
Reflectiemetingen + Grashoogte + Groeidata	16	74	3.25	68	1.23	82	4.73					

Voor stikstofgehalte waren de percentage verklaarde variantie in het algemeen laag, zeker voor Grashoogte, Reflectiemetingen en het Groeimodel. Over het algemeen werden opbrengstverschillen door de behandeling stikstofbemesting beter verklaard dan door groeiduur, evenals dat bij drogestofopbrengst het geval was.

Parameters schatters kalibratiemodellen

Om praktisch gebruik te kunnen maken van de gekalibreerde modellen staan in Tabel 23 de parameters van de schatters voor de meest relevante modellen over de drie locaties heen, te weten Reflectiemeting, Grashoogte, Reflectiemeting + Groeidata en Grashoogte + Groeidata. Hierbij moet aangemerkt worden dat realistische combinaties ingevuld moeten om tot realistisch uitkomsten te komen. In Bijlage 7 staan de parameters van de schatters voor alle modellen globaal over locaties heen en specifiek per locatie.

Tabel 23 Parameters in functies voor de CropScan (CropScan, 2016; MSR87, MSR16R) voor Reflectiemetingen, Grashoogte en Reflectiemetingen en Grashoogte in combinatie met Groeidata voor drogestofopbrengst, over locaties heen met als referentie het N0-niveau voor stikstofbemesting voor Dairy Campus.

Parameter	Databronnen			
	Reflectie- meting	Grashoogte	Reflectie- meting + Groeidata	Grashoogte + Groeidata
Intercept	3.6667642	8.7761273	3.1443851	8.0771617
Groeiduur			0.0466017	0.0324562
(Oogstdatum-21 juni) ²			-0.0000782	-0.0000386
$WDVI_{red}$	7.0361923		4.7693696	
1/grashoogte		-18.1817914		-15.6168268
N1-niveau klei			0.3289823	-0.0993288
N2-niveau klei			0.3804683	-0.0961748
N0-niveau zand			0.1091641	-1.0863911
N1-niveau zand			0.5281917	-0.8340165
N2-niveau zand			0.6422173	-0.6614341
N0-niveau veen			0.2525434	-0.3807962
N1-niveau veen			0.3652468	-0.3801356
N2-niveau veen			0.4559918	-0.2835768

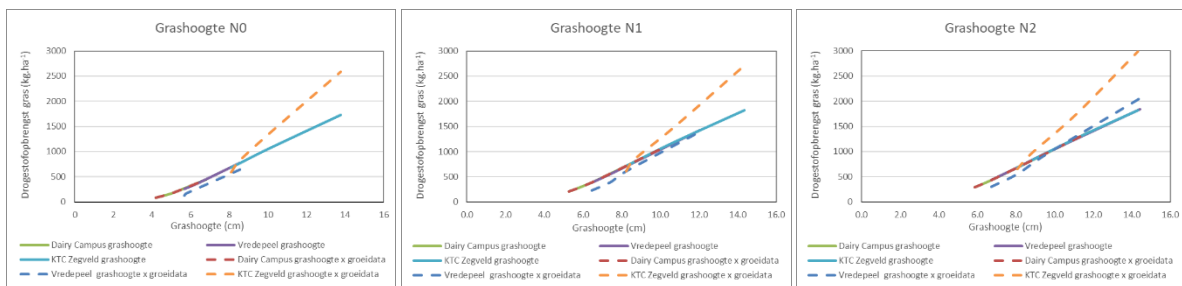
Op basis van de parameters in Tabel 23 voor globale relaties over locaties heen zijn de vier formules nader uitgewerkt:

1. Drogestofopbrengst op basis van Reflectiemetingen:
 $y = \text{EXP} (3.6667642 + 7.0361923 * \text{WDVI}_{\text{red}})$
2. Drogestofopbrengst op basis van Grashoogte:
 $y = \text{EXP} (8.7761273 + -18.1817914 * (1/\text{Grashoogte}))$
3. Drogestofopbrengst op basis van Reflectiemetingen in combinatie met Groeidata met als referentie het N0-niveau voor stikstofbemesting voor de locatie Dairy Campus:
 $y = \text{EXP} (3.1443851 + 0.0466017 * \text{aantal groeidagen} + -0.0000782 * (\text{oogstdatum}-21 \text{ juni})^2 + 4.7693696 * \text{WDVI}_{\text{red}} + \text{factor N-niveau locatie})$
4. Drogestofopbrengst op basis van Grashoogte in combinatie met Groeidata met als referentie het N0-niveau voor stikstofbemesting voor de locatie Dairy Campus:
 $y = \text{EXP} (8.077161734 + 0.032456167 * \text{aantal groeidagen} + -0.0000386277 * (\text{oogstdatum}-21 \text{ juni})^2 + -15.61682681 * (1/\text{Grashoogte}) + \text{factor N-niveau locatie})$

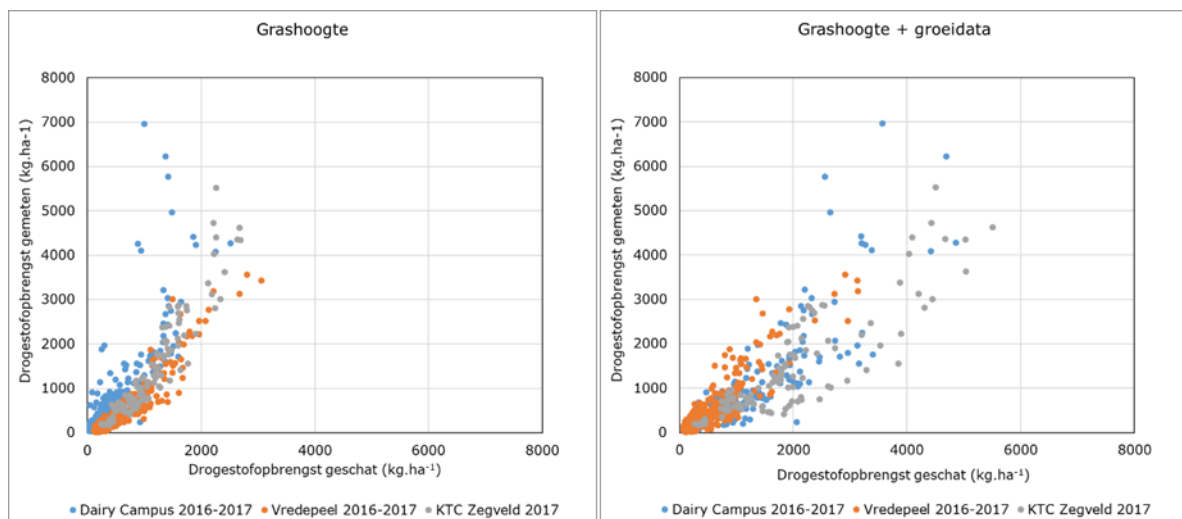
Voor grashoogte en reflectiemetingen staan in respectievelijk Tabel 24 en 25 de uitgewerkte rekenvoorbeelden met de modellen over locaties heen. Hierbij is onderscheid gemaakt in de drie stikstofbemestingstrappen en wel of geen gebruik van globale data. Voor de globale data waren de uitgangspunten een fictieve oogstdatum van 22 juni, de gemiddelde groeiduur per groeitrap (T1-T4), de bijbehorende gemiddelde grashoogte en betreffende gemiddelde reflectiepercentage. De resultaten zijn in respectievelijk Figuur 20 en 22 gevisualiseerd. In Figuur 21 en 23 zijn op basis van dezelfde modellen over locaties heen de geschatte drogestofopbrengsten uitgezet tegen de gemeten drogestofopbrengsten voor respectievelijk grashoogte en reflectiemetingen. Ook hierbij is onderscheid gemaakt tussen wel en geen gebruik van globale data.

Tabel 24 Rekenvoorbeeld voor de schatting van drogestofopbrengst op basis van grashoogte met een globaal model over locaties heen met en zonder gebruik van groeidata per stikstofbemestingsniveau (N0-N2) per groeitrap met een gemiddelde groeiduur per locatie.

Groeiduur	Grashoogte (cm)			Schatting drogestofopbrengst (kg.ha-1)					
	Dairy Campus	Vredepeel	KTC Zegveld	Dairy Campus grashoogte	Vredepeel grashoogte	KTC Zegveld grashoogte	Dairy Campus grashoogte x groeidata	Vredepeel grashoogte x groeidata	KTC Zegveld grashoogte x groeidata
<i>Stikstofbemestingsniveau N0</i>									
19	4.2	5.7	8.1	86	263	687	146	129	594
26	4.8	5.8	8.5	147	275	770	290	168	821
33	5.1	6.4	10.1	189	374	1064	451	274	1361
40	6.8	8.5	13.8	451	772	1729	1195	640	2591
<i>Stikstofbemestingsniveau N1</i>									
19	5.3	6.5	8.2	206	389	712	279	231	612
26	5.9	7.4	8.6	290	563	787	470	399	837
33	6.7	8.2	10.8	430	712	1196	829	613	1505
40	10.4	12.1	14.3	1118	1434	1822	2362	1402	2713
<i>Stikstofbemestingsniveau N2</i>									
19	5.9	6.7	8.1	292	432	682	378	301	650
26	6.7	8.1	8.8	425	689	819	655	564	954
33	8.3	9.6	11.1	733	970	1264	1314	949	1739
40	11.8	14.4	14.3	1387	1838	1820	2851	2063	2985



Figuur 20 Weergave schatting van drogestofopbrengst op basis van grashoogte met een globaal model over locaties heen met en zonder gebruik van groeidata per stikstofbestedingsniveau (N0-N2) per groeitrap met een gemiddelde groeiduur per locatie.

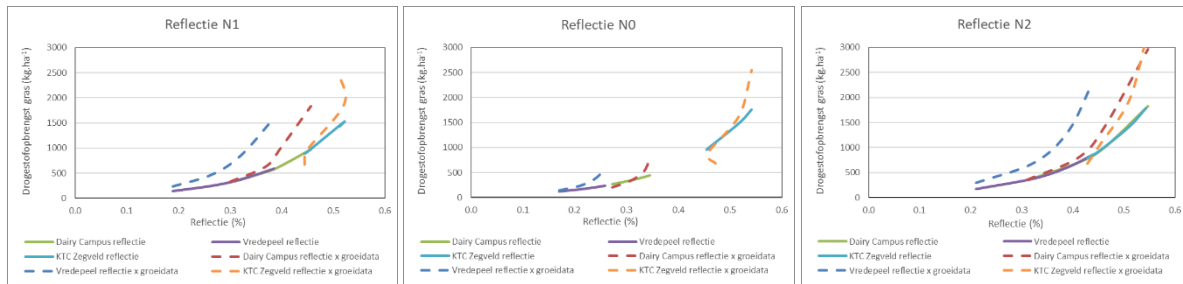


Figuur 21 Grashoogte als schatter versus gemeten drogestofopbrengst (links) en in combinatie met globale groeidata (rechts).

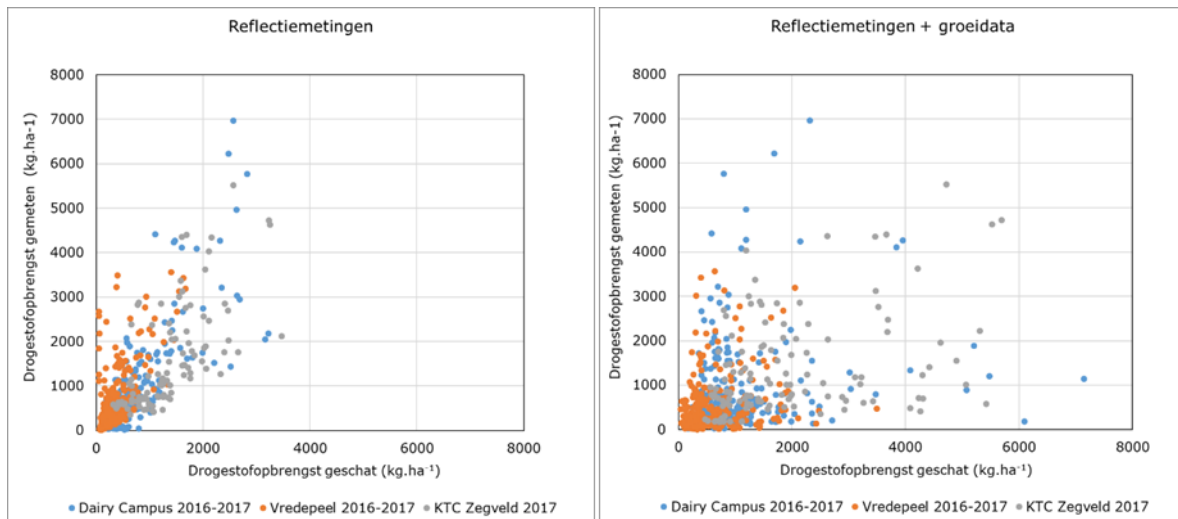
De schattingen zonder Groeidata liggen voor de drie locaties dicht bij elkaar en differentiëren met voor KTC Zegveld wanneer grashoogtemetingen gecombineerd worden met groeidata. Op deze locatie waren de gemeten grashoogtes aanzienlijk hoger per hoeveelheid drogestofopbrengst, waarschijnlijk door een botanisch gevarieerdere graszode. Een vergelijk van de schattingen met de gemeten drogestofopbrengst laat zien dat in combinatie met Groeidata het opbrengstbereik van de schattingen groter is.

Tabel 25 Rekenvoorbeeld voor de schatting van drogestofopbrengst op basis van reflectiemetingen met een globaal model over locaties heen met en zonder gebruik van groeidata per stikstofbestedingsniveau (N0-N2) per groeitrap met een gemiddelde groeiduur per locatie.

Groeiduur	Reflectiepercentages (%)			Schatting drogestofopbrengst (kg,ha-1)					
	Dairy Campus	Vredepeel	KTC Zegveld	Dairy Campus reflectie	Vredepeel reflectie	KTC Zegveld reflectie	Dairy Campus reflectie x groeidata	Vredepeel reflectie x groeidata	KTC Zegveld reflectie x groeidata
Stikstofbestedingsniveau N0									
19	0.27	0.17	0.47	266	129	1083	206	141	687
26	0.31	0.21	0.46	343	172	972	340	237	886
33	0.33	0.24	0.52	411	210	1491	531	376	1640
40	0.35	0.26	0.54	443	241	1764	776	572	2547
Stikstofbestedingsniveau N1									
19	0.30	0.19	0.44	322	148	893	326	235	675
26	0.37	0.26	0.45	525	250	923	629	465	957
33	0.40	0.32	0.52	644	373	1526	1002	845	1865
40	0.46	0.39	0.51	969	588	1432	1831	1594	2474
Stikstofbestedingsniveau N2									
19	0.31	0.21	0.43	348	172	796	362	292	684
26	0.41	0.32	0.45	709	383	950	812	696	1069
33	0.46	0.39	0.51	1015	611	1418	1436	1323	1943
40	0.55	0.44	0.54	1830	853	1787	2967	2297	3148



Figuur 22 Weergave schatting van drugestofopbrengst op basis van reflectiemetingen met een globaal model over locaties heen met en zonder gebruik van groeidata per stikstofbemestingsniveau (N0-N2) per groeitrap met een gemiddelde groeiduur per locatie.



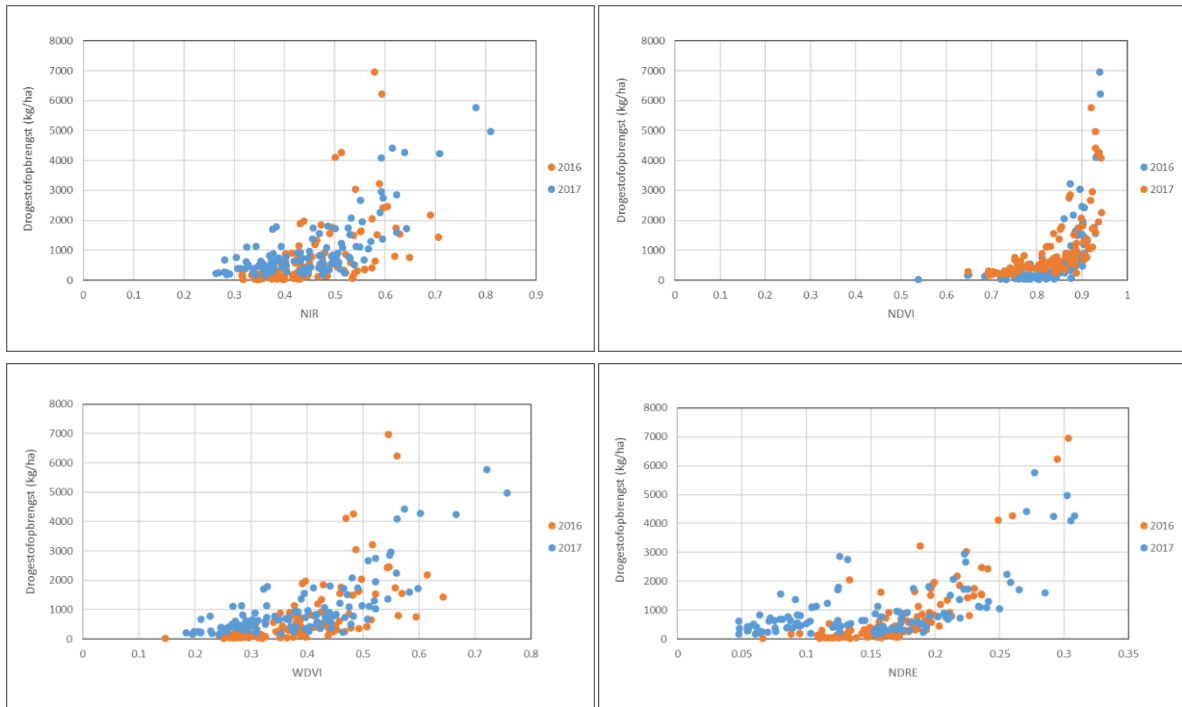
Figuur 23 Reflectiemetingen als schatter versus gemeten drugestofopbrengst (links) en in combinatie met globale groeidata (rechts).

Het kalibratiemodel waarbij reflectiepercentage gecombineerd is met groeidata geeft een behoorlijk ander beeld dan het model dat alleen gebaseerd is op uitsluitend reflectiepercentage. De relaties zijn steiler en geven een aanzienlijk hogere schatting voor de drugestofopbrengst naarmate het reflectiepercentage hoger is en meer stikstof toegediend is. De verbetering van het model in combinatie met groeidata komt hier duidelijk tot uitdrukking (verhoging percentage verklaarde variantie van 56 naar 78). Voor KTC Zegveld laten de reflectiepercentages voor de stikstofbemestingsniveaus N0 en N1 een afwijkende curve zien doordat bij een toenemende groeiduur het reflectiepercentage niet altijd toenam, maar praktisch gelijk was of een fractie kleiner. Een vergelijking van de schattingen met de gemeten drugestofopbrengst laat zien dat de spreiding in resultaten nog aanzienlijk is, zeker zonder gebruik van groeidata.

4.6 Reflectiemetingen eBee drone

4.6.1 Reflectiemetingen vs. drugestofopbrengst

De reflectiepercentages voor NIR en de vegetatie-indexen NDVI, WDWI_{red}, en NDRE zijn in Figuur 24 uitgezet tegen de drugestofopbrengst.

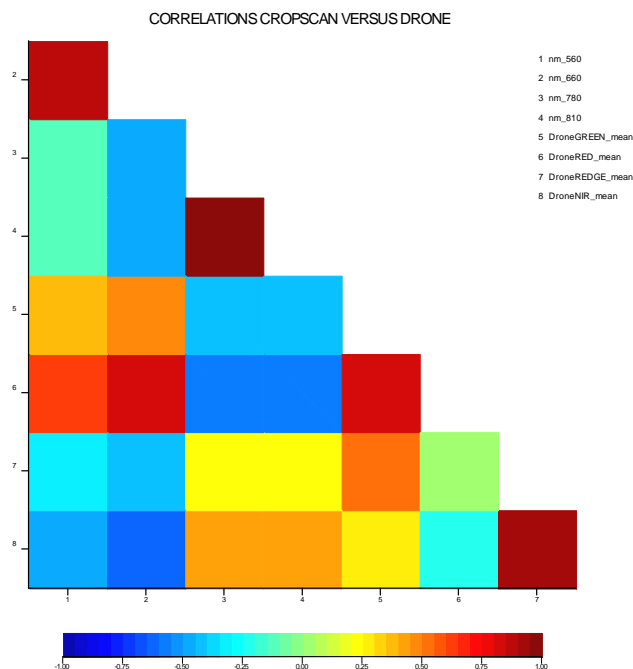


Figuur 24 Relatie tussen respectievelijk NIR, NDVI, $WDV1_{red}$ en NDRE en drogestofopbrengst, op basis van reflectiemetingen met een eBee-drone (Multispec 4c camera).

NDVI laat de minste spreiding zien in relatie met de drogestofopbrengst. Hierbij valt op dat de drogestofopbrengsten in een relatief beperkt bereik van de betreffende index-waarden ligt. Voor drogestofopbrengsten hoger dan 2000 kg per ha treedt een sterke verzadiging van het signaal op. Dit betekent dat voor hogere drogestofopbrengsten de index niet meer onderscheidend is. NIR en de andere indexen gaven een grotere spreiding maar minder verzadiging van het signaal.

4.6.2 Correlaties CropScan versus eBee-drone

De reflectiemetingen met de eBee-drone op Dairy Campus zijn vergeleken met de CropScan metingen. Aangezien het in basis dezelfde metingen betreft is gekeken in hoeverre deze gecorreleerd zijn. In Figuur 25 staat een correlatiediagram, waarbij de vier meest bepalend golflengtes zijn gerelateerd aan dienovereenkomstige banden waarin de eBee-drone meet.



Figuur 25 Correlaties tussen reflectiemetingen met de cropScan van de golflengtes 560, 660, 780 en 810 en reflectiemetingen met een eBee-drone (Multispec 4c camera) van de respectievelijk overeenkomstige banden Green, Red, RedEdge en Near InfraRed.

Opvalt dat in het vergelijk van CropScan en eBee alleen de golflengte 650 (CropScan) en Red (eBee) sterk gecorreleerd zijn. Verder zijn van dezelfde camera de golflengtes of banden die relatief dicht bij elkaar liggen (560 en 660 of Green en Red en 780 en 810 of RedEdge en NIR) sterk gerelateerd. Dit geeft aan dat de metingen en de mate van voorspelling van drogestofopbrengst en N-gehalte van beide camera's verschillen.

4.6.3 Validatie en kalibratie

Het model voor de reflectiemetingen met de CropScan is gevalideerd met data van de eBee metingen op Dairy Campus (810 nm). Het percentage verklaarde variantie was daarbij 34,8 % en dit was aanmerkelijk lager dan het percentage verklaarde variantie van 51,2 % voor de CropScan metingen. In combinatie met Groeidata daalde het percentage verklaarde variantie van 76,7 naar 69,3 %. Ondanks dat het theoretisch gezien vergelijkbare metingen betreft, presteert het model voor de CropScan data dus matig voor de eBee data. Zie het hoofdstuk Discussie voor de mogelijke oorzaken. Voor de eBee is zodoende een apart model gekalibreerd op basis van de databronnen. De resultaten voor Reflectiemetingen met en zonder Groeidata staan in Tabel 26. Voor de eBee reflectiemetingen was NDVI de beste schatter ($R^2 = 45,9\%$) voor Ln drogestofopbrengst. In Bijlage 8 staan de parameters van de schatters voor alle databronnen en combinaties van databronnen.

Tabel 26 Parameters in functies voor de eBee drone voor Reflectiemetingen (NDVI) en Reflectiemetingen in combinatie met Groeidata voor Ln drogestofopbrengst, met als referentie het N0-niveau voor stikstofbemesting voor Dairy Campus.

Parameter	Databronnen	
	Reflectiemetingen	Reflectiemetingen + Groeidata
Intercept	-3.1412178	1.1118528
Groeiduur		0.0513125
(Oogstdatum-21 juni) ²		-0.0000998
Reflectiemetingen (NDVI)	11.1733468	4.3789860
N1-niveau klei		0.6513986
N2-niveau klei		0.4316916

Op basis van de parameters in Tabel 26 zijn de twee formules nader uitgewerkt:

1. Drogestofopbrengst op basis van Reflectiemetingen:
 $y = \text{EXP}(-3.1412178 + 11.1733468 * \text{NDVI})$
2. Drogestofopbrengst op basis van Reflectiemetingen in combinatie met Groeidata met als referentie het N0-niveau voor stikstofbemesting voor de locatie Dairy Campus:
 $y = \text{EXP}(1.1118528 + 0.0513125 * \text{aantal groeidagen} + -0.0000998 * (\text{oogstdatum} - 21 \text{ juni})^2 + 4.3789860 * \text{NDVI} + \text{factor N-niveau})$

4.6.4 Verhouding reflecties tussen kleurenbanden

Met de inzet van de kalibratieplaten is nagegaan hoe de reflectiepercentages tussen golflengtebereiken zich verhouden. Voor alle vluchten met de eBee in 2016 en 2017 waarop de kalibratieplaten zichtbaar waren staan de gemiddelde meetdata in Tabel 27. Voor 2 juli 2017 werden afwijkende waarden gevonden (lage gemiddelden) voor groen en rood voor de lichtgrijze en donkergrijze plaat door overbelichting en deze zijn niet in de gemiddelden meegenomen.

Tabel 27 Reflectiepercentages kalibratieplaten (wit, lichtgrijs, donker grijs en zwart) per golflengtebereik (groen, rood, nabij infrarood en infrarood) gemeten met een eBee (Multispec 4c camera) gemiddeld over in het totaal 7 vluchten in 2016 en 2017.

Kalibratieplaat	Groen	Rood	Infrarood	Nabij infrarood
<i>eBee</i>				
Wit	0.205	0.280	0.506	0.532
Lichtgrijs	0.218	0.239	0.305	0.327
Donkergrijs	0.147	0.137	0.181	0.206
Zwart	0.052	0.044	0.089	0.120
<i>CropScan</i>				
Wit	0.592	0.543	0.535	0.513
Lichtgrijs	0.353	0.314	0.301	0.283
Donkergrijs	0.149	0.136	0.134	0.131
Zwart	0.039	0.036	0.047	0.058

Vergeleken met de CropScan waren de reflectiepercentages gemeten met de eBee in het algemeen lager voor de golflengtebereiken groen en rood. Voor groen en rood zijn de afwijkingen het grootst voor de platen wit en lichtgrijs en voor infrarood en nabij infrarood zijn de afwijkingen het grootst voor de platen donkergrijs en zwart.

4.6.5 Effect correctie voor verschil in meettijdstoppen

De inzet van de kalibratieplaten is gebruikt om tot een eenduidigere relatie te komen tussen reflectiepercentages en drogestofopbrengst. Op basis van de meetdata van de reflectieplaten en de gemiddelde meetdata van het gewas is een standaardisatie van de meetdata uitgevoerd.

Per golflengtebereik is gekeken welke van de vier kalibratieplaten het beste overeen kwam met de gemiddelde reflectiewaarde van gras over alle metingen in 2016-2017. Voor Groen en Rood was dit de zwarte plaat, voor Infrarood de licht grijze plaat en voor Nabij Infrarood de witte plaat. Zie voor een overzicht Tabel 28.

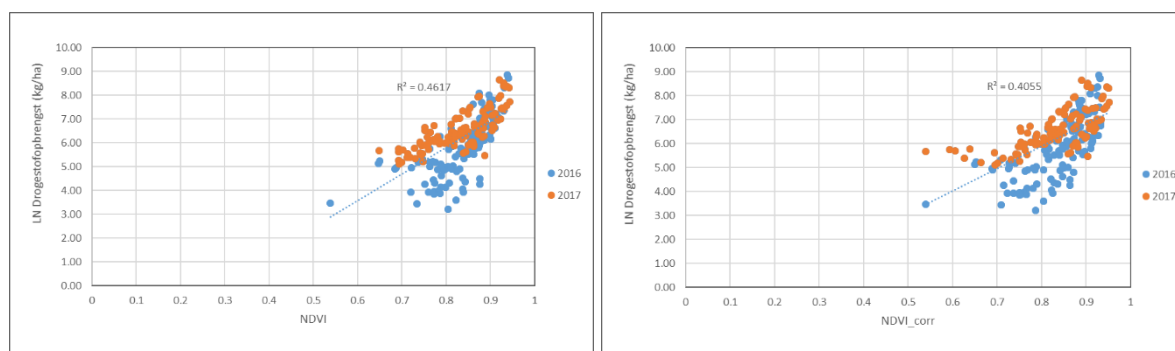
Tabel 28 Reflectiepercentages per golflengtenbereik voor vier kalibratieplaten en gras gemiddeld. Per golflengtebereik is aangegeven welke kleur kalibratieplaat gekozen is voor de standaardisatie (achteraf) van de eBee reflectiepercentages op Dairy Campus 2016-2017.

Kalibratieplaat	Groen	Rood	Infrarood	Nabij infrarood
wit	0.205	0.280	0.506	0.532
licht grijs	0.218	0.239	0.305	0.327
donker grijs	0.147	0.137	0.181	0.206
Zwart	0.052	0.044	0.089	0.120
Gras gemiddeld	0.074	0.038	0.321	0.450

Met de geselecteerde kalibratieplaten is een standaardisatie van de data uitgevoerd door:

1. Per meetdatum de meting voor de zwarte, licht grijze en witte kalibratieplaat te delen door de gemiddelde meetwaarde van de betreffende platen over alle metingen (Tabel 28)
2. De hieruit volgende correctiefactor werd vermenigvuldigd met de meetwaarden van het betreffende golflengtebereik (Tabel 28).
3. Vervolgens zijn met de gecorrigeerde meetwaarden van de golflengtebereiken de vegetatie-indexen herberekend.

In Figuur 26 is een vergelijking gemaakt tussen wel en niet gestandaardiseerde waarden voor NDVI.



Figuur 26 Geschatte Ln drogestofopbrengsten op basis van de vegetatie-index NDVI met niet gecorrigeerde waarden (links) en gestandaardiseerde waarden op basis van het gebruik van kalibratieplaten met de kleuren wit, lichtgrijs, donkergrijs en zwart (rechts).

Het vergelijking tussen de relaties in Figuur 26 laat zien dat de toegepaste standaardisatie niet tot een verbetering van de schatting van drogestofopbrengst heeft geleid.

5 Discussie

5.1 Reflectiemetingen vs. opbrengst en kwaliteit

De reflectiemetingen gaven over locaties heen, maar ook per locatie, slechts een grove schatting van de drogestofopbrengst. Deels komt dit door de verzadiging van het signaal bij relatief hoge opbrengsten, maar waarschijnlijk spelen meerdere factoren hierin een rol, zoals de invloed van onbedekte grond, de invloed van de grasstoppel die niet mee geoogst wordt en het verschil in atmosferische meetcondities tussen meetmomenten. Voor de CropScan metingen was in het algemeen $WDVI_{red}$ de beste schatter voor drogestofopbrengst ($R^2 = 54,9\%$) en dit past in het beeld van de relatief goede resultaten die Papadavid *et al.*, 2013 en Thiessen (2015) vonden voor $WDVI_{red}$. Met de reflectie van onbedekte grond die in deze index vertegenwoordigd is, zou de schatting voor drogestofopbrengst kunnen verbeteren. Echter golflengte 810 nm gaf ten opzichte van $WDVI$ een relatief goed resultaat ($R^2 = 51,2\%$) en daarmee lijkt voor de betreffende metingen de toegevoegde waarde van onbedekte grondmeting vrij beperkt. In het onderzoek is de onbedekte grond daadwerkelijk gemeten, echter in de praktijk wordt hier een vaste waarde voor gebruikt. De consequentie van het gebruik van deze vaste factor is niet verder nagegaan. Mogelijk dat de toegevoegde waarde dan kleiner is.

Voor het meten van stikstofgehalte met reflectiemetingen werden in de literatuur (Thiessen, 2015; Vescovo and Gianelle, 2008; Clevers and Gitelson, 2013; Kamenova, 2013; Mistele and Schmidhalter, 2008) ten opzichte van de maaiproef relatief goede modelresultaten gevonden. Dit komt omdat het N-gehalte in gram per vierkante meter is uitgedrukt en het dus in feite een stikstofopbrengst betreft. In de maaiproef, die in het onderliggende rapport beschreven is, lag de focus op het stikstofgehalte van het gras zelf en was de variatie in metingen dermate groot dat er nauwelijks sprake van enige verklaring. De index REP is niet meegenomen in de analyse, omdat deze alleen voor Dairy Campus 2016-2017 en Zegveld 2017 uitgerekend kon worden. Gezien het zeer lage percentage verklaarde variantie voor de andere indexen, mag verondersteld worden dat de verbetering minimaal zal zijn, in ieder geval onvoldoende voor praktijktoepassing.

Vergeleken met de analyse over locaties heen werd per locatie de verklaarde variantie bij grashoogte voor drogestofopbrengst wel hoger, maar bij het gebruik van reflectiemetingen niet. Bij toepassing van reflectiemetingen kan dit verklaard worden door de variatie in meetomstandigheden, zowel binnen één meetdatum (overtrekkende wolken) als tussen meetdatums (verschil in lichtintensiteit en bewolgingsgraad). In 2018 is de maaiproef voortgezet, volgens dezelfde opzet als in 2016 en 2017, in het kader van het project DISAC N-sensing en zijn de metingen doelbewust onder de best mogelijke atmosferische condities uitgevoerd (geen wolken). De invloed van atmosferisch ruis kan mogelijk worden vastgesteld door de data van 2016-2017 te vergelijken met die van 2018. In de rapportage van het betreffende project wordt hier nader op ingegaan. Wanneer de ruis van atmosferische condities uitgesloten kan worden, zal mogelijk ook meer duidelijkheid verkregen worden over het effect van onbedekte grond en de invloed van de grasstoppel. In een meting is de stoppel in meer of mindere mate zichtbaar afhankelijk van het opbrengstniveau, maar telt niet mee in de drogestofopbrengst en het stikstofgehalte omdat deze na maaien achterblijft. Bij lage opbrengsten is het aandeel stoppel relatief groot en bij hoge opbrengsten is deze relatief laag. Bovendien is bij hoge opbrengsten het stoppelgedeelte minder zichtbaar, waardoor het effect van stoppelaandeel uitdooft bij hoge opbrengsten. Het verschil in drogestofopbrengst werd beter geschat dan de absolute drogestofopbrengst en hier kan mogelijk het wegfilteren van het stoppeleffect een rol in spelen.

Voor reflectiemetingen is de inzet van enkelvoudige kenmerken versus meerdere kenmerken nog niet uitputtend onderzocht. Met name bij het voorspellen van stikstofgehalte wordt een meerwaarde verwacht. Echter, bij het gebruik van meerdere kenmerken moet het risico van een 'over fit' voorkomen worden. Dit betekent dat het model voor de omstandigheden waar het op gefit is goed doet, maar dat het voor andere omstandigheden veel minder bruikbaar is. Ook zou het interessant zijn

om op basis van het variantiepatroon te verkennen in hoeverre hoogtemetingen en reflectiemetingen uitwisselbaar zijn. De gedachte hierbij is dat met een beperkt aantal hoogtemetingen (subplot bemonstering) de schatting met reflectiemetingen voor een relatief groot areaal verbeterd kan worden.

5.2 Grashoogte vs. opbrengst

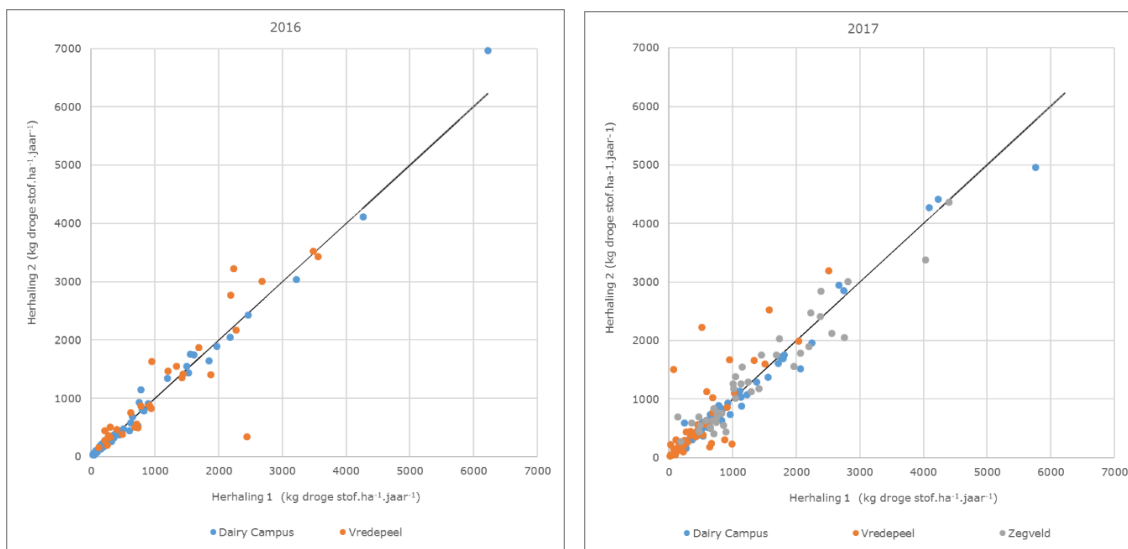
In het onderzoek van Stienezen en Holshof (2016) werd over alle proeven heen een percentage verklaarde variantie gevonden van 70% voor metingen op relatief jonge proefvelden (1 tot 4 jaar oud) ingezaaid met een enkelvoudig grasras (grassoort is Engels raaigras, *Lolium Perenne*, *Lp*). Dit betrof het volledige opbrengstbereik van relatief lage tot relatief hoge opbrengstniveaus. Naarmate de grasopbrengsten hoger werden, bleken deze moeilijker te schatten. Voor het verbeteren van de relatie is in Stienezen en Holshof (2016) gekozen voor het verkleinen van het opbrengstbereik, te weten opbrengsten tot 2700 kg drogestof per ha boven stoppelniveau. Hiermee werd het probleem van 'verzadiging' van de respons ondervangen en verhoogde het percentage verklaarde variantie tot 89,1%. Daarbij is de analyse uitgevoerd op het gemiddelde van de herhalingen.

In de analyse van de drie proeflocaties (voorliggende rapport) is het probleem van verzadiging zoveel mogelijk ondervangen door een relatie te schatten op basis van LnDrogestofopbrengst en door voor de x-waarden de formule $1/\text{grashoogte}$ toe te passen. Het uiteindelijke percentage verklaarde variantie was 65% op basis van gemiddelden van de herhalingen. Gegeven het zoveel mogelijk ondervangen van de verzadiging en het gebruik van gemiddelden van herhalingen is het uiteindelijke percentage verklaarde variantie over locaties heen relatief laag vergeleken met die van Stienezen en Holshof (2016). Per locatie waren de percentages verklaarde variantie respectievelijk 74, 83, 91 voor respectievelijk Dairy Campus, Vredepeel en Zegveld (alleen 2017) en deze benaderen dus meer het percentage van 89.1% uit het onderzoek van Stienezen en Holshof (2016).

5.3 Groeimodel vs. opbrengst en kwaliteit

Variatie in gemeten opbrengsten

De modelmatige berekende grasgroei is vergeleken met de gemeten grasopbrengsten. Elke behandeling (combinatie Groeiduur en Stikstofbemesting) is in tweevoud uitgevoerd. De gemeten grasopbrengsten verschilden tussen de herhalingen, terwijl voor de berekende groei uitgegaan werd van gelijke uitgangspunten en de berekende opbrengsten identiek waren. De vergelijking is lastiger naarmate de verschillen tussen de herhalingen van de werkelijk gemeten opbrengsten groter zijn. In Figuur 27 zijn de opbrengsten van de herhalingen per proeflocatie tegen elkaar uitgezet om een beeld te krijgen van de variatie.



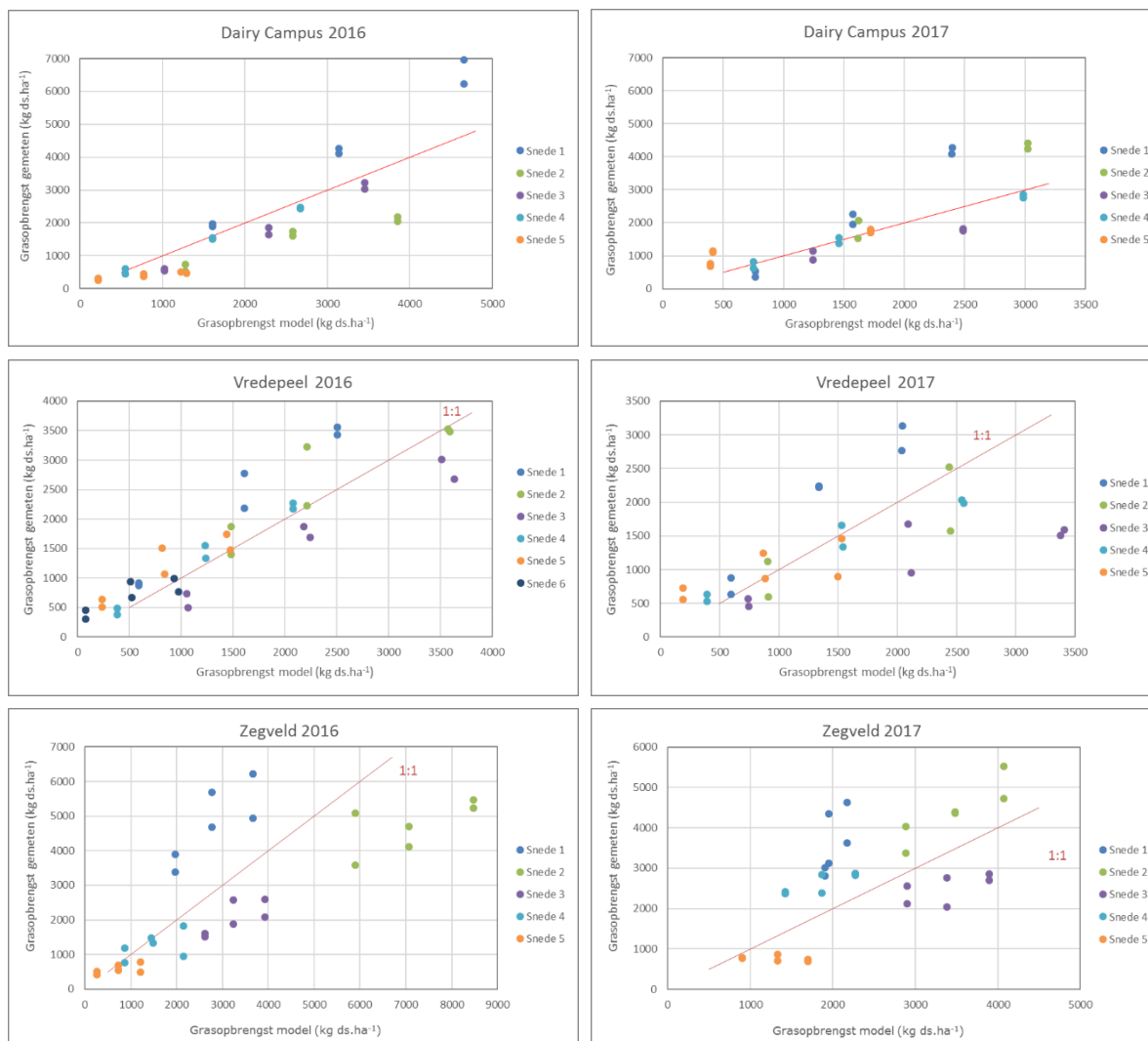
Figuur 27 Gemeten drogestofopbrengsten per snede met een vergelijking per locatie (links 2016 en rechts 2017) tussen de herhalingen van de behandelingen Groeiduur (T4) en Stikstofbemesting.

De variatie in opbrengsten op KTC Zegveld en Dairy Campus was kleiner dan die op Vredepeel. De grootste afwijkingen op Vredepeel werden gevonden in 2017 voor de N0 en N1 veldjes voor snede 1 tot en met 4. De oorzaak van de gevonden variatie wordt niet verklaard door verschil in botanische samenstelling, aangezien op Vredepeel de verschillen tussen de voorkomende grassen en kruiden in 2017 relatief klein waren (zie Bijlage 3).

Bodemvocht

In relatief natte perioden was vooral voor de proeflocaties Zegveld en Dairy Campus de gemeten vochtinhoud van de wortelzone aanmerkelijk hoger dan de berekende vochtinhoud. Dit komt omdat in het gebruikte vochtmodel een maximale vochtinhoud wordt aangehouden ter grootte van de veldcapaciteit. Dit is de hoeveelheid vocht in de wortelzone die overeenkomt met een zuigspanning ter grootte van $pF=2,0$. Ook wordt geen rekening gehouden met drainagemiddelen, zoals de aanwezigheid van sloten, greppels of drainagebuizen. Het betreft dus een sterke versimpeling van de werkelijkheid, die kan volstaan voor relatief droge gronden zonder de aanwezigheid van de bovenvermelde drainagemiddelen.

Een consequentie van de versimpelde benadering was dat de berekende grasgroei in het natte traject niet gereduceerd werd. Dit was vooral aan de orde eind juni 2016 op de locaties Zegveld en Vredepeel. Om te zien hoeveel effect het overschatten of onderschatten van de vochtsituatie was is in Figuur 28 per snede per locatie per jaar de modelmatig berekende potentiële grasgroei (zonder correctie voor bodemvochttoestand) uitgezet tegen de gemeten grasopbrengst voor Groeiduur T4 en Stikstofbemesting (N0-N2), inclusief KTC Zegveld 2016.



Figuur 28 Berekende potentiële grasgroei (geen correctie voor bodemvochttoestand) per snede per locatie per jaar uitgezet tegen de gemeten grasopbrengst voor Groeiduur T4 en Stikstofbemesting (N0-N2).

Voor Dairy Campus werden de grasopbrengsten minder onderschat (vooral eerste snede 2016) door een minder limiterende bodemvochtsituatie (zie ter vergelijking Figuur 15). Voor Vredepeel veranderden de gemodelleerde opbrengsten relatief weinig voor beide proefjaren. Dit was ook het geval voor KTC Zegveld 2016. Voor KTC Zegveld 2017 lagen in het algemeen de voorspellingen van de ongecorrigeerde groei van snede dicht bij de 1:1 lijn. De onderschatting van de opbrengsten van snede 1, 2 en 4 werd kleiner, echter de opbrengsten van snede 3 en 5 werden overschat. De overschatting van de stikstofopname in 2016 en de onderschatting van de stikstofopname in 2017 was uiteindelijk meer bepalend voor de modelschattingen dan de mate van vochtreductie.

Stikstofleverend vermogen

In de modelmatige schatting van grasgroei speelt de stikstoflevering van de bodem een grote rol. De berekende stikstoflevering van de bodem op basis van de stikstofopbrengst van de onbemeste velden, week sterk af van de geschatte NLV (volgens bodemanalyse) en was verschillend tussen jaren en tussen herhalingen. Dit duidt op enerzijds heterogeniteit in het perceel en anderzijds op ongrijpbare bodeminformatie. Vanwege de grote invloed die stikstof heeft op de voorspelde grasgroei, is de grasgroei berekend op basis van de werkelijk gemiddelde stikstoflevering per locatie per jaar. Dit betekent dat de afwijkingen van het model groter zullen zijn dan in paragraaf 4.5.1 zijn weergegeven, naarmate de bodemanalyses meer afwijken van de werkelijke stikstoflevering.

Benadering stikstofgehalte

Het stikstofgehalte werd door het groeimodel niet goed geschat. Dit is te verklaren doordat het stikstofgehalte berekend wordt door de geschatte stikstofopbrengst te delen door de geschatte drogestofopbrengst. Aangezien het stikstofgehalte een zeer klein deel betreft van de totale biomassa levert deze benadering een zeer onnauwkeurige schatting. Beter is om het stikstofgehalte evenals de drogestofopbrengst en de stikstofopbrengst apart te schatten. Het percentage verklaarde variantie blijkt dan ongeveer 65% te zijn.

5.4 Reflectiemetingen eBee drone

De reflectiemetingen met de eBee camera zijn in principe vergelijkbaar met die van de CropScan, echter de correlatiecoëfficiënten tussen de meetdata van beide camera's bleken relatief laag. Dit heeft als consequentie dat bij toepassing van het kalibratiemodel voor de CropScan op de eBee data, informatie verloren gaat en dit leidt tot een minder goede schatting van de drogestofopbrengst. Voor de matige correlatie tussen de data van beide radiometers zijn een aantal mogelijke verklaringen, namelijk:

1. de wijze van kalibratie van de lichtsensoren
2. de correctie voor inkomend licht
3. verschil tussen de golflengtes en de banden waarin gemeten wordt
4. verschil in tijdstip van meting.

In het navolgende zijn de verschillen nader toegelicht.

Ad1. Wijze van kalibratie van de lichtsensoren

De CropScan wordt jaarlijks gekalibreerd door de fabrikant en in het veld wordt geen kalibratieplaat gebruikt. De Multispec 4C camera van de eBee wordt daarentegen voor elke vlucht gekalibreerd met een witte plaat waarvan de reflectiewaarde bekend is. Op basis hiervan wordt een statistische correctie uitgevoerd voor de meetwaarden van alle vier sensoren. Aangezien de ruwe meetdata niet beschikbaar zijn, is niet te controleren in welke mate een correctie is uitgevoerd. Bij een succesvolle kalibratie zou de meetdata van de witte plaat over de meetdata heen vergelijkbaar moeten zijn. In Tabel 29 staan de reflectiepercentages per meettijdstip per kleurenband van de witte plaat die additioneel als één van de vier kalibratieplaten in de metingen werd meegenomen.

Tabel 29 Reflectiepercentages per meettijdstip per kleurenband van de additionele witte kalibratieplaat die in de metingen werd meegenomen.

Data	GREEN	RED	REDGE	NIR
1-6-2016	0.221	0.270	0.464	0.503
9-8-2016	0.152	0.437	0.416	0.456
12-9-2016	0.368	0.488	0.582	0.632
20-10-2016	0.139	0.148	0.476	0.470
8-5-2017	0.125	0.147	0.515	0.538
13-6-2017	0.291	0.327	0.597	0.646
18-7-2017	0.137	0.146	0.490	0.476
Gemiddeld	0.205	0.280	0.506	0.532

Opvalt dat het percentage reflectie behoorlijk varieert en dat de percentages toenemen naarmate de golflengtes van de kleurenbanden toenemen. Bij de metingen van de vier kalibratieplaten met de CropScan was dit laatste niet het geval en waren de percentages reflectie van de kleurenbanden per kalibratieplaat vergelijkbaar (Tabel 7 en 27).

Ad 2. Correctie voor inkomend licht

Vanwege de hoogte waarop de eBee vliegt corrigeert de Multispec 4C camera voor de lichtsterkte van inkomend licht ten opzichte van de lichtsterkte dat reflecteert van het meetvlak ter hoogte van het

bladerdek van het gewas (ambient light sensor). Het betreft één correctie voor het gehele spectrum en één meetwaarde voor inkomend licht tegenover een veelvoud aan meetwaarden vanaf het meetvlak ter hoogte van het gewasoppervlak. Binnen het meetvlak kan variatie in lichtsterkte voorkomen bijvoorbeeld door schaduwwerking van bewolking. Wanneer bij een schuine instraling van de zon, vroeg in de ochtend of laat in de middag, dan is het mogelijk dat de lichtsensor voor het inkomende licht geen bewolking detecteert, terwijl dit op het meetvlak wel het geval is. Dit leidt tot afwijkende meetwaarden. Bij de eBee metingen is noodgedwongen een aantal keer aan het eind van de middag gevlogen, omdat door luchthaven Leeuwarden geen permissie werd gegeven om rond het middaguur te vliegen.

Ad 3. Verschil tussen golflengtes en banden waarin gemeten wordt

De banden van de eBee Multispec 4c camera kwamen redelijk overeen met vier van de zestien golflengtes van de CropScan die op Dairy Campus gebruikt is (MSR16R). Wel wordt bij de Multispec camera een beduidend bredere bereik aan golflengtes gebruikt waardoor reflectiepercentages behoorlijk kunnen afwijken. In Tabel 30 staan de gehanteerde banden de golflengtes voor respectievelijk de Multispec 4c camera en de CropScan.

Tabel 30 Golflengtes van de eBee Multispec 4 c camera (inclusief bandbreedte) en de CropScan (MSR16R) radiometer.

Band	eBee Multispec 4c	CropScan MSR16R
Green	550 ± 40	560
Red	660 ± 40	670
Red edge	735 ± 10	730
Near infrared	790 ± 40	780

Ad 4. Verschil in tijdstip van meting

Om metingen over tijdstippen heen beter te kunnen vergelijken is een standaardisatie uitgevoerd op basis van het gebruik van kalibratieplaten. De standaardisatie leidde echter niet tot de gewenste verbetering in de schatting van drogestofopbrengst. Dit kan betekenen dat geen goede methode is gekozen voor de standaardisatie of dat standaardisatie geen oplossing is voor het verkleinen van variantie.

6 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

- Modelmatig berekende grasgroei gaf over locaties heen de beste voorspelling ($R^2=72\%$) voor drogestofopbrengst, daarna grashoogte ($R^2=65\%$) en vervolgens reflectiemetingen ($R^2=56\%$).
- Voor wat betreft de reflectiemetingen met de CropScan was de vegetatie-index $WDVI_{red}$ de beste schatter voor zowel drogestofopbrengst als het verschil in drogestofopbrengst.
- Hierbij was de schatting voor het verschil in drogestofopbrengst nauwkeuriger dan voor de absolute drogestofopbrengst.
- Na $WDVI_{red}$ presteerden voor drogestofopbrengst en verschil in drogestofopbrengst de individuele golflengten 760 en 810 en de index $WDVI_{green}$ vergelijkbaar. Deze individuele golflengten en indexen presteerden aanmerkelijk beter dan de overige vegetatie-indexen.
- Het combineren van basale groeidata met reflectiemetingen en/of grashoogtemetingen verbeterden de schatting van drogestofopbrengst aanzienlijk. Ook het combineren met het groeimodel leverde voor grashoogte en reflectiemetingen betere schattingen op, evenals reflectiemetingen gecombineerd met grashoogte.
- Reflectiemetingen gaven voor stikstofgehalte geen bruikbare voorspelling. De beste schatter was golflengte 560 nm (groen).
- Door een matige correlatie tussen de meetdata van de CropScan en de eBee Multispec 4c camera was het CropScan kalibratiemodel voor de eBee niet bruikbaar. Zodoende is voor de eBee een apart kalibratiemodel gemaakt als ijklijn voor het schatten van drogestofopbrengst.
- Voor de eBee was de vegetatie-index $NDVI$ de beste schatter voor drogestofopbrengst.
- Standaardisatie van de eBee data over meetmomenten heen op basis van kalibratieplaten leidde niet tot betere schattingen.
- De modelmatig berekende grasgroei is gevoelig voor (1) een verkeerde schatting van de NLV, (2) een afwijkende benadering van het vrijkomen van stikstof gedurende het groeiseizoen, (3) een afwijking van de worteldiepte (4) een afwijkende benadering van de bodemvochttoestand en (5) afwijkingen in neerslag en verdamping.
- Een afwijking in de stikstofbeschikbaarheid had een grotere impact op de voorspelde grasgroei dan een afwijking in de benadering van de bodemvochttoestand.

Aanbevelingen

- Het combineren van databronnen lijkt perspectiefvol om meer grip te krijgen op de te verwachten grasopbrengst. Aanbevolen wordt om in te zetten op een modelmatige grasgroei-voorspelling als basis en deze aan te vullen met reflectiemetingen (remote sensing) of grashoogtemetingen. Bekeken moet worden op welke wijze dit praktisch uitvoerbaar is.
- Voor hydrologisch complexere bodems zou een bodemvochtmodel gebruikt moeten worden dat rekening houdt met de aanwezigheid van o.a. drainagemiddelen en hydrologische kenmerken, zoals kwel en wegzijging.
- De actuele stikstoflevering uit de bodem kan nog niet goed worden gemeten en de modelmatige schatting zou beter kunnen. Aanbevolen wordt om te zien of met sensorontwikkeling en modellering dit te verbeteren is.

7 Valorisatie

Groeivoorspelling

De webapplicatie GrasSignaal zoals die in het onderzoek is toegepast voor groeivoorspelling wordt doorontwikkeld tot een applicatie die melkveehouders praktisch kunnen inzetten. Om een webapplicatie te kunnen draaien is data nodig en moeten modellen worden aangestuurd. Hiertoe wordt een user interface gemaakt waarbij het invoeren van data tot een minimum beperkt wordt, door zoveel mogelijk gebruik te maken van data die generiek beschikbaar is, zoals weerdata, bodemtextuur, hydrologische kenmerken en grondgebruik (BedrijfsRegistratiePercelen van de RVO). Alle data worden ruimtelijk als een kaartlaag ingebracht om data te kunnen koppelen.

Het programma berekent de actuele en voorspelde drogestofopbrengst, stikstofgehalte en groei per dag op basis waarvan het gemakkelijker wordt om het graslandgebruik te plannen. Deze data moeten bijdragen aan een efficiënter graslandgebruik. Melkveehouders geven aan vooral behoefte te hebben aan het bepalen van het gewenste inschaarhoeveelheid bij weiden en het stikstofgehalte van gras bij maaien voor ruwvoerderwinning.

Voor het verbeteren van de graslandplanning kan GrasSignaal bijvoorbeeld de door Wageningen Livestock Research ontwikkelde 'feedwedges' voor omweiden en standweiden voeden met de voorspelde grasgroei. Op termijn zouden deze programma's digitaal gekoppeld kunnen worden.

Remote sensing

Het gebruik van remote sensing kent meerdere toepassingen. Zo leveren Europese aardobservatie satellieten multispectrale beelden die door de Nederlandse overheid gratis ter beschikking worden gesteld. Ook landbouw kan hier gebruik van maken. Een belangrijk nadeel is dat de beelden alleen bij onbewolkt weer bruikbaar zijn. Er komen wel steeds meer satellieten bij waardoor de kans op bruikbare beelden toeneemt. Ook wordt de kwaliteit van de beelden beter door een betere correctie voor atmosferische ruis en wordt de resolutie hoger. Wageningen Environmental Research vertaalt de beschikbare satellietbeelden naar biomassa-kaarten (NDVI). Deze kaarten zijn beschikbaar via www.groenmonitor.nl. Bekeken zal worden of $WDVI_{red}$ ook voor de satellietbeelden een betere voorspelling geeft voor drogestofopbrengst en of verschil in drogestofopbrengst in een ranking over percelen van een bedrijf tot uitdrukking kan worden gebracht.

Met drones kunnen vergelijkbare spectrale beelden worden verkregen. Deze zijn minder afhankelijk van bewolking en de resolutie is aanzienlijk hoger. Dit vergroot de toepassingsmogelijkheden van het gebruik van reflectiemetingen. Een groot voordeel is dat de variatie in biomassa binnen percelen inzichtelijk wordt. Satelliet en dronebeelden zijn vooral geschikt voor monitoring van gewasgroei. Camera's die op een trekker of machine zijn gemonteerd (near sensing) lijken vooral geschikt voor het meten van de eindopbrengst bij oogst.

8 Vervolg

Verdere ontwikkeling GrasSignaal

GrasSignaal wordt doorontwikkeld en geïmplementeerd in de praktijk. In het onderzoek was het gebruik van GrasSignaal gericht op het valideren van geschatte grasopbrengst. De interface van het programma was echter nog niet gericht op praktijktoepassing. Zodoende wordt in het kader van de Publiek-Private Samenwerkingen Amazing Grazing (www.amazinggrazing.eu) en DISAC (<https://subsites.wur.nl/nl/plb/PL-Projecten/DISAC.htm>) het programma in 2019 geherprogrammeerd en getest op vijf praktijkbedrijven en melkveeoproefbedrijf De Marke. Daarbij ligt de focus in Amazing Grazing op groeivoorspelling en in DISAC op het schatten van het stikstofgehalte van gras. Voor bodemvocht wordt de webapplicatie BeregeningsSignaal vervangen door een bodemvochtapplicatie die op het internetplatform Akkerweb komt te draaien ter ondersteuning van meerdere webapplicaties. Geconstateerd is dat het gebruikte bodemvochtmodel te eenvoudig was voor complexe hydrologische omstandigheden. Het tot nu toe gebruikte bodemvochtmodel is ontwikkeld voor zandgrond en houdt onvoldoende rekening met hydrologische randvoorwaarden, zoals sloten, kwel/wegzijing, wel/geen drainage en de aanwezigheid van greppels. In samenwerking met Wageningen Environmental Research wordt gewerkt aan de implementatie van een aanmerkelijk geavanceerder bodemvochtmodel, die wel met deze aspecten rekening houdt en bovendien een inschatting maakt voor het verloop van de grondwaterstand. Voor de benodigde (uitgebreidere) invoerdata voor bodem en hydrologie is door Wageningen Environmental Research een speciale webservice ontwikkeld. GrasSignaal zal volledig autonoom gebruik maken van dit bodemvochtmodel op basis van data die gekoppeld zijn aan de betreffende percelen (weer, bodemtextuur en hydrologie). Voor een aantal variabelen, zoals worteldiepte, wordt gebruik gemaakt van defaultwaarden. Mocht de gebruiker meer inzicht willen hebben in de voorspelling van bodemvocht dan kan de desbetreffende webapplicatie geopend worden om voor alle variabelen de invoerwaarden te bekijken en eventueel te wijzigen.

Koppelen van databronnen

Voor het verbeteren van de grasgroeivoorspelling is de ambitie om een koppeling te maken met grashoogtemetingen en reflectiemetingen, aangezien gebleken is dat door het combineren van deze databronnen de werkelijke grasopbrengst beter benaderd wordt. Voor grashoogtemetingen moet bekeken worden hoe met een beperkt aantal gerichte metingen de groeivoorspelling bedrijfsbreed verbeterd kan worden. Met satellietbeelden en droneopnames kan ook een koppeling gemaakt worden om tot een betere voorspelling te komen. Ook data van sensoren voor het meten van bodemtemperatuur, bodemvocht en grondwaterstand en lokale weerstations kunnen de voorspelling verbeteren.

Vervolgonderzoek reflectiemetingen

Verdere analyse van de reflectiemetingen. Geprobeerd wordt om te achterhalen welk gewassenmerk zorgt voor verschillende correlaties tussen sneden of tijdstippen in het groeiseizoen.

In het kader van DISAC is in 2018 de maaiproef voortgezet en uitgebreid om meer grip te krijgen op het meten van stikstof met reflectiemetingen om golf lengtes te vinden die een goed verband hebben met het stikstofgehalte en door te zien waar informatie verloren gaat. Hiertoe is per snede per veldje gras in de volgende vier stappen gemeten: (1) buiten op stam onder ideale condities zonder enige vorm van bewolking, (2) binnen vers gemaaid met een externe lichtbron, (3) binnen gedroogd met een externe lichtbron en (4) laboratoriumanalyse met NIRS door Eurofins Agro volgens standaard protocol (gedroogd, gemalen en gehomogeniseerd).

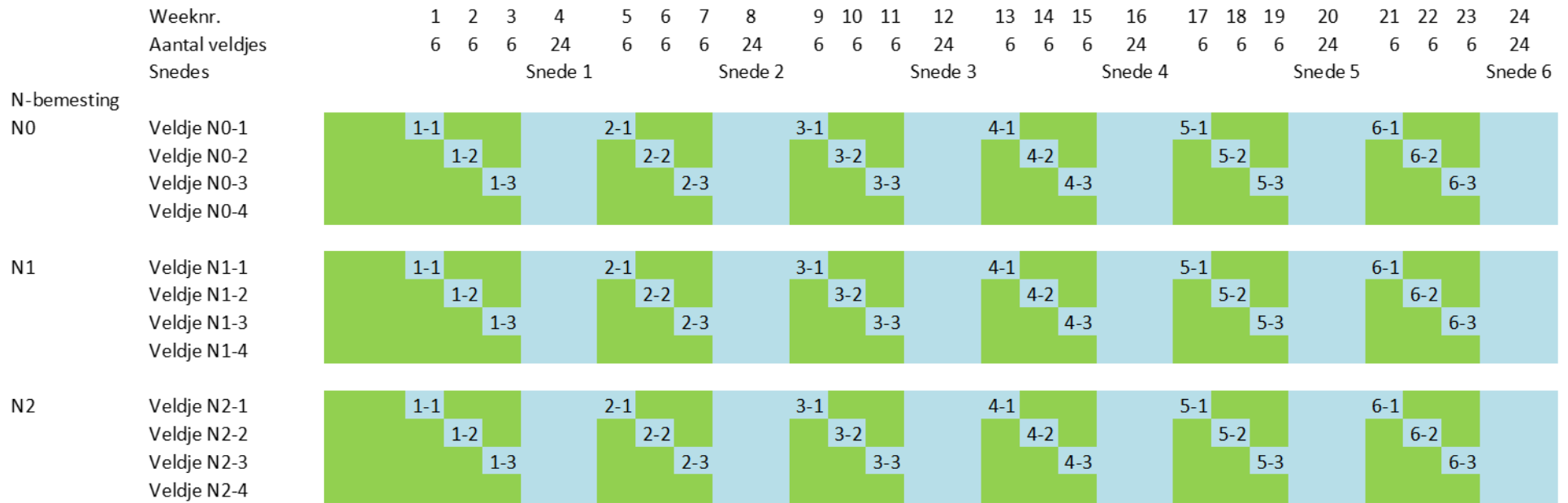
Literatuur

- Barnes, E., T. Clarke, S. Richards, P. Colaizzi, J. Haberland, M. Kostrzewski, P. Waller, C. Choi, E. Riley, and T. Thompson. 2000. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground based multispectral data. In *Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture, Bloomington, MN*, 16-19.
- Biewer, S., T. Fricke, and M. Wachendorf. 2009c. Determination of dry matter yield from legume-grass swards by field spectroscopy. *Crop Science* 49(5):1927-1936.
- Birth, G. S., and G. R. McVey. 1968. Measuring the color of growing turf with a reflectance spectrophotometer. *Agronomy Journal* 60(6):640-643.
- Booij A. Van Duimstok tot volautomatisch, 2014. Arnhem, CRV Uitgeverij. Veeteelt Gras extra 2014
- Christensen, L. K. 2004. NPK deficiencies discrimination by use of spectral and spatial response. Ph. D. Thesis. The Royal Veterinary and Agricultural University, Department of Agricultural Sciences, Denmark.
- Clevers, J. 1989. Application of a weighted infrared-red vegetation index for estimating leaf area index by correcting for soil moisture. *Remote Sensing of Environment* 29(1):25-37.
- Clevers, J. G., and L. Kooistra. 2012. Using hyperspectral remote sensing data for retrieving canopy chlorophyll and nitrogen content. *IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing* 5(2):574-583.
- Clevers, J. G. P. W., and A. A. Gitelson. 2013. Remote estimation of crop and grass chlorophyll and nitrogen content using red-edge bands on Sentinel-2 and -3. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 23:344-351.
- Cristiano, P. M., G. Posse, C. M. Di Bella & F. R. Jaimes, 2010. Uncertainties in fPAR estimation of grass canopies under different stress situations and differences in architecture, *International Journal of Remote Sensing*, 31:15, 4095-4109.
- CROPSCAN, 2016. Multispectral Radiometers. Available at: <http://www.cropscan.com/msr.html>. Accessed 15-11.
- Dash, J., and P. J. Curran. 2004. The MERIS terrestrial chlorophyll index. *International Journal of Remote Sensing* 25(23):5403-5413.
- Doorenbos, J. & Kassam, A.H. 1979. Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33*. Rome, FAO.
- Feddes, R.A., P.J. Kowalik and H. Zaradny, 1978. Simulation of field water use and crop yield. *Simulation Monographs*. Pudoc. Wageningen. 189 pp.
- Filella, I., L. Serrano, J. Serra, and J. Penuelas. 1995. Evaluating wheat nitrogen status with canopy reflectance indices and discriminant analysis. *Crop Science* 35(5):1400-1405. GenStat 16th edition, 2013. VSN International Ltd
- Gitelson, A., and M. N. Merzlyak. 1994. Quantitative estimation of chlorophyll-a using reflectance spectra: Experiments with autumn chestnut and maple leaves. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 22(3):247-252.
- Gitelson, A. A., Y. Gritz, and M. N. Merzlyak. 2003. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of Plant Physiology* 160(3):271-282.
- Govender, M., P. J. Dye, I. M. Weiersbye, E. T. F. Witkowski, and F. Ahmed. 2009. Review of commonly used remote sensing and ground-based technologies to measure plant water stress. *35(5):741-752*.
- Guyot, G., and F. Baret. 1988. Utilisation de la haute resolution spectrale pour suivre l'etat des couverts vegetaux. In *Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing*, 279.
- Hatfield, J., A. A. Gitelson, J. S. Schepers, and C. Walthall. 2008. Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. *Agronomy Journal* 100(Supplement_3):S-117-S-131.
- Holshof G. and A. van den Pol-van Dasselaar, 2014. Modelling DM growth of multi-species grassland plots in the Netherlands. *Grassland Science in Europe*, Vol. 19, 725-727.
- Holshof, G., and M. Stienezen, 2016. Grasmeter meten met de grashoogtemeter. Wageningen UR Livestock Research. Livestock Research Report 925

-
- Horler, D. N. H., M. Dockray, and J. Barber. 1983. The red edge of plant leaf reflectance. *International Journal of Remote Sensing* 4(2):273-288.
- Hoving, I.E. en J.W. van Riel 2003. Het effect van diverse beregeningsstrategieën op de opbrengst van gras. In: Gebundelde verslagen van de Nederlandse vereniging voor weide- en voederbouw, 2002-2003, nr. 39.
- Hoving I.E., C. Kempenaar, S. Heijting, T. Been, B. Philipsen, R. Vlemminx, G. Roerink en G. Hermans, 2015. GrasMaïs-Signaal; adviessysteem precisielandbouw melkveehouderij. Haalbaarheidsstudie naar het genereren van opbrengst- en voederwaardekengetallen met sensoren en modellen voor gras en maïs. Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 842.
- Huete, A., K. Didan, T. Miura, E. P. Rodriguez, X. Gao, and L. G. Ferreira. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83(1-2):195-213.
- Kamenova, I. B. 2013. Opportunities of hyperspectral vegetation indices to assess nitrogen and chlorophyll content in potato, maize and grassland.
- Knipling, E. B. 1970. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing of Environment* 1(3):155-159.
- Knyazikhin, Y., A. Marshak, and R. B. Myneni. 2005. 3D radiative transfer in vegetation canopies and cloud-vegetation interaction. In *3D Radiative Transfer in Cloudy Atmospheres*, 617-651. Springer.
- Le Roux, X., H. Gauthier, A. Béqué and H. Sinoquet, 1997. Radiation absorption and use by humid savanna grassland: Assessment using remote sensing and modelling. *Agricultural and Forest Meteorology* 85 (1997) 117-132.
- Li Jianlong , Liang Tiangang & Chen Quangong (1998) Estimating grassland yields using remote sensing and GIS technologies in China, *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 41:1, 31-38.
- Mansour, K., Mutanga, O., Everson, T. Adams, E., 2012. Discriminating indicator grass species for rangeland degradation assessment using hyperspectral data resampled to AISA Eagle resolution. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 70 (2012) 56-65.
- Mistele, B., and U. Schmidhalter. 2008. Estimating the nitrogen nutrition index using spectral canopy reflectance measurements. *European Journal of Agronomy* 29(4):184-190.
- Mutanga, O., and A. K. Skidmore. 2004. Narrow band vegetation indices overcome the saturation problem in biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing* 25(19):3999-4014.
- Payero, J. O., C. M. U. Neale, and J. L. Wright. 2004. Comparison of eleven vegetation indices for estimating plant height of alfalfa and grass. *American Society of Agricultural Engineers* Vol. 20(3): 385-393.
- Papadavid, G., D. G. Hadjimitsis, L. Toullos, and S. Michaelides. 2013. A Modified SEBAL Modeling Approach for Estimating Crop Evapotranspiration in Semi-arid Conditions. *Water Resources Management* 27(9):3493-3506.
- Richardson, A. D., S. P. Duigan, and G. P. Berlyn. 2002. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. *New Phytologist* 153(1):185-194.
- Rouse Jr, J. W., R. Haas, J. Schell, and D. Deering. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA special publication* 351:309.
- Schut, A. G. T. 2003. *Imaging spectroscopy for characterisation of grass swards*. [sn].
- Schut, A. G. T., and J. J. M. H. Ketelaars. 2003. Assessment of seasonal dry-matter yield and quality of grass swards with imaging spectroscopy. 58(4):385-396.
- Soesbergen, G.A. van, C. van Wallenburg, K.R. van Lynden en H.A.J. van Lanen, 1986. De interpretatie van bodemkundige gegevens. Systeem voor de geschiktheidsbeoordeling van gronden voor akkerbouw, weidebouw en bosbouw. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering. Rapport nr. 1967
- Thiessen, M. B. E. 2015. Harvest management of grassland using a grass growth model and crop reflectance measurements. MSc Thesis Farm Technology.
- Vescovo, L., and D. Gianelle. 2008. Using the MIR bands in vegetation indices for the estimation of grassland biophysical parameters from satellite remote sensing in the Alps region of Trentino (Italy). *Advances in Space Research* 41(11):1764-1772.
- Wosten, J.H.M., Vries, F., de Hoogland, T., Massop, H.T.L., Veldhuizen, A.A., Vroon, H.R.J., Wesseling, J.G., Heijkers, J., Bolman, A. 2012. BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2387.

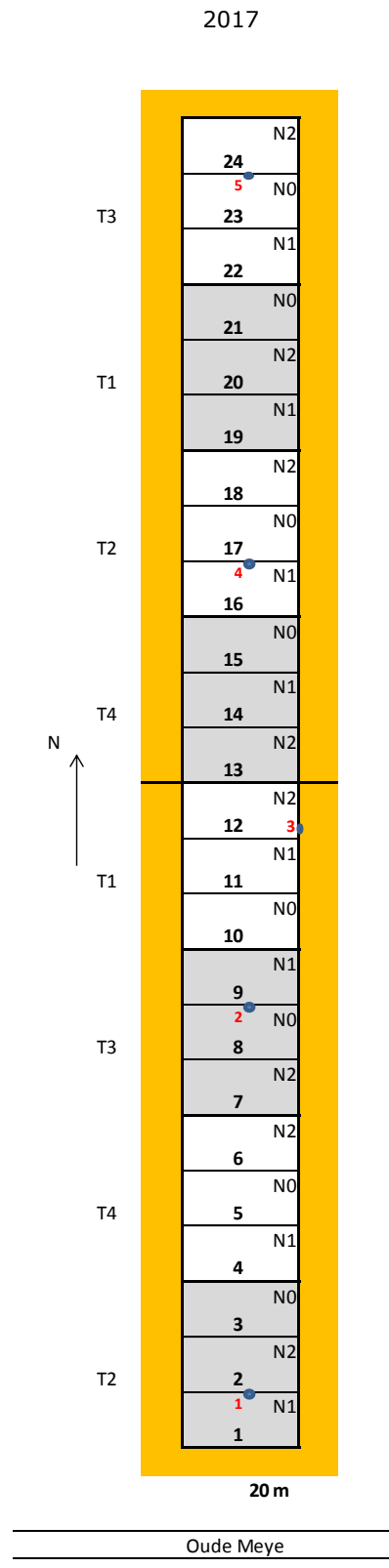
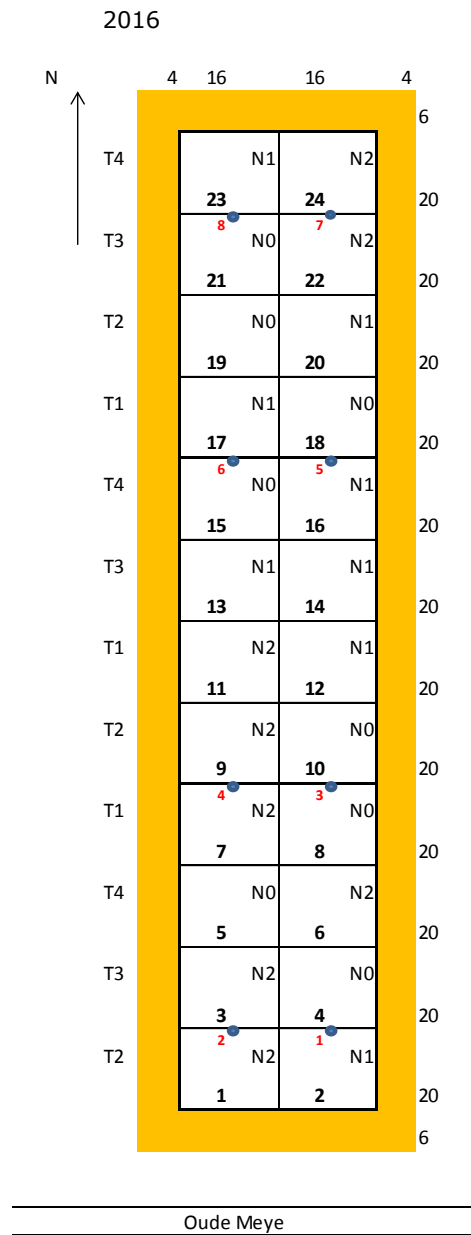
Bijlage 1 Tijdschema maaien per proeflocatie

Tijdschema per grondsoort (enkelvoud)

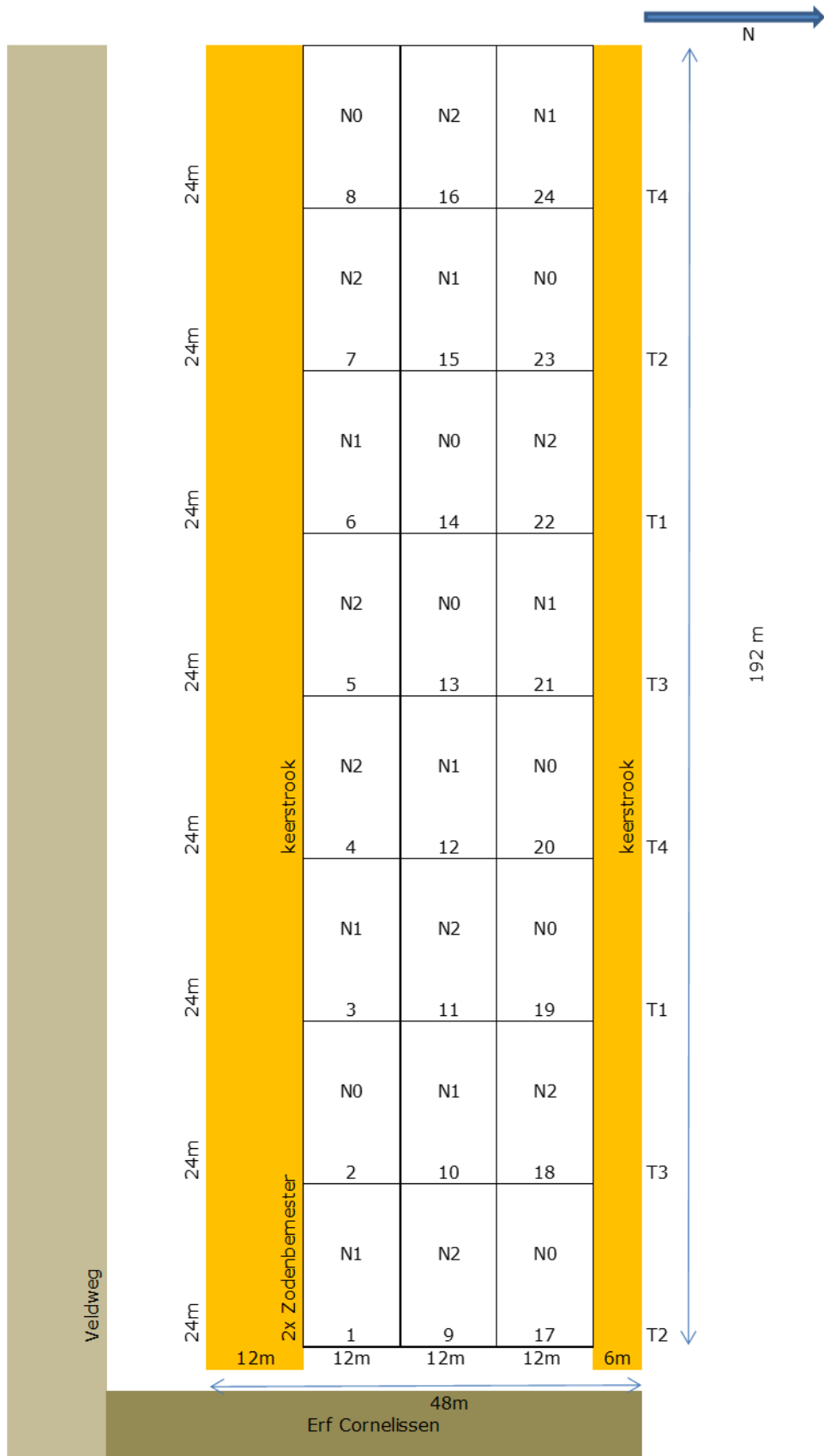


Bijlage 2 Proefveldschema per locatie

KTC Zegveld

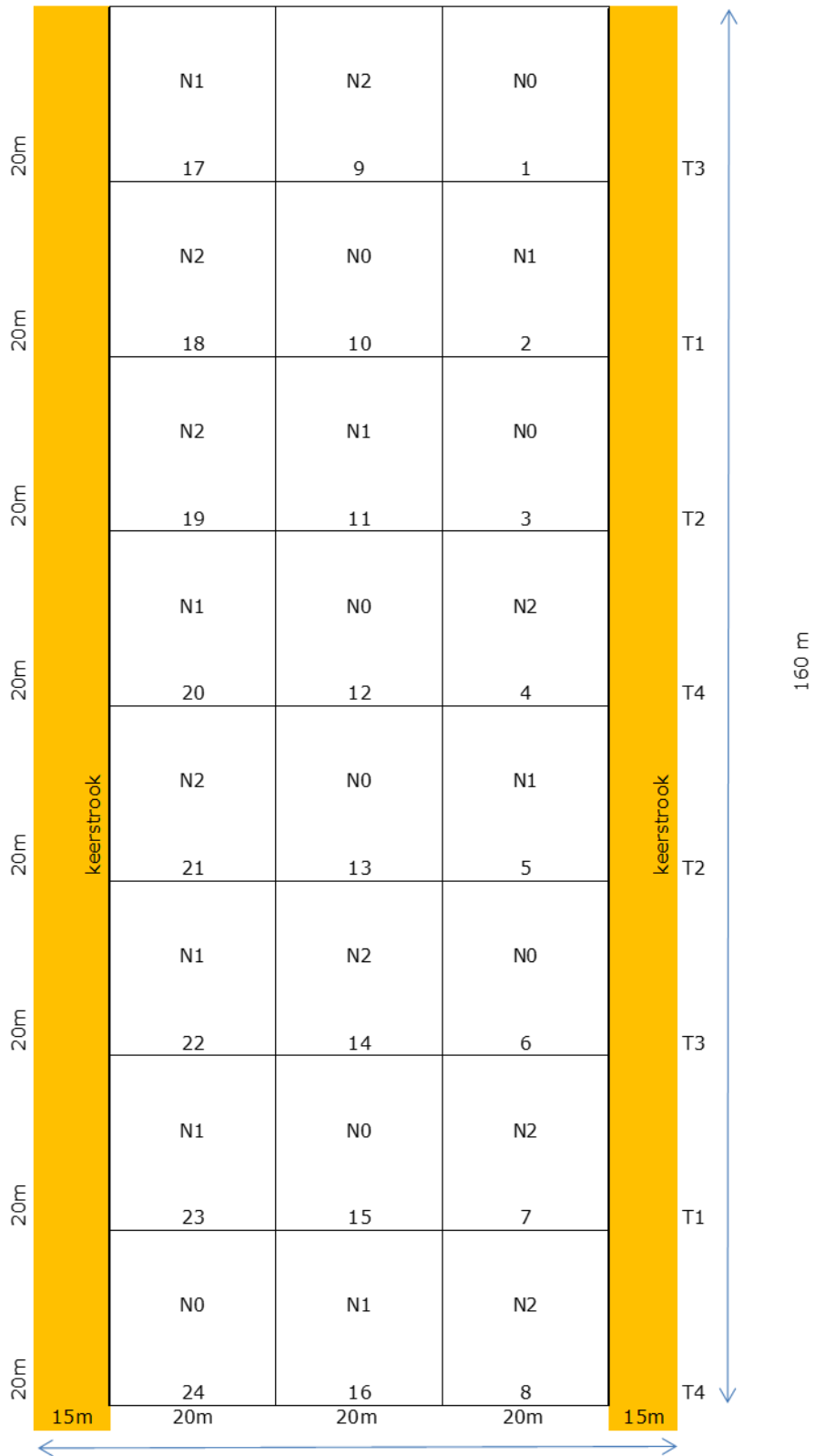


Vredepeel



Dairy Campus

K4



Bijlage 3 Botanische samenstelling

Dairy Campus

Tabel 1 Botanische kartering locatie Dairy Campus bij aanvang van de proef op 4 mei 2016.

veldnr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Behandeling	N0	N1	N0	N2	N1	N0	N2	N2	N2	N0	N1	N0	N0	N2	N0	N1	N1	N2	N2	N1	N2	N1	N1	N0	
Omschrijving																									
Totale bezetting	90	92	90	95	95	90	95	95	95	90	90	90	90	95	90	92	95	95	95	95	98	95	95	92	
Engels raaigras	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	
veldbeemdgras																									
beemdlangbloem																									
ruw beemdgras	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
timotheegras																									
rogge																									
Festulolium																									
Rietzwenk																									
witte klaver	+	+		+								+	+						+			+	+		
rode klaver																									
kweek																									
fioringras																									
gestreepte witbol																									
kroppaar																									
rietgras																									
zachte dravik																									
ruwe smele																									
mannagras																									
straatgras	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
grote vossestaart																									
geknikte vossestaart																									
paardebloem		+				+						+	+				+								
kr boterbloem												+													
ridderzuring	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
krulzuring					+			+						+		+									
scherpe boterbloem																									
melkdistel																									
brandnetel																									
biggekruid																									
vogelmuur																									
pinksterbloem																									
brede weegbree	+		+	+						+	+						+				+				
fluitekruid																									
kleine veldkers																									
madeliefje										+															
akkerdistel																									
gele waterkers																									
waterpeper																									
veldzuring																									
speenkruid																									
klein kruiskruid																									
blaartrekkende boterbloem																									
kluwenhoornbloem																									
gewone hoornbloem																									
varkensgras																									
paarse dovenetel																									
herderstasje																									
hondsdrif																									
speerdistel																									
herfst leeuwetand																									
zachte ooievaarsbek																									
zarte nachtschade																									
+ = wel aanwezig, maar < 1%																									

Tabel 2 Botanische kartering locatie Dairy Campus bij aanvang van de proef op 11 november 2016.

veldnr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Behandeling	N0	N1	N0	N2	N1	N0	N2	N2	N2	N0	N1	N0	N0	N2	N0	N1	N1	N2	N2	N1	N2	N1	N1	N0
Omschrijving																								
Totale bezetting	90	95	92	95	95	92	95	95	95	90	92	90	90	95	90	92	95	98	98	95	98	98	98	90
Engels raaigras	88	93	91	93	93	88	93	93	91	93	93	93	93	92	93	92	93	91	93	93	90	93	93	93
veldbeemdgras																								
beemdlangbloem																								
ruw beemdgras	8	5	6	5	5	8	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5
timotheegras																								
rogge																								
Festulolium																								
Rietzwenk																								
witte klaver	+	+		+								+								+			+	+
rode klaver																								
kweek																								
fioringras																								
gestreepte witbol																								
kropaar																								
rietgras																								
zachte dravik																								
ruwe smele																								
mannagras																								
straatgras	4	2	3	2	2	4	2	2	4	2	2	3	2	3	2	3	2	4	2	2	4	2	2	2
grote vossesstaart																								
geknikte vossesstaart																								
paardebloem		+				+						+	+				+							
kr boterbloem																								
ridderzuring	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
krulzuring					+																			
scherpe boterbloem																								
melkdistel																								
brandnetel																								
biggekruid																								
vogelmuur																								
pinksterbloem																								
brede weegbree	+		+	+			+	+		+	+			+	+			+		+		+		
fluitekruid																								
kleine veldkers																								
madeliefje																								
akkerdistel																								
gele waterkers																								
waterpeper																								
veldzuring																								
speenkruid																								
klein kruiskruid																								
blaartrekkende boterbloem																								
kluwenhoornbloem																								
gewone hoornbloem																								
varkensgras																								
paarse dovenetel																								
herderstasje																								
hondsdrif																								
speerdistel																								
herfst leeuwetand																								
zachte ooievaarsbek																								
zarte nachtschade																								
+ = wel aanwezig, maar < 1%																								

Tabel 4 Botanische kartering locatie Vredepeel bij aanvang van de proef op 3 mei 2016.

veldnr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	N1	N0	N1	N2	N2	N1	N2	N0	N2	N1	N2	N1	N0	N0	N1	N2	N0	N2	N0	N0	N1	N2	N0	N1
Omschrijving																								
Totale bezetting	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
Engels raaigras	98	98	99	98	99	98	99	97	99	99	98	99	98	99	99	98	99	98	99	99	99	98	99	99
veldbeemdgras																								
beemdlangbloem																								
ruw beemdgras																								
timotheegras																								
rogge																								
Festulolium																								
Rietzwenk																								
witte klaver	+	1	+	+	+	+	+	1	+	+	+	+	1	+	+	+	+	1	+	+	+	+	+	+
rode klaver																								
kweek																								
fioringras																								
gestreepte witbol																								
kroopaar																								
rietgras																								
zachte dravik																								
ruwe smele																								
mannagras																								
straatgras	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
grote vossestaart																								
geknikte vossestaart																								
paardebloem	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
kr boterbloem																								
ridderzuring																								
krulzuring																								
scherpe boterbloem																								
melkdistel																								
brandnetel																								
biggekruid																								
voelmuur	2	1	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1
pinksterbloem																								
brede weegbree																								
fluitekruid																								
kleine veldkers																								
madeliefje																								
akkerdistel																								
gele waterkers																								
waterpeper																								
veldzuring																								
speenkruid																								
klein kruiskruid																								
blaartrekkende boterbloem																								
kluwenhoornbloem																								
gewone hoornbloem																								
varkensgras																								
paarse dovenetel																								
herderstasje																								
hondsdraf																								
speerdistel																								
herfst leeuwetand																								
zachte ooievaarsbek																								
zarte nachtschade																								
+ = wel aanwezig, maar < 1%																								

Tabel 7 Botanische kartering locatie KTC Zegveld bij aanvang van de proef op 6 mei 2016.

veldnr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Behandeling	N2	N1	N2	N0	N0	N2	N2	N0	N2	N0	N2	N1	N1	N1	N0	N1	N1	N0	N0	N1	N0	N2	N1	N2
Omschrijving																								
Totale bezetting	98	98	98	95	95	98	98	95	98	95	98	98	98	98	95	98	98	95	95	98	95	98	95	98
Engels raaigras	58	58	51	58	53	60	53	51	56	55	51	50	52	52	52	56	59	52	52	53	56	52	51	55
veldbeemdgras																								
beemdiangbloem																								
ruw beemdgras	18	20	20	22	20	15	20	18	15	18	18	18	20	22	20	18	18	22	22	25	20	25	22	25
timotheegras	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	+	1	+	+	1	+	+	+	+	+	+	+	+
rogge																								
Festulolium																								
Rietzwenk																								
witte klaver	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+		+	+		+	+	+	+	+	+	+
rode klaver																								
kweek	4	3	5	3	5	6	5	6	6	5	5	4	4	5	5	3	3	4	4	4	5	4	5	3
fioringras	2	2	3	2	3	2	2	2	3	3	2	3	4	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	2
gestreepte witbol	2	1	2	1	2	1	2	2	2	3	2	2	1	1	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1
kropaar																								
rietgras																								
zachte dravik																								
ruwe smele																								
mannagrass																								
straatgras	10	8	10	8	10	12	10	12	12	10	12	12	10	8	8	10	12	10	10	8	8	6	8	8
grote vossestaart																								
geknikte vossestaart	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	3	2	3	3	1	1	2	2	1	2	3	3	2
paardebloem	2	2	1	2	2	1	2	3	2	2	3	2	2	2	3	3	1	2	2	1	1	2	2	2
kr boterbloem	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	2	2	3	1
ridderzuring	+	+		+	+	+	+	+	+		+	+		+	+	+	+		+	+	+	+	+	+
krulzuring																								
scherpe boterbloem	+	+	+	+	+	+		+	+		+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
melkdistel																								
brandnetel																								
biggekruid																								
vogelmuur	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	+	+	1	2	1
pinksterbloem	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+		+	+	+		+	+	+	+	+
brede weegbree	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
fluitekruid																								
kleine veldkers																								
madeliefje	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
akkerdistel																								
gele waterkers																								
waterpeper																								
veldzuring	+		+	+		+	+			+		+	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+
speenkruid																								
klein kruiskruid																								
blaartrekkende boterbloem																								
kluwenhoornbloem	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
gewone hoornbloem	+	+		+	1	+	1	1	+	+	+	1		1	1	+	+	1	+	+	1		1	+
varkensgras	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
paarse dovenetel	1	1	2	+	+	+	+	+	+	+	1	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
herderstasje	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
hondsdrif																								
speerdistel																								
herfst leeuwetand																								
zachte ooievaarsbek																								
zarte nachtschade																								
+ = wel aanwezig, maar < 1%																								

Tabel 8 Botanische kartering locatie KTC Zegveld bij aanvang van de proef op 6 december 2016.

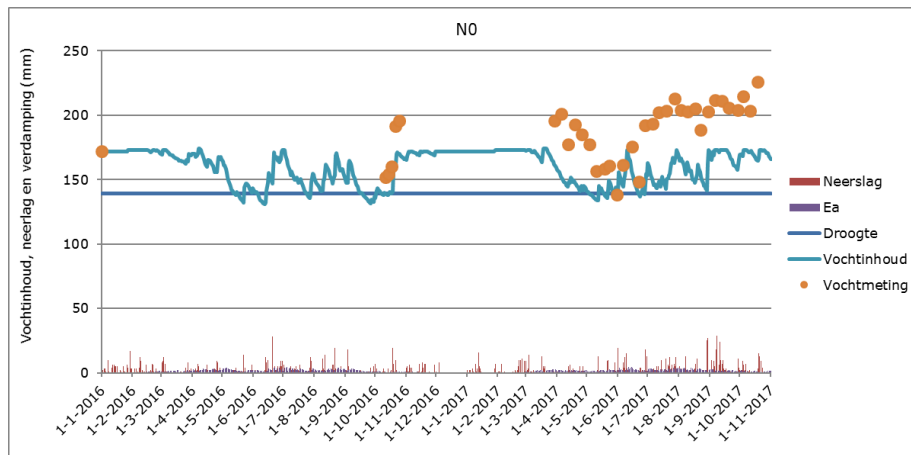
veldnr	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24								
	N2	N1	N2	N0	N0	N2	N2	N0	N2	N0	N2	N0	N2	N1	N1	N1	N0	N1	N1	N0	N1	N1	N0	N0	N1	N0	N1	N0	N0	N1	N0	N1	N0	N1	N0	N1	N0	N1	N0	N2	N1	N2													
Omschrijving																																																							
Totale bezetting	98	98	98	95	95	98	98	95	98	95	98	98	98	98	98	95	98	98	98	95	98	98	95	95	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98								
Engels raaigras	55	53	50	48	52	48	52	45	55	47	51	40	51	41	52	45	55	27	52	41	56	44	52	45																															
veldbeemdgras																																																							
beemdlangbloem																																																							
ruw beemdgras	20	22	20	28	20	22	22	22	15	25	18	25	22	28	20	28	18	40	22	32	20	30	22	28																															
timotheegras	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	+	1	+	+	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+						
rogge																																																							
Festulolium																																																							
Rietzwenk																																																							
witte klaver	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
rode klaver																																																							
kweek	4	4	5	4	6	6	5	6	6	5	5	5	4	5	5	3	5	4	4	5	5	4	5	4																															
fioringras	2	4	3	5	3	4	2	5	3	4	2	5	4	5	3	5	2	8	3	6	3	6	2	5																															
gestreepte witbol	2	1	2	1	2	1	2	2	2	3	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1	1																															
kroopaar																																																							
rietgras																																																							
zachte dravik																																																							
ruwe smele																																																							
mannagrass																																																							
straatgras	10	8	10	8	10	14	10	12	12	10	12	12	10	10	8	10	12	12	10	8	8	6	8	10																															
grote vossestaart																																																							
geknikte vossestaart	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	3	2	3	3	1	1	2	2	1	2	3	3	2																															
paardebloem	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	3	2	2	2	3	2	1	2	2	2	1	2	2	2																															
kr boterbloem	2	2	3	2	1	2	1	1	2	1	2	2	2	1	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2																															
ridderzuring	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+																															
krulzuring																																																							
scherpe boterbloem	+	+		+		+		+	+		+		+	+	+		+	+		+	+		+	+																															
melkdistel																																																							
brandnetel																																																							
biggekruid																																																							
vogelmuur	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	+	+	1	1	1																															
pinksterbloem	+		+		+	+	+		+	+		+	+		+	+		+	+	+	+	+	+	+																															
brede weegbree	+	+	+	+	+			+	+	+		+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+																															
fluitekruid																																																							
kleine veldkers																																																							
madeliefje	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+																															
akkerdistel																																																							
gele waterkers																																																							
waterpeper																																																							
veldzuring	+		+	+		+	+		+		+		+	+		+	+		+	+		+	+																																
speenkruid																																																							
klein kruiskruid																																																							
blaartrekkende boterbloem																																																							
kluwenhoornbloem	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+																															
gewone hoornbloem	+	+		+	1	+	1	1	+	+	+	1		1	1	+	+	1	+	+	1	+	+	+																															
varkensgras	+		+	+	+		+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+																															
paarse dovenetel	1	1	2	+	+	+	+	+	+	+	1	1</																																											

Tabel 9 Botanische kartering locatie KTC Zegveld bij aanvang van de proef op 19 oktober 2017.

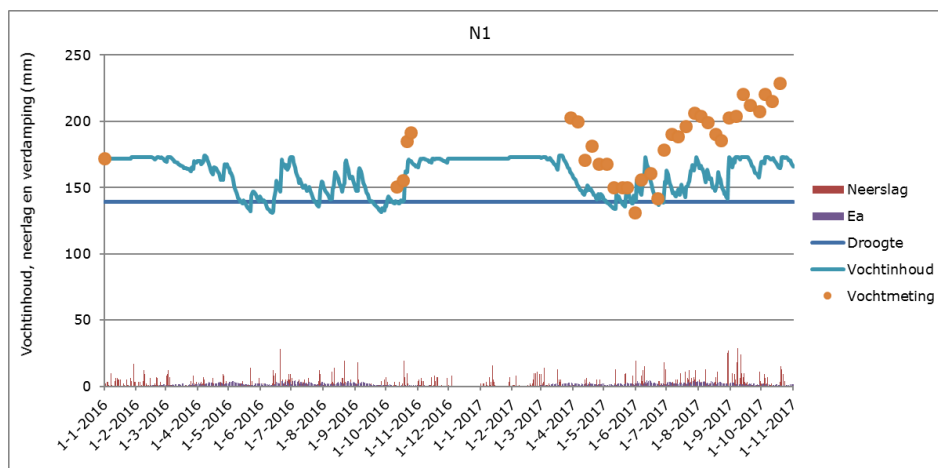
veldnr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	N2	N1	N2	N0	N0	N2	N2	N0	N2	N0	N2	N1	N1	N1	N0	N1	N1	N0	N0	N1	N0	N2	N1	N2
Omschrijving																								
Totale bezetting	98	98	98	96	96	98	98	96	98	96	98	96	98	98	98	96	98	98	96	96	96	98	96	98
Engels raaigras	61	64	58	60	56	60	58	53	56	56	56	55	51	52	52	55	60	55	55	55	55	55	53	57
veldbeemdgras																								
beemdlangbloem																								
ruw beemdgras	15	12	15	15	16	18	18	17	15	18	16	17	14	12	18	16	16	14	18	20	20	22	20	22
timotheegras	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1+	+	1+	+	1+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
rogge																								
Festulolium																								
Rietzwenk																								
witte klaver	1	1	2	2	1	+	+	2	5	3	2	2	2	2	1	3	3	4	3	4	2	1	2	3
rode klaver																								
kweek	3	2	2	3	2	3	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	2	3	2	2	2	2
fioringras	2	2	1	2	2	2	2	2	2	3	2	3	3	2	2	3	2	2	1	2	2	3	1	2
gestreepte witbol	2	2	2	3	3	2	2	2	2	3	2	3	1	2	3	1	3	1	2	2	2	2	3	2
kroppaar																								
rietgras																								
zachte dravik																								
ruwe smele																								
mannagras																								
straatgras	8	5	8	5	5	4	5	8	5	5	8	8	5	5	4	5	5	5	5	5	4	3	5	5
grote vossestaart																								
geknikte vossestaart	2	3	2	2	2	2	2	3	2	3	2	3	3	3	3	1	3	3	2	2	2	3	3	2
paardebloem	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	1	1	1	1	1	2	1	2
kr boterbloem	+	+	+	+	+	4	3	4	1	1	2	2	1	1+	2	2	2	2	3	2	2	2	3	1
ridderzuring	1	2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1+	+	+	+	+	
krulzuring																								
scherpe boterbloem	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
melkdistel																								
brandnetel																								
biggekruid																								
vogelmuur	3	3	3	6	8	3	3	4	5	5	4	3	12	15	15	10	4	11	8	3	8	5	6	2
pinksterbloem	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
brede weegbree	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
fluitekruid																								
kleine veldkers																								
madeliefje	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
akkerdistel																								
gele waterkers																								
waterpeper																								
veldzuring	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
speenkruid																								
klein kruiskruid																								
blaartrekkende boterbloem																								
kluwenhoornbloem	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
gewone hoornbloem	+	+	+	1+	1+	1+	1+	+	+	+	+	+	+	1+	+	+	+	1+	+	+	+	+	1+	+
varkensgras	1	2	2	+	2+	1	1+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
paarse dovenetel	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	1+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
herderstasje	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
hondsdrif	1	2	5	2	2	2	3	1	5	2	2	1	5	3	1	1+	+	+	+	+	+	+	+	+
speerdistel																								
herfst leeuwetand																								
zachte ooievaarsbek																								
zarte nachtschade																								
+ = wel aanwezig, maar < 1%																								

Bijlage 4 Bodemvochttoestand

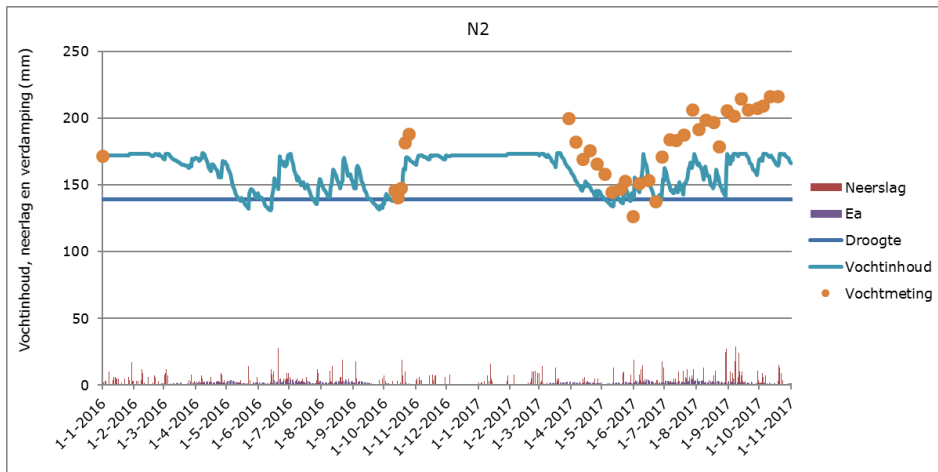
Proeflocatie Dairy Campus



Figuur 1 Vochtinhoud van de wortelzone, neerslag en verdamping (Ea) op dagbasis (mm) in 2016 en 2017 op proeflocatie Dairy Campus met stikstofbestedingsniveau N0. Daarbij de kritieke lijn waarbij droogte zichtbaar wordt (hoeveelheid vocht in de wortelzone die overeenkomt met een zuigspanning van $pF=2,7$) en de resultaten van wekelijkse vochtmetingen.

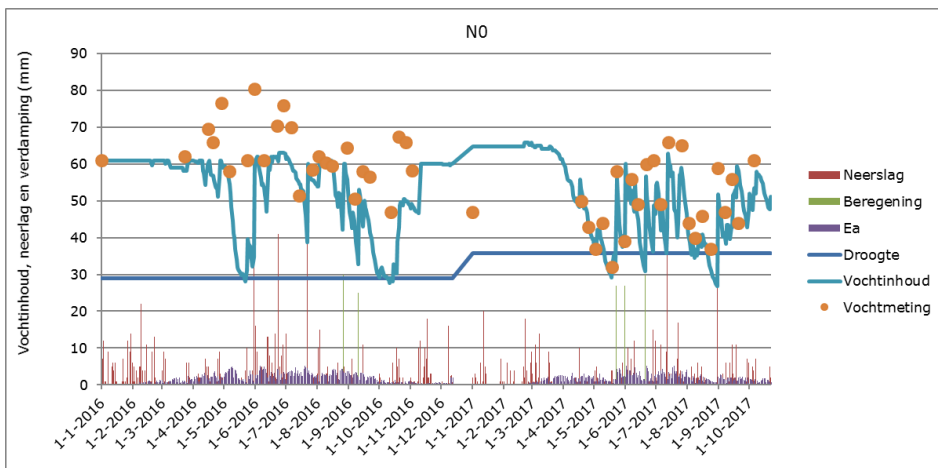


Figuur 2 Vochtinhoud van de wortelzone, neerslag en verdamping (Ea) op dagbasis (mm) in 2016 en 2017 op proeflocatie Dairy Campus met stikstofbestedingsniveau N1. Daarbij de kritieke lijn waarbij droogte zichtbaar wordt (hoeveelheid vocht in de wortelzone die overeenkomt met een zuigspanning van $pF=2,7$) en de resultaten van wekelijkse vochtmetingen.

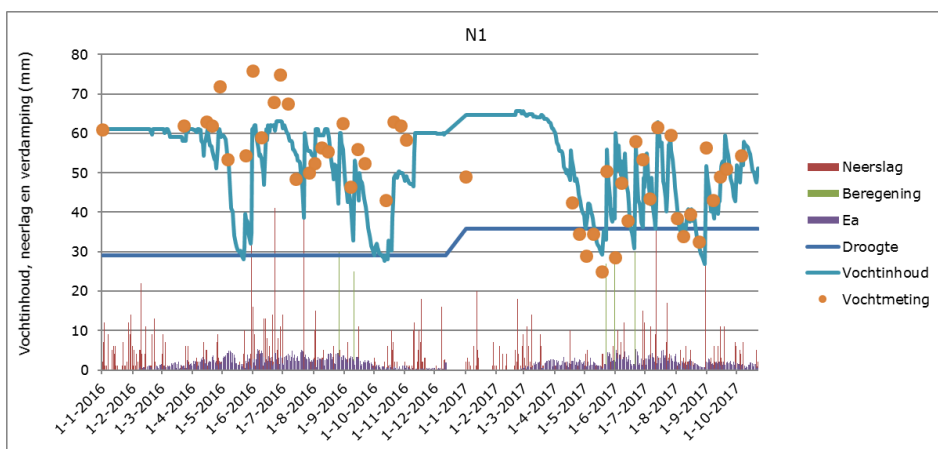


Figuur 3 Vochtinhoud van de wortelzone, neerslag en verdamping (Ea) op dagbasis (mm) in 2016 en 2017 op proeflocatie Dairy Campus met stikstofbestedingsniveau N2. Daarbij de kritieke lijn waarbij droogte zichtbaar wordt (hoeveelheid vocht in de wortelzone die overeenkomt met een zuigspanning van $pF=2,7$) en de resultaten van wekelijkse vochtmetingen.

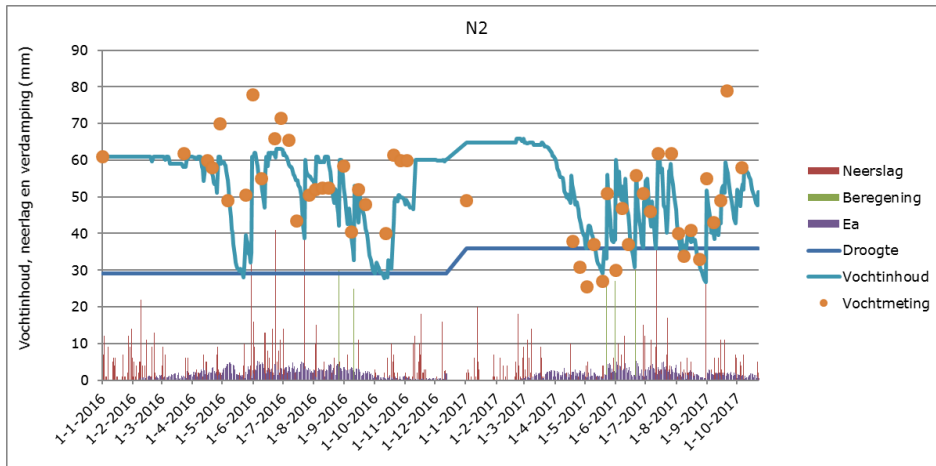
Proeflocatie Vredepeel



Figuur 4 Vochtinhoud van de wortelzone, neerslag en verdamping (Ea) op dagbasis (mm) in 2016 en 2017 op proeflocatie Vredepeel met stikstofbestedingsniveau N0. Daarbij de kritieke lijn waarbij droogte zichtbaar wordt (hoeveelheid vocht in de wortelzone die overeenkomt met een zuigspanning van $pF=2,7$) en de resultaten van wekelijkse vochtmetingen.

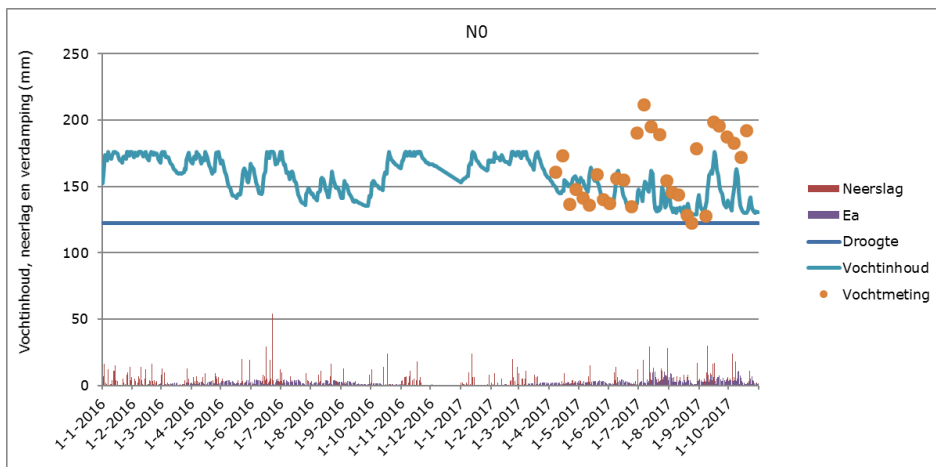


Figuur 5 Vochtinhoud van de wortelzone, neerslag en verdamping (Ea) op dagbasis (mm) in 2016 en 2017 op proeflocatie Vredepeel met stikstofbestedingsniveau N1. Daarbij de kritieke lijn waarbij droogte zichtbaar wordt (hoeveelheid vocht in de wortelzone die overeenkomt met een zuigspanning van $pF=2,7$) en de resultaten van wekelijkse vochtmetingen.

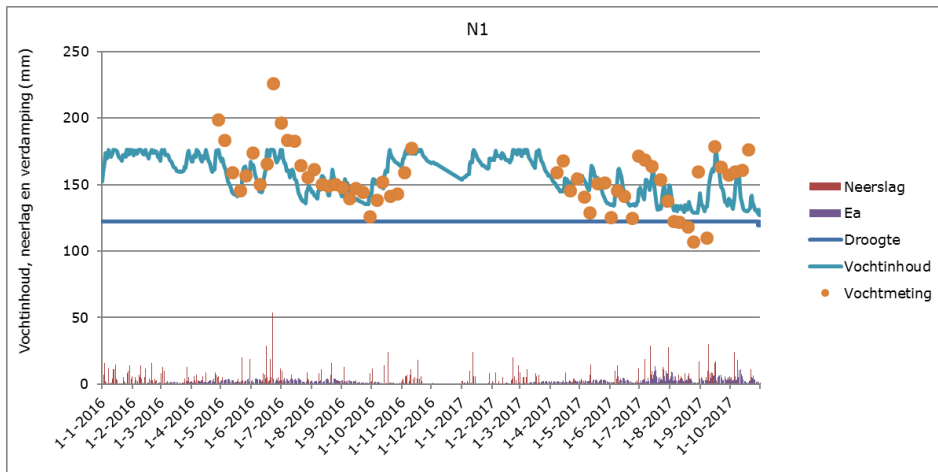


Figuur 6 Vochtinhoud van de wortelzone, neerslag en verdamping (Ea) op dagbasis (mm) in 2016 en 2017 op proeflocatie Vredepeel met stikstofbestedingsniveau N2. Daarbij de kritieke lijn waarbij droogte zichtbaar wordt (hoeveelheid vocht in de wortelzone die overeenkomt met een zuigspanning van $pF=2,7$) en de resultaten van wekelijkse vochtmetingen.

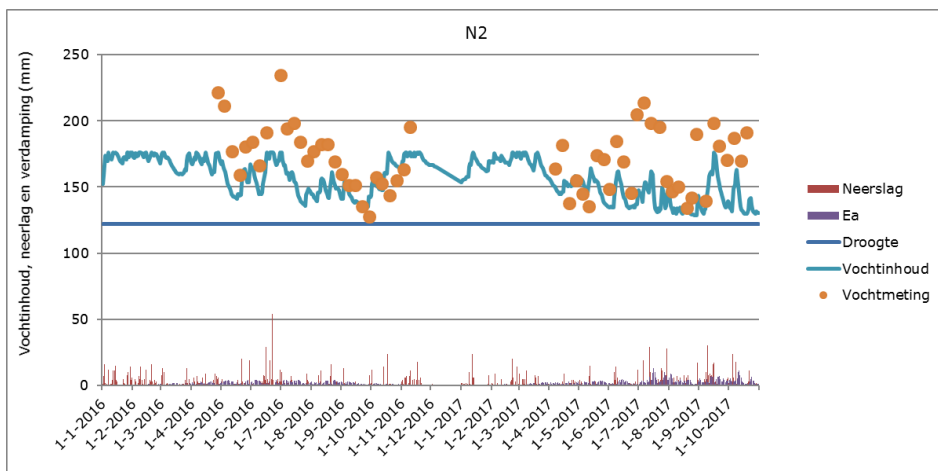
Proeflocatie KTC Zegveld



Figuur 7 Vochtinhoud van de wortelzone, neerslag en verdamping (Ea) op dagbasis (mm) in 2016 en 2017 op proeflocatie Zegveld met stikstofbestedingsniveau N0. Daarbij de kritieke lijn waarbij droogte zichtbaar wordt (hoeveelheid vocht in de wortelzone die overeenkomt met een zuigspanning van $pF=2,7$) en de resultaten van wekelijkse vochtmetingen.



Figuur 8 Vochtinhoud van de wortelzone, neerslag en verdamping (Ea) op dagbasis (mm) in 2016 en 2017 op proeflocatie Zegveld met stikstofbestedingsniveau N1. Daarbij de kritieke lijn waarbij droogte zichtbaar wordt (hoeveelheid vocht in de wortelzone die overeenkomt met een zuigspanning van $pF=2,7$) en de resultaten van wekelijkse vochtmetingen.



Figuur 9 Vochtinhoud van de wortelzone, neerslag en verdamping (Ea) op dagbasis (mm) in 2016 en 2017 op proeflocatie Zegveld met stikstofbestedingsniveau N2. Daarbij de kritieke lijn waarbij droogte zichtbaar wordt (hoeveelheid vocht in de wortelzone die overeenkomt met een zuigspanning van $pF=2,7$) en de resultaten van wekelijkse vochtmetingen.

Bijlage 5 Stikstofopbrengst onbemest

Tabel 1 Stikstofopbrengst onbemeste velden per groeiduur (T1-T4) per locatie per proefjaar.

Groeiduur	Herhaling	Vredepeel		Dairy Campus		Zegveld	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017
T4	1	92	81	78	85	231	302
T4	2	71	61	65	70	239	320
T3	1	81	49	48	74	158	213
T3	2	66	56	56	77	191	296
T2	1	79	59	49	85	180	227
T2	2	74	47	60	100	222	283
T1	1	82	59	60	84	219	266
T1	2	66	59	65	94	248	299
Gemiddelde		76	59	60	84	211	276
Standaard deviatie		9	10	10	10	31	38

Bijlage 6 Residuele variantie

Drogestofopbrengst

Tabel 1 Percentage verklaarde variantie (R^2), totale residuele variantie (σ^2 op logschaal) en residuele variantie voor variantiecomponenten van kandidaatmodellen bestaande uit individuele en gecombineerde schatters van Reflectie metingen ($WDVI_{red}$ en klei 810), Groeidata, Groeimodel en Grashoogte voor drogestofopbrengst, voor de drie grondsoorten gezamenlijk (2016-2017) en per grondsoort (klei en zand 2016-2017 en veen 2017). Door de numerieke benadering kunnen R^2 -kwadraten voorkomen die kleiner dan 0 of groter dan 100 en deze zijn buiten beschouwing gelaten.

Data bronnen	kandidaatmodellen						Variantiecomponenten						Restvariantie σ^2	R^2
	σ^2	R^2	Locatie.Jaar σ^2	R ²	Locatie.Jaar.Veld σ^2	R ²	Locatie.Jaar.Snede σ^2	R ²	Locatie.Jaar.snede.Groei duur σ^2	R ²	Locatie.Jaar.snede.Nbermesting σ^2	R ²		
Alle locaties														
Leeg model	1.35	0	0.19	0	0.01	0	0.00	0.88	0	0.23	0	0.04	0	
Groeidata	0.39	71	0.04	77	0.01	13	0.06	0.23	74	0.02	92	0.04	0	
Groeimodel	0.37	72	0.05	75	0.01	6	0.09	0.14	84	0.04	83	0.05	0	
Grashoogte	0.47	65	0.20	67	0.00	96	0.04	0.17	81	0.03	85	0.02	46	
Reflectiemetingen ($WDVI_{red}$, klei 810 nm)	0.59	56	0.10	46	0.02		0.18	0.22	75	0.02	92	0.05		
Grashoogte + Groeidata	0.20	85	0.01	93	0.00	99	0.02	0.10	89	0.01	94	0.05		
Grashoogte + Groeimodel	0.27	80	0.04	77	0.00	75	0.06	0.09	89	0.03	88	0.04	3	
Reflectiemetingen + Grashoogte	0.32	77	0.05	71	0.01	20	0.09	0.09	90	0.03	88	0.04		
Reflectiemetingen + Groeidata	0.29	78	0.08	56	0.00	25	0.05	0.11	87	0.01	96	0.03	19	
Reflectiemetingen + Groeimodel	0.30	77	0.07	65	0.00	58	0.09	0.10	89	0.02	92	0.03	25	
Reflectiemetingen + Grashoogte + Groeidata	0.18	87	0.02	90	0.00	77	0.03	0.07	92	0.01	95	0.04		
Klei (Dairy Campus)														
Leeg model	1.39	0	0.18	0	0.01	0	0.09	0.84	0	0.24	0	0.03	0	
Groeidata	0.37	72	0.11	41	0.01	6	0.07	0.19	77	0.02	92	0.03	0	
Groeimodel	0.40	71	0.19	0.01	20	0.10	0.13	0.13	84	0.04	84	0.03	0	
Grashoogte	0.35	74	0.00	100	0.01	4	0.11	0.13	84	0.04	83	0.06	0	
Reflectiemetingen (810 nm)	0.63	53	0.10	48	0.04		0.31	0.14	84	0.02	90	0.01	52	
Grashoogte + Groeidata	0.19	87	0.00	100	0.01	25	0.03	0.09	89	0.02	92	0.04		
Grashoogte + Groeimodel	0.28	80	0.01	96	0.00	51	0.10	0.09	89	0.03	86	0.03		
Reflectiemetingen + Grashoogte	0.31	77	0.00	100	0.00	100	0.13	0.09	89	0.05	80	0.04		
Reflectiemetingen + Groeidata	0.30	78	0.10	48	0.00	95	0.10	0.11	87	0.01	95	-0.02		
Reflectiemetingen + Groeimodel	0.33	76	0.16	13	0.00	62	0.11	0.09	89	0.02	92	-0.05		
Reflectiemetingen + Grashoogte + Groeidata	0.17	87	0.00	100	0.00	100	0.05	0.07	91	0.02	94	0.04		
Zand (Vredepeel)														
Leeg model	1.38	0	0.00	0.01	0	0.00		1.00	0	0.31	0	0.06	0	
Groeidata	0.40	71	0.11	0.01	12	0.01	0.03	0.23	77	0.03	90	0.03	48	
Groeimodel	0.36	74	0.00	0.01	0.01	0.03		0.19	81	0.05	84	0.03	48	
Grashoogte	0.23	83	0.05	0.00	51	0.01	0.10	0.10	90	0.02	95	0.04	25	
Reflectiemetingen ($WDVI_{red}$)	0.45	68	0.02	0.03		0.14		0.16	84	0.01	97	0.10		
Grashoogte + Groeidata	0.21	85	0.07	0.00	85	0.01	0.08	0.08	92	0.02	95	0.03	55	
Grashoogte + Groeimodel	0.19	86	0.04	0.00	100	0.00	0.09	0.09	91	0.03	92	0.04	39	
Reflectiemetingen + Grashoogte	0.20	85	0.05	0.00	73	0.02	0.07	0.07	93	0.01	95	0.04	32	
Reflectiemetingen + Groeidata	0.27	80	0.14	0.01	45	0.01	0.11	0.11	89	0.01	98	0.01	88	
Reflectiemetingen + Groeimodel	0.22	84	0.03	0.01	25	0.02	0.09	0.09	91	0.03	92	0.05	17	
Reflectiemetingen + Grashoogte + Groeidata	0.18	87	0.09	0.00	100	0.01	0.05	0.05	95	0.01	97	0.02	68	
Veen (Zegveld)														
Leeg model	0.75	0	nvt	0.00	0.17	0	0.55	0	0.00		0.02	0		
Groeidata	0.27	64	nvt	0.00	0.02	87	0.23	0.23	58	0.00	0.03	0.03		
Groeimodel	0.24	68	nvt	0.00	0.13	23	0.10	0.10	81	0.01	0.03	0.03		
Grashoogte	0.07	91	nvt	0.00	0.04	75	0.01	0.01	98	0.00	0.01	0.01	46	
Reflectiemetingen ($WDVI_{red}$)	0.47	37	nvt	0.03	0.27	0.17	0.17	0.17	69	0.01	0.00	0.00		
Grashoogte + Groeidata	0.06	92	nvt	0.00	0.03	83	0.02	0.02	97	0.00	0.01	0.01	32	
Grashoogte + Groeimodel	0.07	91	nvt	0.00	0.04	75	0.01	0.01	98	0.00	0.01	0.01	46	
Reflectiemetingen + Grashoogte	0.06	92	nvt	0.00	0.03	81	0.01	0.01	98	0.00	0.02	0.02	15	
Reflectiemetingen + Groeidata	0.23	69	nvt	0.00	0.06	64	0.15	0.15	73	0.00	0.01	0.01	46	
Reflectiemetingen + Groeimodel	0.23	69	nvt	0.00	0.16	9	0.08	0.08	85	0.00	-0.01	-0.01		
Reflectiemetingen + Grashoogte + Groeidata	0.06	92	nvt	0.00	0.03	84	0.01	0.01	98	0.00	0.02	0.02	16	

Stikstofgehalte

Tabel 2 Percentage verklaarde variantie (R^2), totale residuele variantie (σ^2 op logschaal) en residuele variantie voor variantiecomponenten van kandidaatmodellen bestaande uit individuele en gecombineerde schatters van Reflectie metingen (560), Groeidata, Groeimodel en Grashoogte voor stikstofgehalte, voor de drie grondsoorten gezamenlijk (2016-2017) en per grondsoort (klei en zand 2016-2017 en veen 2017). Door de numerieke benadering kunnen R-kwadragen voorkomen die kleiner dan 0 of groter dan 100 en deze zijn buiten beschouwing gelaten.

Data bronnen	kandidaat		Variantiecomponenten											
	σ^2	R^2	Locatie, Jaar σ^2	Locatie, Jaar R^2	Locatie, Jaar, Veld σ^2	Locatie, Jaar, Veld R^2	Locatie, Jaar, Snede σ^2	Locatie, Jaar, Snede R^2	Locatie, Jaar, snede, Groeiduur σ^2	Locatie, Jaar, snede, Groeiduur R^2	Locatie, Jaar, snede, Nbemesting σ^2	Locatie, Jaar, snede, Nbemesting R^2	Restvariantie σ^2	Restvariantie R^2
Alle locaties														
Leeg model	62.46	0	19.24	0	0.58	0	21.61	0	10.20	0	6.74	0	4.10	0
Groeidata	17.92	71	3.12	84	0.42	27	4.70	78	3.73	63	1.59	76	4.35	
Groeimodel	53.44	14	15.34	20	0.79		24.80		7.40	27	3.41	49	1.72	58
Grashoogte	59.60	5	19.20	0	0.58		21.62		10.23		6.72	0	1.25	70
Reflectiemetingen (560 nm)	55.18	12	17.00	12	1.21		17.33	20	12.68		4.69	30	2.27	44
Grashoogte + Groeidata	17.49	72	2.03	89	0.41	28	5.53	74	3.36	67	1.61	76	4.55	
Grashoogte + Groeimodel	53.53	14	15.11	21	0.79		24.95		7.50	26	3.34	50	1.84	55
Reflectiemetingen + Grashoogte	52.18	16	18.74	3	1.69		13.35	38	8.79	14	6.49	4	3.12	24
Reflectiemetingen + Groeidata	16.59	73	1.98	90	0.81		4.25	80	3.84	62	1.22	82	4.48	
Reflectiemetingen + Groeimodel	48.76	22	14.56	24	1.49		21.04	3	7.30	28	2.09	69	2.27	45
Reflectiemetingen + Grashoogte + Groeidata	15.95	74	0.88	95	0.80		5.07	77	3.25	68	1.23	82	4.73	
Klei (Dairy Campus)														
Leeg model	38.88	0	7.90	0	0.09	0	14.74	0	6.37	0	7.93	0	1.85	0
Groeidata	10.92	72	6.81	14	0.09	5	1.73	88	2.24	65	1.66	79	-1.59	
Groeimodel	30.01	23	8.36		0.13		17.04		3.98	38	4.47	44	-3.97	
Grashoogte	29.55	24	2.77	65	0.09	1	10.07	32	1.89	70	15.16		-0.43	
Reflectiemetingen (560 nm)	31.30	19	5.09	36	0.41		10.05	32	10.75		5.63	29	-0.63	
Grashoogte + Groeidata	9.94	74	3.72	53	0.08	12	2.40	84	2.17	66	1.67	79	-0.10	
Grashoogte + Groeimodel	27.04	30	3.60	55	0.11		12.20	17	2.69	58	9.38		-0.93	
Reflectiemetingen + Grashoogte	25.30	35	0.00	100	0.60		3.98	73	4.94	22	12.66		3.11	
Reflectiemetingen + Groeidata	9.14	76	4.22	47	0.37		0.26	98	2.94	54	1.27	84	0.10	
Reflectiemetingen + Groeimodel	26.12	33	4.21	47	0.83		13.30	10	5.76	10	2.09	74	-0.07	
Reflectiemetingen + Grashoogte + Groeidata	7.57	81	1.23	84	0.40		0.37	98	2.72	57	1.25	84	1.60	13
Zand (Vredepeel)														
Leeg model	53.05	0	0.00		1.74	0	28.07	0	11.35	0	6.55	0	5.34	0
Groeidata	21.18	60	12.20		1.34	23	0.75	97	5.16	55	2.01	69	-0.28	
Groeimodel	49.62	6	0.00		1.82		31.28		8.37	26	5.05	23	3.11	42
Grashoogte	46.78	12	0.00		1.43	18	24.05	14	4.24	63	13.30		3.77	29
Reflectiemetingen (560 nm)	45.34	15	0.00		2.72		18.31	35	15.24		2.42	63	6.65	
Grashoogte + Groeidata	20.59	61	11.03		1.17	32	2.20	92	3.75	67	2.19	67	0.25	95
Grashoogte + Groeimodel	46.59	12	0.00		1.46	16	25.88	8	4.34	62	11.14		3.78	29
Reflectiemetingen + Grashoogte	39.99	25	0.00		1.89		16.99	39	5.38	53	8.54		7.19	
Reflectiemetingen + Groeidata	19.92	62	9.26		1.42	18	1.43	95	5.12	55	1.17	82	1.52	71
Reflectiemetingen + Groeimodel	42.13	21	0.00		3.24		22.40	20	9.49	16	0.95	85	6.06	
Reflectiemetingen + Grashoogte + Groeidata	19.50	63	8.49		1.22	30	2.87	90	3.78	67	1.32	80	1.83	66
Veen (Zegveld)														
Leeg model	40.75	0	nvt		2.39		17.42	0	13.58	0	2.59	0	4.78	0
Groeidata	20.70	49	nvt		1.57		11.15	36	3.80	72	0.92	65	3.27	32
Groeimodel	24.46	40	nvt		1.87		6.12	65	11.91	12	0.72	72	3.85	19
Grashoogte	24.45	40	nvt		2.45		10.35	41	4.47	67	3.48		3.70	22
Reflectiemetingen (560 nm)	28.36	30	nvt		5.07		8.22	53	6.71	51	3.00		5.37	
Grashoogte + Groeidata	19.82	51	nvt		1.77		11.18	36	2.43	82	1.06	59	3.39	29
Grashoogte + Groeimodel	22.75	44	nvt		2.31		8.05	54	7.18	47	1.43	45	3.79	21
Reflectiemetingen + Grashoogte	23.55	42	nvt		3.24		7.50	57	5.10	62	3.33		4.38	8
Reflectiemetingen + Groeidata	20.27	50	nvt		2.12		9.56	45	3.70	73	1.24	52	3.65	24
Reflectiemetingen + Groeimodel	22.84	44	nvt		2.81		4.02	77	10.35	24	1.24	52	4.42	
Reflectiemetingen + Grashoogte + Groeidata	19.73	52	nvt		2.09		9.80	44	2.83	79	1.27	51	3.73	22

Bijlage 7 Functies drogestofopbrengst CropScan, Grashoogte en Groeimodel

Tabel 1 Parameters in functies voor kandidaatmodellen bestaande uit individuele en gecombineerde schatters van Reflectie metingen (CropScan 2016; MSR87, MSR16R), Groeidata, Groeimodel en Grashoogte voor drogestofopbrengst, voor de drie locaties gezamenlijk (2016-2017). Als referentie geldt het N0-niveau voor stikstofbemesting voor Dairy Campus (kleigrond).

Data bronnen	R ²	σ ²	Intercept	Parameter Groeiduur	(Oogstdatum-WDVI _{red} 21 juni) ²	1/grashoogte	Voorspelling Groeimodel	N1-niveau klei	N2-niveau klei	N0-niveau zand	N1-niveau zand	N2-niveau zand	N0-niveau veen	N1-niveau veen	N2-niveau veen
Leeg model	0.0	1.31	6.2080601	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Groeidata	69.9	0.39	4.0089349	0.0694895	-0.0000887	0.0000000	0.0000000	0.6448531	0.9502620	-0.3126763	0.4333363	0.7948742	1.0940013	1.1340397	1.2352665
Groeimodel	71.6	0.37	1.2392021	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.8441004	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Grashoogte	64.1	0.47	8.7761273	0.0000000	0.0000000	0.0000000	-18.1817914	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Reflectiemetingen (WDVI _{red})	54.8	0.59	3.6667642	0.0000000	0.0000000	7.0361923	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Grashoogte + Groeidata	84.9	0.20	8.0771617	0.0324562	-0.0000386	0.0000000	-15.6168268	0.0000000	-0.0993288	-0.0961748	-1.0863911	-0.8340165	-0.6614341	-0.3807962	-0.3801356
Grashoogte + Groeimodel	79.5	0.27	4.2034559	0.0000000	0.0000000	0.0000000	-9.1076178	0.5590690	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Reflectiemetingen + Grashoogte	76.0	0.31	6.5615193	0.0000000	0.0000000	3.9957601	-12.7200348	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Reflectiemetingen + Groeidata	77.6	0.29	3.1443851	0.0466017	-0.0000782	4.7693696	0.0000000	0.0000000	0.3289823	0.3804683	0.1091641	0.5281917	0.6422173	0.2525434	0.3652468
Reflectiemetingen + Groeimodel	76.8	0.30	1.4076366	0.0000000	0.0000000	2.9439254	0.0000000	0.6348604	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Reflectiemetingen + Grashoogte + Groeidata	86.4	0.18	7.0398397	0.0269199	-0.0000411	2.3226840	-13.2510703	0.0000000	-0.1404236	-0.2151422	-0.7637465	-0.5958335	-0.5151653	-0.5671727	-0.5251590

Tabel 2 Parameters in functies voor kandidaatmodellen bestaande uit individuele en gecombineerde schatters van Reflectie metingen (CropScan 2016, MSR16R), Groeidata, Groeimodel en Grashoogte voor drogestofopbrengst, voor Dairy Campus (kleigrond) 2016-2017. Als referentie geldt het N0-niveau voor stikstofbemesting.

Data bronnen	R ²	σ ²	Intercept	Parameter						
				Groeiduur	(Oogstdatum- 21 juni) ²	WDVI _{red}	1/grashoogte	Voorspelling Groeimodel	N1-niveau klei	N2-niveau klei
Leeg model	0.0	1.29	6.1983217	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Groeidata	70.9	0.37	4.2832758	0.0642615	-0.0001145	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.6470059	0.9499928
Groeimodel	68.9	0.40	0.7458982	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.9174685	0.0000000	0.0000000
Grashoogte	72.7	0.35	9.1126707	0.0000000	0.0000000	0.0000000	-17.5035706	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Reflectiemetingen (810 nm)	51.2	0.63	1.6120338	0.0000000	0.0000000	0.1032327	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Grashoogte + Groeidata	85.5	0.19	7.2460045	0.0384153	-0.0000659	0.0000000	-11.8104030	0.0000000	0.0833170	0.1587273
Grashoogte + Groeimodel	78.6	0.28	5.2977193	0.0000000	0.0000000	0.0000000	-10.7524710	0.4527910	0.0000000	0.0000000
Reflectiemetingen + Grashoogte	76.0	0.31	6.9125686	0.0000000	0.0000000	0.0362921	-13.9734492	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Reflectiemetingen + Groeidata	76.7	0.30	2.7753002	0.0456578	-0.0000994	0.0501298	0.0000000	0.0000000	0.4090644	0.4834306
Reflectiemetingen + Groeimodel	74.3	0.33	0.0839021	0.0000000	0.0000000	0.0444139	0.0000000	0.6968408	0.0000000	0.0000000
Reflectiemetingen + Grashoogte + Groeidata	86.6	0.17	6.2006994	0.0324487	-0.0000641	0.0238118	-10.4988582	0.0000000	0.0328915	0.0249785

Tabel 3 Parameters in functies voor kandidaatmodellen bestaande uit individuele en gecombineerde schatters van Reflectie metingen (CropScan 2016, MSR87), Groeidata, Groeimodel en Grashoogte voor drogestofopbrengst, voor Vredepeel (zandgrond) 2016-2017. Als referentie geldt het N0-niveau voor stikstofbemesting.

Data bronnen	R ²	σ ²	Intercept	Parameter						
				Groeiduur	(Oogstdatum- 21 juni) ²	WDVI _{red}	1/grashoogte	Voorspelling Groeimodel	N1-niveau zand	N2-niveau zand
Leeg model	0.0	1.27	5.8571094	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Groeidata	70.9	0.37	4.2832758	0.0642615	-0.0001145	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.6470059	0.9499928
Groeimodel	71.5	0.36	1.6266441	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.7639221	0.0000000	0.0000000
Grashoogte	82.0	0.23	9.4101490	0.0000000	0.0000000	0.0000000	-26.4950629	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Reflectiemetingen (WDVI _{red})	65.0	0.45	3.3430284	0.0000000	0.0000000	8.9200498	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Grashoogte + Groeidata	83.9	0.20	7.9142546	0.0269855	-0.0000160	0.0000000	-21.1582730	0.0000000	0.0811477	0.1853048
Grashoogte + Groeimodel	85.1	0.19	6.8452783	0.0000000	0.0000000	0.0000000	-18.9983283	0.2816168	0.0000000	0.0000000
Reflectiemetingen + Grashoogte	84.3	0.20	7.8841172	0.0000000	0.0000000	2.7190075	-20.8300426	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Reflectiemetingen + Groeidata	78.6	0.27	2.9906450	0.0458636	-0.0000664	5.7893577	0.0000000	0.0000000	0.3523317	0.4126776
Reflectiemetingen + Groeimodel	82.7	0.22	1.6967082	0.0000000	0.0000000	4.8978364	0.0000000	0.5019961	0.0000000	0.0000000
Reflectiemetingen + Grashoogte + Groeidata	85.7	0.18	6.8465449	0.0198649	-0.0000251	2.8315171	-16.7781527	0.0000000	0.0236608	0.0345734

Tabel 4 Parameters in functies voor kandidaatmodellen bestaande uit individuele en gecombineerde schatters van Reflectie metingen (CropScan 201, MSR16R), Groeidata, Groeimodel en Grashoogte voor drogestofopbrengst, voor KTC Zegveld (veengrond) 2017. Als referentie geldt het N0-niveau voor stikstofbemesting.

Data bronnen	R ²	σ ²	Intercept	Parameter						
				Groei duur	(Oogst datum - 21 juni) ²	WDVI _{red}	1/grashoogte	Voorspelling Groeimodel	N1-niveau veen	N2-niveau veen
Leeg model	0.0	0.69	6.9145720	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Groeidata	61.1	0.27	5.6919715	0.0503709	-0.0000875	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0400384	0.1412652
Groeimodel	65.5	0.24	2.0215272	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.7576376	0.0000000	0.0000000
Grashoogte	90.3	0.07	9.6370469	0.0000000	0.0000000	0.0000000	-25.8424538	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Reflectiemetingen (WDVI _{red})	31.6	0.47	3.7903986	0.0000000	0.0000000	6.4103769	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Grashoogte + Groeidata	91.3	0.06	9.7438357	-0.0039399	-0.0000174	0.0000000	-25.0796975	0.0000000	-0.0232001	0.0705301
Grashoogte + Groeimodel	90.2	0.07	9.5047640	0.0000000	0.0000000	0.0000000	-25.4816503	0.0145972	0.0000000	0.0000000
Reflectiemetingen + Grashoogte	91.1	0.06	10.5985410	0.0000000	0.0000000	-1.4623996	-28.2039032	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Reflectiemetingen + Groeidata	67.0	0.23	4.4913513	0.0341268	-0.0000843	3.4036477	0.0000000	0.0000000	0.0918956	0.1856421
Reflectiemetingen + Groeimodel	66.7	0.23	1.7208402	0.0000000	0.0000000	1.6755890	0.0000000	0.6777510	0.0000000	0.0000000
Reflectiemetingen + Grashoogte + Groeidata	91.6	0.06	10.4140980	-0.0031056	-0.0000131	-1.0334433	-26.9720039	0.0000000	-0.0437169	0.0517190

Bijlage 8 Functies drogestofopbrengst eBee, Grashoogte en Groeimodel

Tabel 1 Parameters in functies voor kandidaatmodellen bestaande uit individuele en gecombineerde schatters van Reflectie metingen (Sensefly Ebee RTK), Groeidata, Groeimodel en Grashoogte voor drogestofopbrengst, voor Dairy Campus (kleigrond) 2016-2017. Als referentie geldt het N0-niveau voor stikstofbemesting.

Data bronnen	R ²	σ^2	intercept	Parameter Groeiduur	(Oogstdatum-21 juni) ²	NDVI	1/grashoogte	Voorspelling Groeimodel	N1-niveau klei	N2-niveau klei
Leeg model	0.00	1.29	6.1983217	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Groeidata	70.95	0.37	4.2832758	0.0642615	-0.0001145	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.6470059	0.9499928
Groeimodel	68.85	0.40	0.7458982	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.9174685	0.0000000	0.0000000
Grashoogte	72.66	0.35	9.1126707	0.0000000	0.0000000	0.0000000	-17.5035706	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Reflectiemetingen (NDVI)	45.93	0.70	-3.1412178	0.0000000	0.0000000	11.1733468	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Grashoogte + Groeidata	85.55	0.19	7.2460045	0.0384153	-0.0000659	0.0000000	-11.8104030	0.0000000	0.0833170	0.1587273
Grashoogte + Groeimodel	78.57	0.28	5.2977193	0.0000000	0.0000000	0.0000000	-10.7524710	0.4527910	0.0000000	0.0000000
Reflectiemetingen + Grashoogte	75.74	0.31	5.4461376	0.0000000	0.0000000	3.7882489	-14.5004260	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Reflectiemetingen + Groeidata	74.88	0.32	1.1118528	0.0513125	-0.0000998	4.3789860	0.0000000	0.0000000	0.4316916	0.6513986
Reflectiemetingen + Groeimodel	74.91	0.32	-2.2720252	0.0000000	0.0000000	4.9732066	0.0000000	0.7258005	0.0000000	0.0000000
Reflectiemetingen + Grashoogte	86.30	0.18	5.5433320	0.0342759	-0.0000626	2.0477437	-10.9349218	0.0000000	0.0244147	0.0777508

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Livestock Research Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl [www.wur.nl/
livestock-research](http://www.wur.nl/livestock-research)

Wageningen Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

