



Test grasgroeivoorspelling in de praktijk

Resultaten modelmatige schatting drogestofopbrengst en ruw eiwitgehalte

I.E. Hoving, G. Holshof, M. Stienezen en G.J. Roerink

Rapport 1251



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Test grasgroeivoorspelling in de praktijk

Resultaten modelmatige schatting drogestofopbrengst en ruw eiwitgehalte

I.E. Hoving¹, G. Holshof¹, M. Stienezen¹ en G.J. Roerink²

1 Wageningen Livestock Research

2 Wageningen Environmental Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research, in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en ZuivelNL in het kader van Amazing Grazing (Publiek-Private Samenwerking) en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, ZLTO, Eurofins, John Deere, Keversland, Yara en Barenburg in het kader van DISAC N-sensing (Publiek-Private Samenwerking)

Wageningen Livestock Research

Wageningen, september 2020

Rapport 1251

Hoving, I.E., G. Holshof, M. Stienezen en G. Roerink, 2019. *Test grasgroeivoorspelling in de praktijk. Resultaten modelmatige schatting drogestofopbrengst en ruw eiwitgehalte*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1251.

Samenvatting NL

Graslandbeheer is een belangrijk onderdeel van het bedrijfsmanagement op een melkveebedrijf. Om te voorspellen hoeveel gras waar staat en wat de kwaliteit hiervan is, wordt een webapplicatie ontwikkeld voor melkveehouders. In een praktijkpilot op vijf melkveebedrijven is de modelmatige schatting van drogestofopbrengst en ruw eiwitgehalte van gras vergeleken met respectievelijk grashoogte- en reflectiemetingen en vers grasanalyses. Doordat de webapplicatie nog niet ingezet kon worden, is de test na het groeiseizoen uitgevoerd. De voorspelling van de grasopbrengsten en ruw eiwitgehalten gaf een wisselend beeld, met soms een goede benadering van de werkelijkheid, maar soms ook duidelijke afwijkingen. Voor opbrengst betrof het vooral een onderschatting voor de eerste snede en een overschatting voor sneden na beweiding. Voor eiwit werd het gehalte vooral in relatief jong gras overschat. Door modelverbeteringen en het combineren van groeivoorspelling met meetdata is het mogelijk om de betrouwbaarheid van de schattingen te verbeteren.

Summary UK

Grassland management is an important part of farm management on a dairy farm. A web application is being developed for dairy farmers to predict the dry matter production and fodder quality. In a practical pilot on five dairy farms, the model-based estimate of dry matter yield and crude protein content of grass has been compared with grass height and reflection measurements respectively fresh grass analyzes. Due to instability the web application could not yet be used, the test was carried out after the growing season. The prediction of grass yields and crude protein contents gave a mixed picture, sometimes with a good approximation of reality, but sometimes also with clear deviations. For yield, it mainly concerned an underestimation for the first cut and an overestimate for cuts after grazing. For protein, the content was especially overestimated in relatively young grass. Model improvements and combining growth prediction with measurement data make it possible to improve the reliability of estimates.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/529454> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).

Dit werk valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-Niet Commercieel 4.0 Internationaal-licentie.

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2020

De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

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.

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.

Wageningen Livestock Research Rapport 1251.

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
2	Achtergrond	10
	2.1 Resultaten maaiproef 2016-2017	10
	2.2 Grasmoeimodel	11
	2.3 Webapplicatie GrasSignaal	14
3	Werkwijze	15
	3.1 Praktijkbedrijven en proefpercelen	15
	3.2 Modelmatige grasgroei	15
	3.3 Grashoogte	16
	3.4 Satellietbeelden	17
	3.5 Vergelijk en toetsing van schatters	17
4	Resultaten	18
	4.1 Drogestofopbrengst	18
	4.2 Ruw eiwitgehalte	22
	4.3 Praktijkervaringen	23
5	Discussie	24
	5.1 Drogestofopbrengst	24
	5.2 Ruw eiwitgehalte	25
6	Conclusies en perspectief	26
7	Vervolg	27
	Literatuur	28
	Bijlage 1 Plattegrond bedrijven	29
	Bijlage 2 Uitgangspunten modelmatig berekende grasgroei	32
	Bijlage 3 Modelopbrengst per snede	34
	Bijlage 4 Modelopbrengst en metingen	37
	Bijlage 5 Ruw eiwitgehalte per snede	42
	Bijlage 6 Ruw eiwitgehalten	45

Woord vooraf

Het modelmatig voorspellen van grasgroei kan bijdragen aan het verbeteren van het graslandmanagement op melkveehouderijbedrijven. De belangrijkste vragen zijn daarbij hoeveel gras staat waar en wat is de kwaliteit hiervan? Het ontbreekt melkveehouders aan hulpmiddelen om hier op een eenvoudige en snelle manier inzicht in te krijgen. De grashoogtemeter is een goed instrument voor opbrengstbepaling, maar tijdrovend in gebruik. Remote sensing (reflectiemetingen met een drone of satelliet) geeft nog een te ruwe schatting van opbrengst. Metingen geven bovendien alleen een beeld van de actuele opbrengst en niet wat er bij gaat groeien. Het modelmatig schatten van de actuele grasopbrengst en het voorspellen van de groei (weersverwachtingstermijn) kan een basis zijn om met een geringe tijdsinspanning het inzicht te vergroten.

Door middel van een praktijkpilot is een prototype webapplicatie getest in de Publiek-Private Samenwerkingsprojecten Amazing Grazing (bouwsteen grasgroeivoorspelling) en DISAC N-Sensing. De praktijktest is uitgevoerd op vier melkveebedrijven en melkveeproefbedrijf De Marke.

Dit rapport geeft een eerste indruk van het toepassen van modelmatige grasgroeivoorspelling onder praktijkomstandigheden. Hopelijk geven de resultaten vertrouwen voor het door ontwikkelen van de applicatie en de adaptatie hiervan in de praktijk.

Dr. drs. I.D. de Wolf

Afdelingshoofd Veehouderij & Omgeving, Wageningen Livestock Research



Samenvatting

Graslandbeheer is een belangrijk onderdeel van het bedrijfsmanagement op een melkveebedrijf. Voor het modelmatig voorspellen van de grasopbrengst en het ruw eiwitgehalte ontwikkelt Wageningen Livestock Research een model in de vorm van een webapplicatie dat gebaseerd is op een empirisch groeimodel. Het groeimodel heeft als belangrijkste parameters temperatuur, de beschikbaarheid van stikstof in de vorm van bemesting en stikstoflevering van de bodem en graslandgebruik. De geschatte groei wordt gecorrigeerd voor de beschikbaarheid van vocht. Voor het bepalen van de vochtvoorziening voorziet de applicatie in het automatisch ophalen van data voor wat betreft bodemtextuur, hydrologische kenmerken en weer (neerslag en verdamping). Daarbij voorziet de webapplicatie in een user interface voor het invoeren van bemesting en graslandgebruik. In 2019 is een prototype webapplicatie getest op vijf melkveebedrijven, waaronder melkveeproefbedrijf De Marke

In een eerdere veldproef (2016-2017) zijn schattingen van drogestofopbrengst voor gras volgens een groeimodel, grashoogtemetingen en spectrale reflectiemetingen met elkaar vergeleken (Hoving *et al.*, 2019). Het groeimodel gaf de beste schatting, daarna grashoogte en vervolgens reflectiemetingen. Het combineren van het groeimodel met grashoogte of reflectiemetingen gaf betere voorspellingen dan die van de afzonderlijke databronnen. De aanbeveling was zodoende om in te zetten op modelmatige grasgroei voorspelling als basis en deze aan te vullen met reflectiemetingen (remote sensing) of grashoogtemetingen.

In de praktijktest is de modelmatige schatting van drogestofopbrengst en ruw eiwitgehalte van gras vergeleken met respectievelijk grashoogtemetingen en vers grasanalyses. Daarbij zijn combinaties van databronnen vergeleken. Voor De Marke waren gemeten grasopbrengsten beschikbaar en kon voor de betreffende proefpercelen een validatie uitgevoerd worden.

Voor de vergelijking is gebruik gemaakt van het prototype webapplicatie dat is beschreven in (Hoving *et al.*, 2019). Dit model kon niet door de bedrijven zelf gebruikt worden waardoor de grasgroei pas na het groeiseizoen berekend is. Het gebruik van het programma in de praktijk kon zodoende niet gemonitord worden. De wekelijkse vers grasanalyses voor het bepalen van ruw eiwitgehalte bleken duidelijk in een behoefte te voorzien.

De voorspelling van de grasopbrengsten en ruw eiwitgehalten gaf een wisselend beeld, met soms een goede benadering van de werkelijkheid, maar soms ook duidelijke afwijkingen. Voor opbrengst betrof het vooral een onderschatting voor de eerste snede en een overschatting voor sneden na beweiding. Het schatten van de bij- en hergroei tijdens en na weiden is nog onzeker aangezien deze algoritmen recentelijk zijn bepaald en nog niet zijn gevalideerd. De oogst bij weiden werd geschat door middel van een schatting van de grasopname door weidend vee. Waarschijnlijk werd de grasopname onderschat waardoor de opbrengsten na weiden werden overschat.

Modelafwijkingen voor drogestofopbrengst werden kleiner door de modeluitkomsten te combineren met de gemeten grashoogte of $WDVI_{red}$ (gebaseerd op satellietbeelden) en daaruit gecorrigeerde opbrengsten te berekenen. Daarbij viel op dat de correctie relatief groot was voor modelopbrengsten waarbij de gemeten opbrengst onderschat werd en relatief gering voor modelopbrengsten waarbij de gemeten opbrengst sterk overschat werd.

Voor eiwit werd het gehalte vooral in relatief jong gras overschat. Hierin spelen drie verschillende aspecten een rol, namelijk (1) hoge initiële waarden voor het stikstofgehalte in de startfase van een snede, (2) een onderschatting van de drogestofopbrengst en (3) de berekening van het ruw eiwitgehalte alleen voor de nieuw bijgegroeide hoeveelheid gras en niet als gemiddelde van al het aanwezige gras, inclusief de oude weideresten.

Modelmatige groeivoorspelling heeft perspectief om door te ontwikkelen en in praktijk te brengen en het prototype GrasSignaal biedt een goede basis om verder operationeel te maken. Wel zijn veldwaarnemingen zoals grashoogte en $WDVI_{red}$ nodig om de groeivoorspelling te kunnen corrigeren. Het concept om modelmatig voorspelde groei te corrigeren met grashoogte en $WDVI_{red}$ blijkt te functioneren en is noodzakelijk om de werkelijkheid goed te benaderen.

1 Inleiding

In een maaiproef, die in 2016-2018 is uitgevoerd in het kader van de Publiek-Private Samenwerkingen Amazing Grazing, Precisielandbouw 2.0 en DISAC, is het modelmatig schatten van drogestofopbrengst en stikstofgehalte onderzocht (Hoving *et al.*, 2019). Voor het modelmatig schatten van de actuele grasopbrengst en het ruw eiwitgehalte werd gebruik gemaakt van een empirisch groeimodel (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 door de koppeling met een bodemvochtmodel. 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.

In de maaiproef zijn naast de modelbenadering grasopbrengst en stikstofgehalte geschat op basis van spectrale reflectie- en grashoogtemetingen. Voor reflectiemetingen is getoetst welke vegetatie-index of individuele golflengte de beste schatting gaf voor drogestofopbrengst en stikstofgehalte. Voor reflectiepercentages en grashoogte vond de vergelijking met gemeten grasopbrengsten plaats op basis van kalibratie en voor het groeimodel op basis van validatie. In de analyse is ook gekeken of combinaties van schatters een betere schatting gaven van drogestofopbrengst en stikstofgehalte.

Over locaties heen gaf het groeimodel de beste schatting, daarna grashoogte en vervolgens reflectiemetingen. Voor wat betreft de reflectiemetingen was de vegetatie-index $WDVI_{red}$ de beste schatter. In combinatie met het groeimodel leverde grashoogte en reflectiemetingen betere schattingen, evenals reflectiemetingen gecombineerd met grashoogte. Op basis van de kalibraties zijn ijklijnen afgeleid om de reflectie- en hoogtemetingen in drogestofopbrengst of verschil in drogestofopbrengst te vertalen.

Geconcludeerd werd dat het combineren van databronnen perspectiefvol lijkt om meer grip te krijgen op de te verwachten grasopbrengst en aanbevolen werd om in te zetten op een modelmatige grasgroei voorspelling als basis en deze aan te vullen met reflectiemetingen (remote sensing) of grashoogtemetingen.

Het modelmatig schatten van grasgroei en ruw eiwit en dit combineren met grashoogte en reflectiemetingen is in 2019 getest op proefbedrijf de Marke en vier praktijkbedrijven. In het voorliggende rapport staan de resultaten van deze test, die zich richtte zich op de volgende punten:

- Technisch koppelen van data en modellen
- Automatiseren (data flow en user interface)
- Toepassen en vergelijken van de schatters groeimodel, grashoogte en lichtreflectie ($WDVI_{red}$) en combinaties van deze schatters voor het voorspellen van grasgroei en ruw eiwit
- Inventariseren van praktijkervaringen

Het doel van de praktijktest was om inzicht te krijgen in het in praktijk brengen van grasgroei voorspelling, hoe dit voor praktijkpercelen uitpakt en welke verbeterpunten er nog zijn voor de verdere implementatie van de webapplicatie GrasSignaal. In dit rapport staan de resultaten van de test.

2 Achtergrond

2.1 Resultaten maaiproef 2016-2017

Bron: Hoving et al. (2019)

Op de proefbedrijven Vredepeel (zand), Dairy Campus (klei) en KTC Zegveld (veen) is in 2016 en 2017 een maaiproef uitgevoerd om maaiofbrengsten 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 valideren hoe het groeimodel 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 handbed 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 groeimodel (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 groeimodel 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, waarmee 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 grasgroeimodel. Voor reflectiepercentages en grashoogte vond de analyse plaats op basis van kalibratie en voor het groeimodel 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 groeimodel 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 groeimodel 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 groeimodel. 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 per snede, 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 bodemonsters, (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.

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.

2.2 Grasgroeimodel

Maaien

Bron: Hoving et al. (2019)

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 groeiverloopprouwen 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.

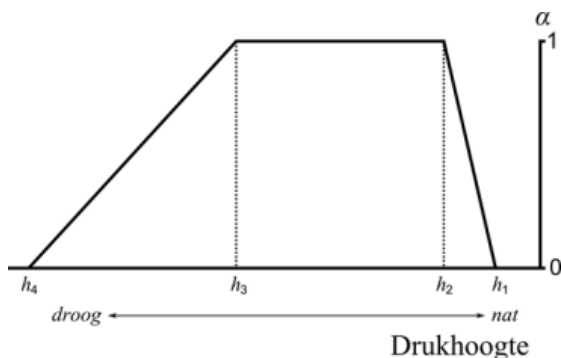
In GRAS2007 wordt gebruik gemaakt van een stikstofbalans, waarbij de stikstofopbrengst geschat wordt op basis van het stikstofleverend vermogen van de bodem (NLV), uit stikstof gegeven met kunstmest en dierlijke mest en uit onbenutte stikstof uit een vorige snede. De stikstofopbrengst vanuit de bodem 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 vertragingfactor (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 $K_c = 1$.

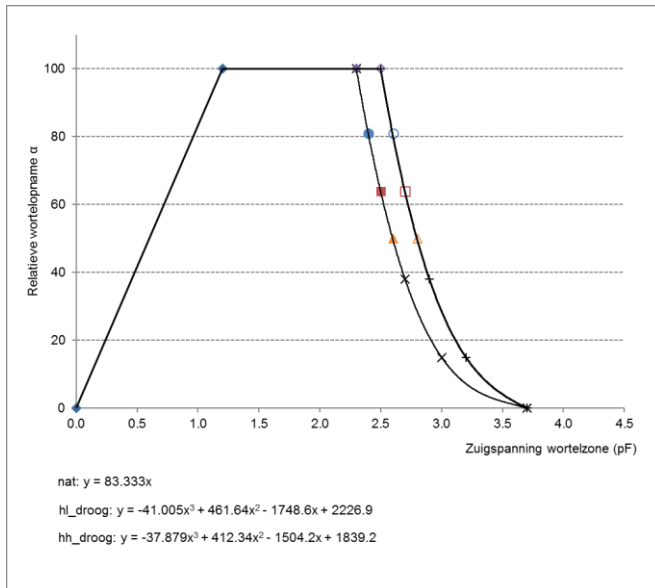
Onder veldomstandigheden wordt de verdamping echter gereduceerd door vernatting of droogte. Zowel te droge als te natte omstandigheden leiden tot een suboptimale transpiratie omdat plantenwortels dan onvoldoende water kunnen opnemen. Voor het berekenen van reducties in de wateropname door te droge (watertekort) en te natte (zuurstoftekort) omstandigheden heeft Feddes *et al.* (1978) een wortelonttrekkingsfunctie ontwikkeld (Figuur 1). 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 1 Relatieve wortelopname a (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 $h3$ tot $h4$ door droogtestress. Tussen $h2$ en $h3$ is de wateropname optimaal ($a=1$). Volgens deze functie neemt de wateropname af door zuurstofstress tussen de kritische grenswaarden $h2$ en $h1$.

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. Binnen dit traject is gekozen 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 2 staat de uitwerking van de Feddes functie voor GRAS2007.



Figuur 2 Relatieve wortelopname a (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 ($a=100$) 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).

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

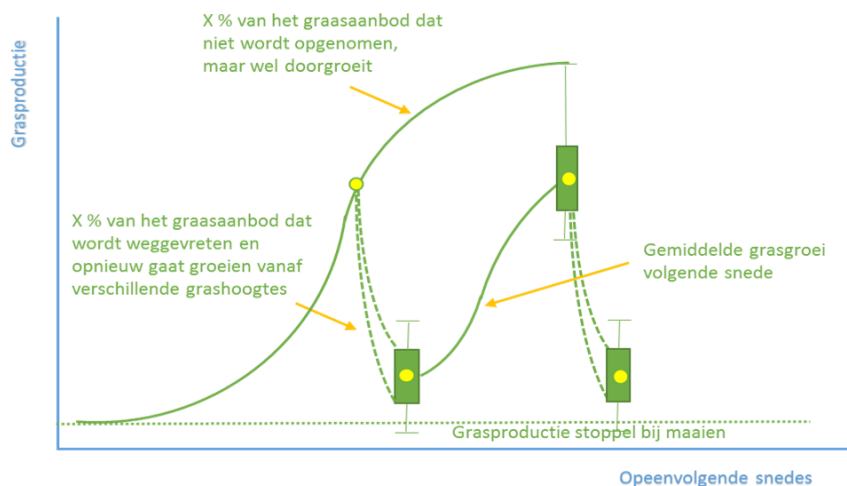
Waarbij:

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

Beweiding

In de berekende groei wordt onderscheid gemaakt in netto -en bruto drogestofproductie. Na weiden ontstaan weideresten die niet opgenomen worden en die na uitscharen van vee doorgroeien. De weideresten worden door veroudering niet als aanbod gerekend. De netto grasproductie betreft de grasopbrengst dat daadwerkelijk grasaanbod is voor de koe bij weiden, exclusief de oude weideresten. Bij maaien is de netto grasopbrengst gelijk aan de bruto grasopbrengst, omdat dan wel het gehele aanbod geogst wordt.

Het grasgroeimodel is uitgebreid met algoritmen voor gestoorde groei tijdens weiden en de hergroei na weiden. Hiertoe is in 2018 een veldproef het verzamelen van extra basisdata betreffende de hergroei van gras vanuit verschillende opbrengststadi. In Figuur 3 is de hergroei van gras na weiden in opeenvolgende sneden schematisch weergegeven.



Figuur 3 Schematische weergave van de hergroei van gras na weiden in opeenvolgende sneden.

Door weideresten start de hergroei van gras vanuit een bredere bereik van grasopbrengsten dan na maaien en de variatie in grasopbrengsten neemt toe naarmate het aandeel weideresten groter is. Voor het berekenen van groei onder weideomstandigheden is het zodoende van belang een inschatting te hebben van de grasopname. In GrasSignaal wordt voor melkvee de grasopname afgeleid uit het aantal uren weidegang, de hoeveelheid bijvoeding en het melkproductieniveau of kan direct door de gebruiker worden opgegeven. De consequentie van deze verfijning in de groeivoorspelling is dat het extra invoergegevens vraagt van de gebruiker.

2.3 Webapplicatie GrasSignaal

Bron: Hoving et al. (2019).

Voor het voorspellen van grasgroei is gebruik gemaakt van een voorlopige webapplicatie 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 2.2). 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 BV. ten behoeve van BeregeningsSignaal van ZLTO (www.zlto.nl/beregeningssignaal). BeregeningsSignaal maakt gebruik van een eenvoudige 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 interactief draaien op het internetplatform Akkerweb, zodat de programma's 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 een interne login voor het regelen van de benodigde inputs. Als output berekende het programma de cumulatieve bruto en netto biomassa in droge stof, de hoeveelheid grasgroei per dag en het stikstofgehalte van vers gras per dag.

3 Werkwijze

3.1 Praktijkbedrijven en proefpercelen

Op vier praktijkbedrijven en melkveepr oefbedrijf De Marke is in het groeiseizoen van 2019 het modelmatig schatten van grasgroei in de praktijk getest aan de hand van de stikstoflevering van de bodem, stikstofbemesting en graslandgebruik in de vorm van maaien en weiden. Hiertoe zijn per bedrijf drie proefpercelen geselecteerd die intensief gevolgd werden. Een overzicht van bedrijven en percelen staat in Tabel 2. In Bijlage 1 staat per bedrijf een plattegrond met hierop aangegeven de proefpercelen.

Tabel 2 Testbedrijven, locatie en proefpercelen praktijktest 2019.

Bedrijf	Locatie	Perceel
De Marke	Hengelo (Gld)	2
		3
		9
Huyzer	Zeerijp (Gr)	R11
		L3
		L12
Van de Kamp	Kampen (Ov)	11
		8
		7
Van der Wind	Montfoort (Ut)	1
		5
		8
Stevens	Holten (Ov)	6a
		10c
		24a

Bij weiden is het aantal weidende koeien, het aantal weidedagen, de verblijfstijd per dag en de hoeveelheid bijvoeding per koe per dag geregistreerd om te schatten hoeveel gras weggevreten werd en de begin hoeveelheid van de volgende grassnede te bepalen. In Bijlage 2 staat per bedrijf per proefperceel het tijdstip van de eerste mestgift voor drijfmest en kunstmest in het voorjaar, de bemestingshoeveelheden per snede het tijdstip van oogst, of dit weiden of maaien betrof, het aantal koeien bij weiden, de vers grasopname per koe per dag en de perceelsgrootte.

3.2 Modelmatige grasgroei

Voor het berekenen van de beschikbaarheid van de hoeveelheid bodemvocht in de wortelzone genereerde het prototype webapplicatie de bodemfysische eigenschappen voor de boven- en ondergrond aan de hand van de bouwstenen voor de Staringreeks (Wösten et al, 2012) door middel van automatische datakoppelingen. Voor de dikte van de wortelzone is uitgegaan van een standaardwaarde van 25 cm. Voor de stikstoflevering van de bodem (NLV) werd gebruik gemaakt van de meest actuele bodemanalyses die voor de betreffende percelen bekend waren. In Tabel 3 staan de bouwstenen voor de boven- en ondergrond, de worteldiepte en de stikstoflevering van de bodem per bedrijf per proefperceel.

Tabel 3 De bodemkarakteristiek volgens de bouwstenen van de Staringreeks (Wösten et al., 2012).

Bedrijf	Perceel	Bovengrond		Ondergrond		Worteldiepte (cm)	NLV (kg N.ha ⁻¹)
		(Code Staringreeks)		(Code Staringreeks)			
De Marke	2	B2	Zwak lemig fijn zand	O1	Leemarm fijn zand	25	125
	3	B2	Zwak lemig fijn zand	O1	Leemarm fijn zand	25	125
	9	B2	Zwak lemig fijn zand	O2	Zwak lemig fijn zand	25	136
Huyzer	R11	B9	Zware zavel	O10	Zware zavel	25	125
	L3	B9	Zware zavel	O10	Zware zavel	25	96
	L12	B8	Matig lichte zavel	O10	Zware zavel	25	110
Van de Kamp	11	B10	Lichte klei	O11	Lichte klei	25	250
	8	B8	Matig lichte zavel	O9	Matig lichte zavel	25	250
	7	B10	Lichte klei	O11	Lichte klei	25	250
	6	B10	Lichte klei	O11	Lichte klei	25	250
Van der Wind	1	B12	Zeer zware klei	O13	Zware klei	25	220
	5	B12	Zeer zware klei	O13	Zware klei	25	250
	8	B17	Venige klei	O17	Meso- en eutroof veen	25	250
Stevens	6a	B8	Matig lichte zavel	O10	Zware zavel	25	170
	10c	B3	Sterk lemig fijn zand	O3	Sterk lemig fijn zand	25	120
	24a	B3	Sterk lemig fijn zand	O3	Sterk lemig fijn zand	25	175

Het was de bedoeling om een vernieuwde versie van GrasSignaal in te zetten voor het schatten en voorspellen van grasgroei met een volledige integratie van bodemvocht en grasgroei draaiend op het internetplatform Akkerweb. In dit nieuwe programma zou een aanmerkelijk geavanceerder bodemvochtmodel (WatBal) worden gebruikt met een uitbreiding van het aantal invoerparameters die automatisch digitaal uit bodem en hydrologiekaarten worden opgehaald. Het nieuwe programma was weliswaar bij aanvang van het groeiseizoen 2019 beschikbaar, maar bleek helaas niet te functioneren door instabiliteit van zowel de bodemvocht- als de grasgroeimodule (combinatie van rekenkern, webservice en userinterface). Achteraf gezien bleek het programma in een verkeerde omgeving geprogrammeerd te zijn waardoor het instabiel was en niet gebruikt kon worden. Door deze tegenslag kon de grasgroei zodoende niet actueel voorspeld worden, maar is uiteindelijk achteraf berekend door terug te vallen op het eerdere prototype van GrasSignaal met BeregeningsSignaal als bodemvochtmodel. De resultaten van deze sessie zijn eind 2019 met de deelnemers besproken en de resultaten staan in het volgende hoofdstuk.

3.3 Grashoogte

De grasgroei is gemonitord door per bedrijf wekelijks van de drie proefpercelen grashoogte te meten met een grashoogtemeter, een Jenquip EC09 Electronic Plate Counter (©Grasstec 2016). Tijdens het meten werd het aantal klikken genoteerd en omgerekend naar centimeters (vermenigvuldiging x 2). Grashoogtes zijn zowel omgerekend naar grasopbrengst als gebruikt voor het verbeteren van de modelmatige schatting van het groeimodel volgens de empirisch vastgestelde relatie voor de combinatie Groeimodel en Grashoogte (volgens Hoving et al., 2019):

-
1. Drogestofopbrengst op basis van Grashoogte ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$):
 $y = \text{EXP}(8.7761273 + -18.1817914 * (1/\text{Grashoogte}))$
 2. Drogestofopbrengst op basis van Grashoogte en Groeimodel ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$):
 $y = \text{EXP}(4.2034559 + -9.1076178 * (1/\text{Grashoogte}) + 0.559069 * \text{LN}(\text{drogestofopbrengst groeimodel}))$

Met Grashoogte in cm en drogestofopbrengst groeimodel in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$

3.4 Satellietbeelden

Na het groeiseizoen zijn per proefperceel WDVI_{red} waarden berekend op basis van alle beschikbare Sentinel-2 satellietbeelden. Volgens Hoving *et al.* (2019) gaf WDVI_{red} op basis van data uit de maaiproef die in 2016-2017 is uitgevoerd, ten opzichte van individuele golflengtes en de meest voorkomende vegetatie-indexen, de beste schatting van de grasopbrengst. De beelden hebben in principe een resolutie van 10 m, maar zijn geresampled naar een grid van 25 m om deze te kunnen combineren met Landsat satellietbeelden. Alleen voor percelen met een voldoende breedte in verhouding tot het grid van de beelden konden satellietbeelden gebruikt worden voor het genereren van opbrengstschattingen. Deze WDVI_{red} -waarden zijn getransformeerd naar droge stofopbrengst en gebruikt om de modelmatige grasopbrengst schatting te verbeteren. Hiertoe is gebruik gemaakt van de empirisch vastgestelde relatie voor de combinatie Groeimodel en Reflectiemetingen (volgens Hoving *et al.*, 2019):

3. Drogestofopbrengst op basis van Reflectiemetingen ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$):
 $y = \text{EXP}(3.6667642 + 7.0361923 * \text{WDVI}_{\text{red}})$
4. Drogestofopbrengst op basis van Reflectiemetingen en Groeimodel ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$):
 $y = \text{EXP}(1.4076366 + 2.9439254 * \text{WDVI}_{\text{red}} + 0.6348604 * \text{LN}(\text{drogestofopbrengst groeimodel}))$

Met WDVI_{red} als verhoudingsgetal tussen 0 en 1 en drogestofopbrengst groeimodel in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$

3.5 Vergelijk en toetsing van schatters

De modelresultaten werden voor wat betreft drogestofopbrengst vergeleken met de geschatte drogestofopbrengst volgens grashoogte en reflectiemetingen (WDVI_{red}) en combinaties van schatters te weten groeimodel + grashoogte en groeimodel + WDVI_{red} . Dit gaf uitsluitend een beeld van hoe de schatters zich onderling verhielden. Alleen op De Marke zijn de werkelijke grasopbrengsten bepaald door het uitmaaien van stroken en kon daadwerkelijk een toetsing van de geschatte grasgroei plaatsvinden.

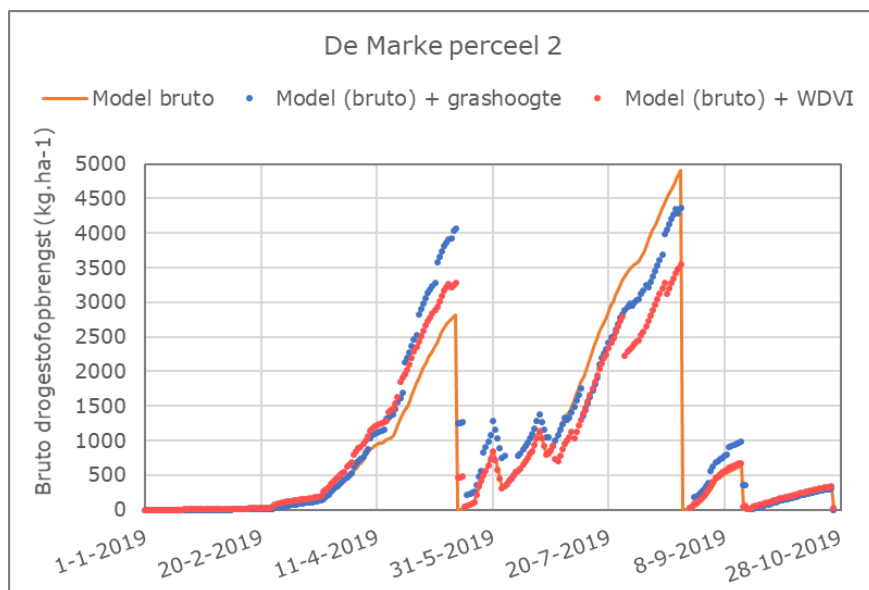
Voor het kwantificeren van het stikstofgehalte (N-totaal) zijn wekelijks vers grasmonsters genomen en geanalyseerd. De analyses zijn uitgevoerd door Eurofins NV vanuit de participatie van het bedrijfslaboratorium in DISAC N-sensing. De analyse resultaten en de modelresultaten voor ruw eiwitgehalte zijn met elkaar vergeleken.

4 Resultaten

4.1 Drogestofopbrengst

Met het groeimodel is per proefperceel de bruto grasopbrengst berekend op basis van de betreffende bodemkarakteristiek, grondwaterstand (zover van toepassing), worteldiepte, NLV, graslandgebruik, neerslag, verdamping en temperatuur. Deze opbrengsten zijn vergeleken met opbrengsten die geschat zijn op basis van enerzijds gemeten grashoogtes en anderzijds reflectiemetingen afkomstig van satellietbeelden. Daarbij is het groeimodel gecombineerd met deze metingen om te zien of dit de opbrengstschatting verbeterde, zoals dat in de maaiproef van 2016-2017 het geval was (Hoving et al., 2019).

De grashoogtemetingen werden meestal een dag voor oogst uitgevoerd, maar de satellietbeelden waren niet altijd vlak voor oogst beschikbaar. Om toch te kunnen beoordelen in hoeverre satellietbeelden (vegetatie-index $WDVI_{red}$) de modeluitkomsten verbeterden, is op basis van de metingen niet alleen de gecorrigeerde opbrengst voor het betreffende meetmoment berekend, maar ook het verdere groeiverloop vanaf het meetpunt tot het volgende meetpunt of tot eindoogst. Deze procedure is ook toegepast voor grashoogte. Ter illustratie staan in Figuur 4 het gecorrigeerde opbrengstverloop op basis van grashoogte en $WDVI$ en de opbrengsten volgens het basismodel van de achtereenvolgende grassneden voor perceel 2 van De Marke.



Figuur 4 Bruto opbrengstverloop volgens het basis groeimodel en de gecorrigeerde opbrengst op basis van grashoogte en satellietbeelden (biomassa index $WDVI$) voor achtereenvolgende sneden voor perceel 2 van De Marke. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden voor perceel 2: MWWMMM.

In Figuur 4 is te zien dat de grashoogte metingen en $WDVI$ de bruto grasopbrengst in dezelfde richting corrigeren (liggen beide boven of onder de grasopbrengst volgens het basis groeimodel) en dat de gecorrigeerde groeiverlopen relatief geleidelijk verloopt zonder grote opbrengstverschuivingen op het moment van een meting, uitgezonderd de correctie op basis van $WDVI$ begin augustus halverwege de groei van de vierde snede.

Voor de testbedrijven staan de bruto gemodelleerde grasopbrengst en de gecorrigeerde bruto modelopbrengst op basis van grashoogte en $WDVI$ gemiddeld per perceel in Tabel 4. Daarbij staat de geogoste grashoeveelheid en de grasopname van melkvee vermeld bij weiden. De hoeveelheid grasopname bepaalt namelijk hoeveel gras is blijven staan en daarmee het startniveau van de

hergroei voor de volgende snede. Een aantal percelen was dermate smal dat geen betrouwbare WDVI-waarden gegenereerd konden worden. Alleen voor proefbedrijf De Marke konden de modeluitkomsten getoetst worden aan daadwerkelijk gemeten grasopbrengsten. In Bijlage 3 staan de bruto gemodelleerde en de gecorrigeerde bruto modelopbrengsten per testbedrijf per perceel per snede.

Tabel 4 De gemodelleerde bruto grasopbrengst, de gecorrigeerde modelopbrengsten op basis van grashoogte en WDVI, de geoogste grasopbrengst en de opgenomen hoeveelheid gras door melkvee per testbedrijf per perceel in 2019. Voor de proefpercelen van de Marke staan ook de gemeten grasopbrengsten vermeld.

Bedrijf	Perceel (ID)	Meting (kg ds.ha ⁻¹)	Model bruto (kg ds.ha ⁻¹)	Model bruto + grashoogte (kg ds.ha ⁻¹)	Model bruto + WDVI (kg ds.ha ⁻¹)	Oogst (kg ds.ha ⁻¹)	Grasopname melkvee (kg ds.ha ⁻¹)
De Marke	2	9715	10668	12366	9813	9753	1095
	3	9747	13201	14265	10682	8895	1793
	9	8346	10637	9485		6145	1781
Huyzer	R11		7775	8812		6833	2801
	L3		5215	6448		4643	3054
	L12		5612	8367		6694	4650
Van de Kamp	8		8043	9604	7842	7687	3865
	7		15413	15728	13332	14096	4930
	6		8665	9780	10335	6103	2862
Van der Wind	1		5924	7945		5182	2806
	5		9260	12029		8338	3330
	8		16455	16667		13631	5100
Stevens	6a		12512	11393	12512	7760	3428
	10a		17887	18475	13562	8048	2194
	24a		13625	14641	14178	6504	3354

De jaaropbrengsten verschillen tussen die van het basis groeimodel en de gecorrigeerde opbrengsten. Daarbij waren de gecorrigeerde opbrengsten op basis van grashoogte veelal hoger en de gecorrigeerde opbrengsten op basis van WDVI_{red} veelal lager dan die van het basismodel. Opvalt dat de oogst voor de meeste percelen lager was dan de bruto grasopbrengst. Vooral voor de percelen van het bedrijf Stevens waren de verschillen aanzienlijk. De betreffende percelen zijn voornamelijk geweid. Het niet geoogste gras betrof dus weideresten, waardoor de hergroei voor een volgende snede overschat werd. Dit leidde uiteindelijk tot een relatief hoge jaaropbrengsten en waarschijnlijk een overschatting van de werkelijkheid. De grasgroeimodellering blijkt zodoende gevoelig voor de geoogste hoeveelheid gras bij weiden.

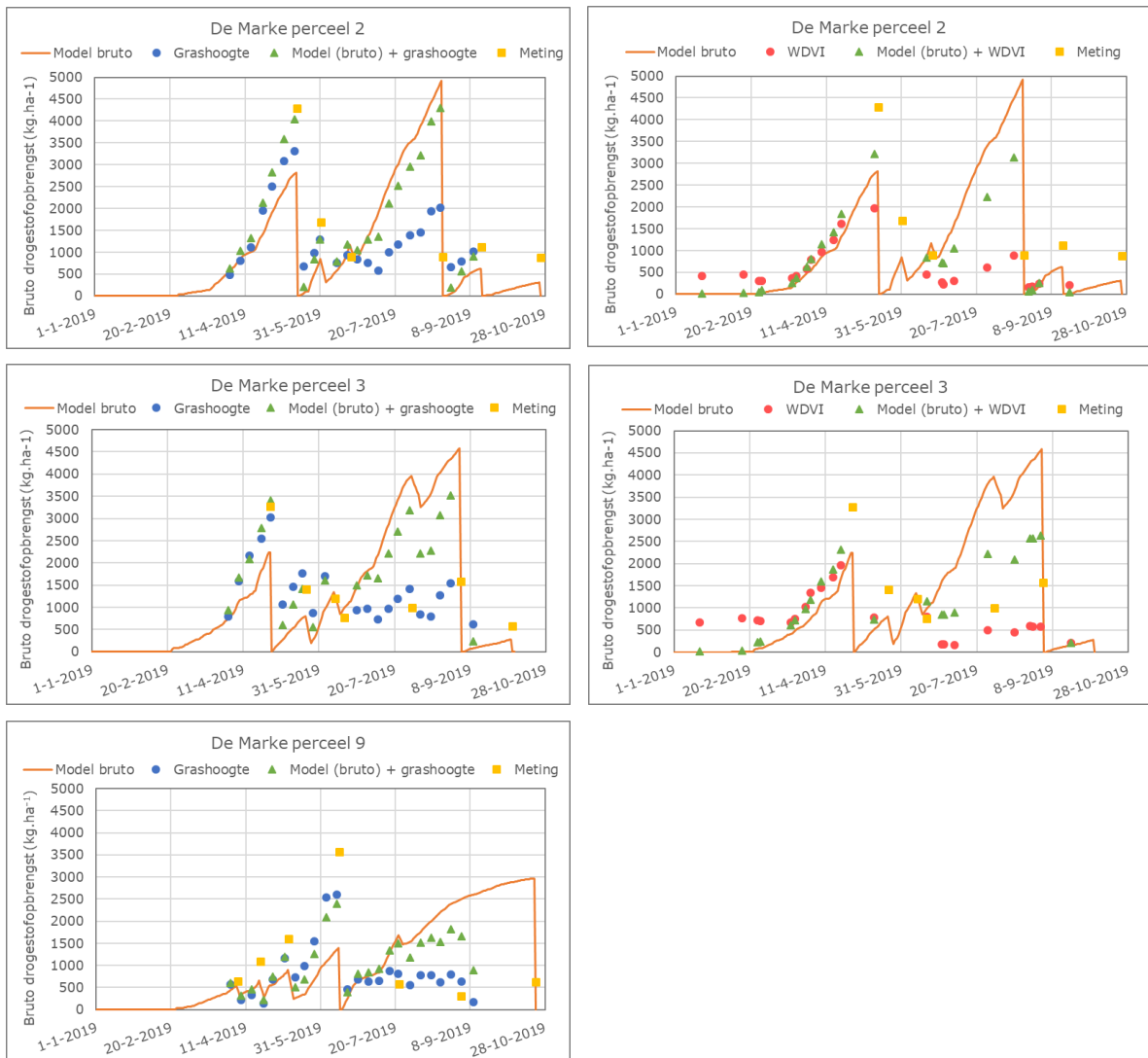
Voor de proefpercelen van de Marke zijn de modelopbrengsten vergeleken met de meetopbrengsten en is geanalyseerd waardoor afwijkingen optraden. In Tabel 5 staan voor de Marke per perceel per snede de eindopbrengsten die bepaald zijn volgens het uitmaaien van stroken bij eindoogst (meting) en de vergelijking met de bruto gemodelleerd grasgroei en de gecorrigeerde modelopbrengsten op basis van grashoogte en WDVI. De afwijkingen tussen de metingen en de modeluitkomsten zijn in percentages weergegeven. Daarbij staat de grasopname van melkvee vermeld voor de sneden die geweid zijn.

Tabel 5 Grasopbrengst gemeten en gemodelleerd volgens model (bruto), model (bruto) + grashoogte, model (bruto) + WDVI en grasopname voor drie proefpercelen van testbedrijf De Marke.

Perceel	Snedes	Grasland-gebruik	Meting (M/W)	Model (bruto)	Afwijking model (bruto)	Model (bruto) + grashoogte	Afwijking model (bruto) + grashoogte	Model (bruto) + WDVI	Afwijking model (bruto) + WDVI	Grasopname melkvee (kg ds.ha ⁻¹)
				(kg ds.ha ⁻¹)	(%)	(kg ds.ha ⁻¹)	(%)	(kg ds.ha ⁻¹)	(%)	
2	1	M	4286	2813	-34	4059	-5	3275	-24	
	2	W	1674	845	-50	1287	-23	845	-50	687
	3	W	884	1165	32	1378	56	1131	28	408
	4	M	886	4913	455	4359	392	3549	301	
	5	M	1110	626	-44	977	-12	675	-39	
	6	M	875	306	-65	306	-65	338	-61	
	Totaal			9715	10668	10	12366	27	9813	1
3	1	M	3271	2239	-32	3407	4	2914	-11	
	2	W	1404	802	-43	1463	4	1040	-26	700
	3	W	1192	1340	12	1973	66	1340	12	608
	4	W	1743	3957	127	3225	85	2388	37	485
	5	M	1570	4585	192	3757	139	2673	70	
	6	M	567	278	-51	438	-23	326	-42	
	Totaal			9747	13201	35	14265	46	10682	10
9	1	W	640	536	-16	691	8			304
	2	W	1077	661	-39	665	-38			510
	3	W	1590	894	-44	1286	-19			700
	4	M	3564	1398	-61	2429	-32			
	5	W	567	1684	197	1505	165			267
	6	M	294	2498	750	1658	464			
	7	M	614	2966	383	1252	104			
Totaal			8346	10637	27	9485	14			1781

De grasgroei werd door het basismodel voor de eerste snede behoorlijk onderschat, maar het groeimodel + grashoogte benaderde de gemeten groei relatief dicht. Voor het groeimodel + WDVI werd de schatting ook verbeterd, maar bleef de afwijking groter. Voor de overige sneden waren de afwijkingen relatief groot en dit gold ook na correctie van de modelschatting met grashoogte of WDVI. Dit betrof vooral de sneden die waren geweid of na weiden waren gemaaid. Opvalt dat de waarden voor grasopname (invoer model) relatief laag waren ten opzichte van de meting. Dit betekende een overschatting van de eindopbrengst van de betreffende snede en relatief veel weiderest die doorgroeide waardoor de opbrengst van de volgende snede gemakkelijk overschat werd. Voor perceel 9 was de groei van snede 6 (M) in het model door onbekende reden niet geactiveerd en gaf zodoende een afwijking. Deze snede groeide volgens het model ongestoord verder en werd pas op het moment van snede 7 (M) geoogst, waardoor ook deze snedeopbrengst afwijkt.

Het opbrengstverloop per snede volgens het basis groeimodel, de geschatte volgens grasopbrengst $WDVI_{red}$ en de gecombineerde schatters respectievelijk groeimodel bruto + grashoogte en groeimodel bruto + $WDVI_{red}$ zijn per bedrijf per perceel grafisch weergegeven in Bijlage 4. Voor Perceel 2, 3 en 9 staan de betreffende grafieken in Figuur 5.



Figuur 5 Geschatte grasopbrengst volgens groeimodel (bruto), grashoogte, $WDVI_{red}$ en gecombineerde schatters respectievelijk groeimodel bruto + grashoogte en groeimodel bruto + $WDVI_{red}$ De Marke perceel 2, 3 en 9. Voor perceel 9 waren geen $WDVI$ -data beschikbaar. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden voor perceel 2: MWWMMM, voor perceel 3: MWWWMM en voor perceel 9: WWWMMMM.

De grafieken tonen het verloop van de gemodelleerde grasgroei en de achtereenvolgende metingen. Het verschil in eind oogsten is toegelicht in de bovenstaande beschrijving bij Tabel 4. Zie voor meerdere mogelijk oorzaken voor afwijkingen naast een onderschatte grasopname het hoofdstuk Discussie.

De geschatte grasopbrengsten volgens grashoogte en $WDVI$ gaan meestal richting de gemeten grasopbrengst. Voor snede 1 lukte het om op basis van deze meetwaarden de werkelijkheid relatief dicht te benaderen. Voor sneden met de aangegeven grote modelafwijkingen, zoals bij perceel 2 snede 4, perceel 3 snede 4 en 5 en perceel 9 snede 4-7 werd de afwijking weliswaar kleiner, maar was de correctie onvoldoende om de bepaalde grasopbrengst dicht te benaderen.

De resultaten van de proefpercelen van de praktijkbedrijven laten dit ook zien, zoals de proefpercelen van Huyzer voor een correctie naar hogere waarden en de proefpercelen van Stevens (10c snede 8, 24a snede 8, 6a snede 1-3), Van der Wind (5 snede 4, 8 snede 2-4) en Van de Kamp (11 snede 4 en 7 snede 3) voor een correctie naar lagere waarden.

4.2 Ruw eiwitgehalte

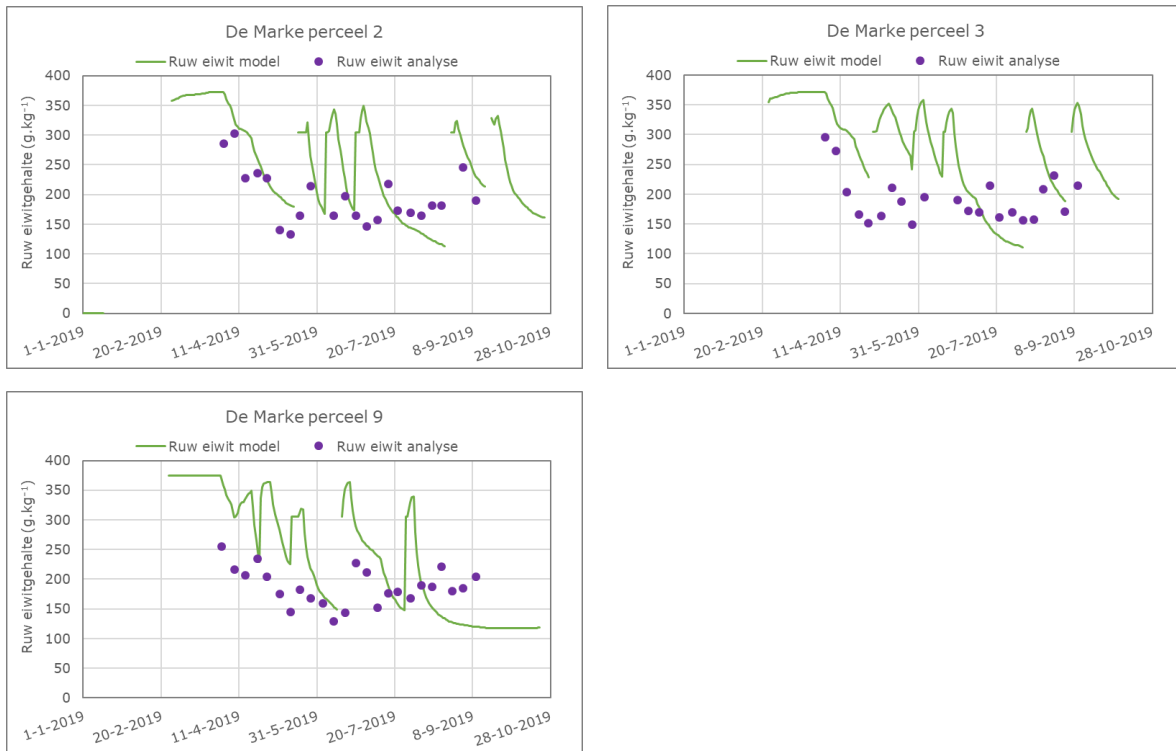
De wekelijkse analyse van vers grasmonsters op ruw eiwit is vergeleken met de modeluitkomsten van GrasSignaal. In Tabel 6 staan de gemiddelde resultaten van de testbedrijven per proefperceel per snede. Daarbij staat de Root Mean Square Error (RMSE) vermeld als maat voor de afwijkingen van de modeluitkomsten ten opzichte van de analyses. Hierbij is onderscheid gemaakt in alle waarnemingen en de ruw eiwitgehalten kleiner dan 300 g.kg drogestof¹ aangezien de initiële modeluitkomsten bij de start van een snede relatief hoog zijn. In Bijlage 5 staan de resultaten per bedrijf, per perceel per snede.

Tabel 6 Per testbedrijf per proefperceel het gemiddelde ruw eiwitgehalte volgens vers grasanalyses, gemodelleerd volgens het groeimodel (GrasSignaal) en de Root Mean Square Error (RMSE) van de modeluitkomsten ten opzichte van de analyses over alle waarnemingen en voor ruw eiwitgehalten kleiner dan 300 g.kg drogestof¹.

Bedrijf	Perceel (ID)	Vers grasanalyse (g.kg ds ⁻¹)	Model RE (g.kg ds ⁻¹)	RMSE alle waarnemingen (g.kg ds ⁻¹)	RMSE RE<300 (g.kg ds ⁻¹)
De Marke	2	196	257	82	44
	3	196	284	93	64
	9	195	239	93	58
Huyzer	R11	214	264	76	61
	L3	217	246	79	57
	L12	211	235	50	44
Van de Kamp	8	213	256	80	78
	7	214	236	44	36
	6	221	233	67	59
Van der Wind	1	212	298	97	59
	5	231	253	74	65
	8	229	229	51	40
Stevens	6a	191	242	66	49
	10a	201	268	116	55
	24a	200	310	59	59
Totaal		209	257	75	55

De modeluitkomsten waren gemiddeld hoger dan de analyseresultaten en de RMSE bedroeg 75 g.kg drogestof¹ en was daarmee relatief hoog ten opzichte van het gemiddelde.

In Figuur 6 staat het geschatte ruw eiwitgehalte volgens het groeimodel en het geanalyseerde ruw eiwitgehalten van de vers grasmonsters voor Perceel 2, 3 en 9 van De Marke. De resultaten van de overige praktijkbedrijven staan in Bijlage 6.



Figuur 6 Geschat ruw eiwitgehalte volgens groeimodel en bepaald ruw eiwitgehalte volgens vers grasanalyses De Marke Perceel 2, 3 en 9. De hoge pieken in de modelmatige groei betreffen de start van een nieuwe snede. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden: Perceel 2 MWWMMM, Perceel 3 MWWWMM en Perceel 9 WWWWMM.

Voor de proefpercelen van De Marke laat de toetsing zien dat het groeimodel de ruw eiwitgehalten in het algemeen overschat; in de eerste snede vooral tot begin april en in de overige sneden tot ongeveer de eerste helft van de groei van een snede. Hierin spelen drie verschillende aspecten een rol, te weten hoge initiële waarden voor het stikstofgehalte in de startfase van een snede, een onderschatting van de drogestofopbrengst en de berekening van het ruw eiwitgehalte alleen voor de nieuw bijgegroeide hoeveelheid gras. Zie voor een verdere toelichting het hoofdstuk Discussie.

4.3 Praktijkervaringen

Het technisch laten draaien van het modelinstrumentarium in de vorm van de webapplicatie GrasSignaal was een belangrijk aspect van de praktijktest, maar minstens zo belangrijk was om te ervaren hoe gebruikers de applicatie in de praktijk ervaren; of het toegevoegde waarde heeft, of het de graslandplanning beïnvloedt, wat er nog mist en wat voor verdere ideeën het oplevert. Door de problemen met de instabiliteit van de applicatie kon deze helaas niet ingezet worden en konden de ervaringen van de deelnemers helaas niet gevolgd worden. Deze zijn beperkt gebleven tot de ervaringen die volgden uit het intensiever volgen van een aantal van hun percelen, de analyseresultaten (ruw eiwit) die zij terugkregen van Eurofins en het gezamenlijk bespreken van de resultaten. Gebleken is dat de uitslagen van de laboratoriumanalyses met grote belangstelling werden gevolgd en dat dit veel toegevoegde waarde had voor de graslandplanning (voortuit- en terugkijkend). Met kennis van de analyseresultaten werd gericht gestuurd op de gewenste kwaliteit van gras. Daar waar normaliter de graskwaliteit visueel ingeschat wordt geven de metingen een objectief beeld van de kwaliteit.

De data van bemesting en graslandgebruik werden na afloop in het prototype webapplicatie ingevoerd. Dit betrof betrekkelijk veel informatie en dat betekent dat veel aandacht besteedt moet worden aan het gebruiksgemak van het programma. Ook is het een uitdaging om de bemesting en het graslandgebruik, dat ruimtelijk en in de tijd zeer dynamisch is, te vangen in een administratief systeem, zodanig dat wel een goede schatting van de grasopbrengst kan plaatsvinden.

5 Discussie

5.1 Drogestofopbrengst

De drogestofopbrengst is met het groeimodel geschat op basis van de beschikbare invoergegevens zonder dat enige vorm van kalibratie is uitgevoerd. De voorspelling van de grasopbrengsten gaf een wisselend beeld, met soms een goede benadering van de werkelijkheid, maar soms ook duidelijke afwijkingen. Voor veel proefpercelen weken de modelopbrengsten voor één of meer sneden af van de gemeten opbrengsten (De Marke) en de schattingen volgens grashoogte en $WDVI_{red}$. Alleen de meetopbrengsten waren daadwerkelijk bruikbaar voor toetsing, maar de opbrengsten volgens grashoogte en $WDVI_{red}$ gaven bij een grote afwijking wel een richting aan of de werkelijke opbrengsten waarschijnlijk hoger of lager zijn geweest. De afwijkingen kunnen meerdere oorzaken gehad hebben:

1. Het grasgroeimodel is gevoelig voor de beschikbaarheid van stikstof als groeiparameter. De stikstoflevering van de bodem op jaarbasis en de verdeling van stikstof zoals die in het groeiseizoen vrijkomt kunnen in werkelijkheid behoorlijk afwijken van de geschatte NLV en de gehanteerde verdelingscurve.
2. De beschikbaarheid van bodemvocht is een belangrijk gegeven om de verdampingsreductie te bepalen. Hiervoor werd een relatief eenvoudig model gebruikt dat voor complexe hydrologische omstandigheden niet toereikend is. In hoeverre bodemvochttoestand goed werd benaderd is niet getoetst.
3. Het tijdstip waarop de groei van de eerste snede in het voorjaar gaat groeien. De luchttemperatuur is hier een belangrijke factor in. De aanvang van groei leek wel goed benaderd te worden maar de geschatte groei per dag was minder hoog dan in werkelijkheid.
4. Het groeimodel voorziet in het inschatten van de bijgroei tijdens weiden en hergroei na weiden. Dit betreft algoritmen die recent aan het programma zijn toegevoegd en nog niet getoetst zijn aan veldwaarnemingen. Hierdoor is de waarde van de modeluitkomsten onzeker.
5. De grasopname van weidend vee is geschat op basis van het aantal uren weidegang, de hoeveelheid bijvoeding en het melkproductieniveau (default) of werd door de deelnemer opgegeven. Dit is een sterk vereenvoudigde benadering van de werkelijkheid. Voor de proefpercelen van de Marke werd de grasopname bij weiden waarschijnlijk onderschat. Ook voor proefpercelen van de praktijkbedrijven lijkt dit het geval geweest te zijn.

Modelafwijkingen werden kleiner door de modeluitkomsten te combineren met de gemeten grashoogte of $WDVI_{red}$ en daaruit gecorrigeerde opbrengsten te berekenen. Opviel dat de correctie op basis van grashoogte en $WDVI_{red}$ relatief goed was voor modelopbrengsten waarbij de gemeten opbrengst onderschat werd en relatief gering voor modelopbrengsten waarbij de gemeten opbrengst sterk overschat werd. Voor de grote verschillen betrof dit allemaal opbrengsten die in één of meerdere voorgaande snede of sneden beweid was of waren. Mogelijk dat de metingen beïnvloed werden door de ruimtelijke variatie in grashoeveelheid. Voor wat betreft het meten van grashoogte is het de vraag of de variatie random gemeten is of dat bijvoorbeeld alleen het kort afgevreten gras gemeten werd.

Voor $WDVI_{red}$ wordt de reflectie binnen een grid bij variatie in graslengte en dichtheid evenredig uitgemiddeld, waardoor de meting niet leidt tot een overschatting van relatief lage of hoge reflectiepercentages. Echter, in de vertaling van $WDVI_{red}$ naar drogestofopbrengst zou een onderschatting plaats kunnen vinden. $WDVI_{red}$ heeft een niet-lineaire exponentiele relatie met grasopbrengst, waardoor bij hogere $WDVI_{red}$ waarden de grasopbrengst relatief hoger is dan bij lagere $WDVI_{red}$ waarden. Dit betekent dat eerst uitmiddelen van $WDVI_{red}$ pixelwaardes per perceel er voor kan zorgen dat de gemiddelde grasopbrengst lager uitvalt, dan wanneer je eerst per pixel de grasopbrengst berekend en dan het gemiddelde per perceel berekend. Het nadeel van eerst uitmiddelen is dat dit extra dataverkeer betekent en de rekengang vertraagt. Bekeken moet worden of dit uitvoerbaar is. Te verwachten is dat dit alleen winst oplevert voor percelen met een aanzienlijke variatie in opbrengst.

Het model voor $WDVI_{red}$ is gebaseerd op metingen met de handheld device CropScan Multispectral Radiometer (Cropscan, 2016) en niet op basis van metingen afkomstig van satellietbeelden. Ondanks dat de $WDVI$ -waarden volgens een andere bron tot stand gekomen zijn lijken de waarden wel plausibel aangezien ze dezelfde orde van grootte hebben als de opbrengsten volgens grashoogte.

5.2 Ruw eiwitgehalte

De vergelijking tussen de geanalyseerde ruw eiwitgehaltenes en de modelmatig geschatte ruweiwitgehaltenes lieten vooral voor de eerste acht dagen van de groei van een snede een aanzienlijk overschatting van de gehalten zien. Hierin spelen drie verschillende aspecten een rol:

1. De hoge initiële waarden voor het stikstofgehalte van 6,1% van de modelmatig berekende drogestofopbrengst op de eerste groeidag van een snede geeft een hoog ruw eiwitgehalte ($\times 6,25$) in de startfase van een snede. Vooral bij relatief weinig groeidagen voor een weidesnede, zoals dat het geval was voor De Marke Perceel 2 snede 2-3, voor Perceel 3 snede 2-4 en Perceel 9 snede 1-3 en 5 leidde dit tot een aanzienlijke overschatting.
2. Een onderschatting van de drogestofopbrengst leidt automatisch tot een overschatting van het ruw eiwitgehalte.
3. Het ruw eiwitgehalte wordt in het groeimodel alleen berekend voor de nieuw bijgegroeide hoeveelheid gras. Zo zal na twee of drie keer weiden achter elkaar het ruw eiwitgehalte van het gras volgens het model hoger zijn dan in de werkelijkheid waarbij oude weideresten het ruwgehalte verlagen. Onbekend is in welke mate oude weideresten in de bemonstering mee zijn genomen en tot lagere ruw eiwitgehaltenes heeft geleid.

6 Conclusies en perspectief

Conclusies

- Modelmatige groeivoorspelling heeft perspectief om door te ontwikkelen en in praktijk te brengen.
- De voorspelling van de grasopbrengsten en ruw eiwitgehalten gaf een wisselend beeld, met soms een goede benadering van de werkelijkheid, maar soms ook duidelijke afwijkingen.
- Het concept om modelmatig voorspelde groei te corrigeren met grashoogte en $WDVI_{red}$ bleek te functioneren en is noodzakelijk om de werkelijkheid goed te benaderen.
- Wel leek de correctie beter te werken voor onderschatte opbrengsten dan voor sterk overschatte opbrengsten.
- Sterk overschatte opbrengsten waren aan de orde waar in de voorgaande snede of sneden beweid was of waren. Hierbij leek de grasopname aanzienlijk onderschat.
- Bij weiden speelt opnameschatting en de inschatting van bij- en hergroei een grote rol. Deze aspecten zijn recent gemodelleerd, maar zijn nog onvoldoende in de praktijk getoetst.
- Ruw eiwitgehalte werd vooral in de eerste helft van een snede overschat en houdt verband met de hoge initiële waarden bij een nieuwe snede.
- Wekelijks vers grasanalyses voor het bepalen van ruw eiwitgehalte bleken duidelijk in een behoefte te voorzien en dragen bij aan het verbeteren van de graslandplanning.

Perspectief

- Het prototype GrasSignaal biedt een goede basis om verder operationeel te maken.
- Voor een succesvolle toepassing zijn gebruiksgemak, betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van groot belang.
- Gebruiksgemak vraagt een gebruiksvriendelijke user interface en koppelingen met databronnen die de invoer van data tot een minimum beperken.
- De betrouwbaarheid wordt op basis van satellietbeelden verbeterd en is te automatiseren, waardoor het geen extra inspanning van gebruikers vraagt.
- Metingen met koesensoren kunnen de grasopname schatting verbeteren en daarmee de schatting van grasopbrengst.
- Een verbeterde opbrengstschatting verbetert ook de schatting van ruw eiwit.
- Schattingen met GrasSignaal geven invoer aan adviestools als de Feedwedge of de standweiden tool van Wageningen Livestock Research voor het plannen van graslandgebruik.

7 Vervolg

GrasSignaal wordt beoogd als platform waarin groeivoorspelling, spectrale metingen (drone- en satellietbeelden), grashoogtemetingen, metingen van bodemsensoren en vers grasanalyses worden samengebracht, omdat datakoppelingen meerwaarde bieden. Verwacht wordt dat GrasSignaal van toegevoegde waarde is voor het praktische graslandmanagement van melkveehouders, vooral voor het bepalen van het gewenste oogstmoment voor voederwinning of het inschaarmoment voor beweiding.

Nadat in april 2019 de webapplicatie niet stabiel bleek voor gebruik in de praktijk, is besloten om het programma volledig te herprogrammeren in een omgeving en volgens een werkwijze die wel stabiliteit garandeert. Deze nieuwe applicatie komt in 2020 beschikbaar en wederom zal een praktijktest plaatsvinden om te zien hoe het in de praktijk functioneert en of een dergelijk programma meerwaarde heeft voor melkveehouders om het graslandmanagement te verbeteren. Een automatische koppeling met satellietbeelden wordt gerealiseerd met als doel het kunnen ranken van percelen op opbrengst, het in beeld brengen van variatie in opbrengst binnen percelen en het verbeteren van groeivoorspelling.

Literatuur

CROPSCAN, 2016. Multispectral Radiometers. Available at: <http://www.cropscan.com/msr.html>. Accessed 15-11.

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.

Holshof, G., and M. Stienezen, 2016. Grasniveau meten met de grashoogtemeter. Wageningen UR Livestock Research. Livestock Research Report 925

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, Report 1200.

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.

Wösten, 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 Plattegrond bedrijven

Plattegronden van de testbedrijven met drie of vier proefpercelen. Deze maken deel uit van de gearceerde percelen. Per proefperceel is tussen haakjes aangegeven welk perceelnummer op de plattegrond hiermee correspondeert.



Figuur 1 Plattegrond De Marke met proefperceel 2 (3), proefperceel 3(1) en proefperceel 9(2).



Figuur 2 Plattegrond Huyzer met proefperceel L3 (21), proefperceel L12(1) en proefperceel R11(23).



Figuur 3 Plattegrond Van de Kamp met proefperceel 11 (12), proefperceel 6(13), proefperceel 7(14) en proefperceel 8 (15).



Figuur 4 Plattegrond Van der Wind met proefperceel 8 (31), proefperceel 5 (32) en proefperceel 1 (33).



Figuur 5 *Plattegrond Stevens met proefperceel 24a (57), proefperceel 10c (59) en proefperceel 6a (61).*

Bijlage 2 Uitgangspunten modelmatig berekende grasgroei

Tabel 1 *Per bedrijf, per proefperceel, per snede het bemestingstijdstip van de eerste snede, de hoeveelheden stikstof uit drijfmest en kunstmest, tijdstip van oogst, oogst in de vorm van weiden of maaien, aantal koeien en grasopname per koe.*

Bedrijf	Perceel (ID)	Snedes (#)	Tijdstip bemesting eerste snede		Hoeveelheid meststof		Tijdstip oogst (dag)	Velddag (#)	Weiden of maaien (W, M)	Aantal koeien (#)	Grasopname (kg.koe-1.dag-1)	
			Drijfmest (dag)	Kunstmest (dag)	Drijfmest (kg N)	Kunstmest (kg N)						
De Marke	2	1	67	86	124	51	136	2	M	0	0	
		2			62	0	152	4	W	76	4.9	
		3			0	21	172	3	W	73	4.0	
		4			98	0	233	2	M	0	0.0	
		5			0	0	259	1	M	0	0.0	
		6			0	0	298	1	M	0	0.0	
	3	1	57	53	124	73	119	2	M	0	0.0	
		2			102	0	143	4	W	76	4.6	
		3			0	26	162	4	W	76	4.0	
		4			98	0	213	5	W	73	2.7	
		5			0	0	245	2	M	0	0.0	
		6			0	0	279	1	M	0	0.0	
	9	1	67	0	88	0	96	2	W	80	4.0	
		2			0	27	111	3	W	78	4.6	
		3			0	0	130	4	W	75	5.0	
		4			62	14	164	2	M	0	0.0	
		5			0	0	204	3	W	70	2.7	
		6			0	0	245	1	M	0	0.0	
		7			0	0	295	1	M	0	0.0	
	Huyzer	R11	1	52	87	124	70	120	3	M	0	0.0
			2			0	0	141	1	W	98	9.0
3					0	0	157	1	W	98	6.0	
4					0	46	176	1	W	105	6.5	
5					0	46	209	2	M	0	0.0	
6					0	46	234	1	W	110	7.0	
7					83	41	280	2	M	0	0.0	
L3		1	52	87	103	0	86	1	W	104	3.5	
		2			0	24	118	1	W	97	10.0	
		3			0	55	132	1	W	104	10.0	
		4			83	55	166	3	M	0	0.0	
		5			0	46	185	1	W	108	5.0	
		6			0	46	212	1	W	106	4.5	
		7			0	0	222	2	W	108	4.0	
L12		1	52	87	124	24	96	1	W	104	4.0	
		2			0	0	126	1	W	103	10.0	
		3			0	0	137	1	W	103	10.0	
		4			83	55	166	3	M	0	0.0	
		5			0	46	190	1	W	108	5.0	
		6			0	46	218	1	W	108	4.5	
		7			83	0	261	2	M	0	0.0	
Van de Kamp	8	1	52	85	160	63	112	1	M	0	0.0	
		2			0	55	139	1	W	90	6.0	
		3			0	0	168	2	M	0	0.0	
		4			0	68	216	1	W	81	6.0	
		5			0	0	231	2	W	0	0.0	
	7	1	52	85	120	52	110	1	W	90	6.0	
		2			0	0	131	1	W	90	6.0	
		3			0	81	168	2	M	0	0.0	
		4			0	68	208	1	W	85	6.0	
		5			0	0	211	19	W	1.4	15.0	
		6			120	0	280	1	M	0	0.0	
	6	1	53	85	160	62	112	1	M	0	0.0	
		2			0	54	159	1	W	85	6.0	
		3			0	0	160	49	W	1	15.0	
		4			72	0	250	1	M	0	0.0	

Vervolg Tabel 1 Per bedrijf, per proefperceel, per snede het bemestingstijdstip van de eerste snede, de hoeveelheden stikstof uit drijfmest en kunstmest, tijdstip van oogst, oogst in de vorm van weiden of maaien, aantal koeien en grasopname per koe.

Bedrijf	Perceel (ID)	Snedes (#)	Tijdstip bemesting eerste snede		Hoeveelheid meststof		Tijdstip oogst (dag)	Velddag (#)	Weiden of maaien (W, M)	Aantal koeien (#)	Grasopname (kg.koe-1.dag-1)	
			Drijfmest (dag)	Kunstmest (dag)	Drijfmest (kg N)	Kunstmest (kg N)						
Van der Wind	1	1	53	81	54	50	103	2	W	56	7.0	
		2			0	0	109	2	W	56	7.0	
		3			0	26	129	9	W	52	8.0	
		4			0	0	151	1	W	9	7.0	
		5			54	57	198	4	M	0	0.0	
		6			34	0	209	5	W	53	16.0	
		7			0	0	220	1	W	52	8.0	
		8			0	0	232	1	W	40	7.0	
	5	1	58	82	58	78	120	3	M	0	0.0	
		2			42	20	155	1	W	52	12.0	
		3			0	41	180	4	W	54	12.8	
		4			51	15	233	4	M	0	0.0	
		5			0	15	242	1	W	52	16.0	
		6			0	0	255	1	W	37	8.0	
		8	1	58	82	58	36	120	3	M	0	0.0
			2			42	20	158	2	W	53	12.0
	3				0	41	184	1	W	43	12.0	
	4				51	15	233	1	M	0	0.0	
	5				0	15	243	2	W	52	16.0	
	6				0	0	257	1	W	37	8.0	
	Stevens	6a	1	51	84	165	81	134	2	M	0	0.0
			2			0	122	159	1	W	85	8.9
			3			0	0	173	1	W	85	9.7
			4			0	73	244	2	W	88	8.0
5					0	0	257	1	W	88	5.0	
10a		1	55	84	164	0	92	1	W	90	4.5	
		2			0	0	106	1	W	90	5.8	
		3			0	73	119	1	W	90	2.0	
		4			0	73	131	1	W	90	1.9	
		5			0	0	147	1	W	90	1.8	
		6			0	0	153	1	W	90	0.4	
		7			0	79	169	2	M	0	0.0	
		8			0	73	229	1	W	90	1.4	
		9			0	0	239	1	W	29	1.4	
		10			0	0	262	2	M	0	0.0	
24a		1	55	84	208	0	89	1	W	90	4.3	
		2			0	0	103	1	W	30	7.6	
		3			0	107	117	1	W	90	5.9	
		4			0	0	134	1	W	90	3.2	
		5			0	0	145	1	W	90	4.9	
		6			0	0	152	1	W	90	0.4	
		7			0	114	169	2	M	0	0.0	
		8			0	0	227	1	W	88	3.0	
		9			0	69	237	1	W	88	3.0	
	10			0	0	262	2	M	0	0.0		

Bijlage 3 Modelopbrengst per snede

Tabel 1 Per bedrijf, per proefperceel, per snede de drogestofopbrengst bepaald (Meting), model (bruto), model (bruto)+ grashoogte, model (bruto) + WDWI en de geogste hoeveelheid volgens het model.

Bedrijf	Perceel	Snede	Weiden of maaien	Meting	Model bruto	Model bruto + grashoogte	Model bruto + WDWI	Oogst	
	(ID)	(#)	(W, M)	(kg ds.ha ⁻¹)	(kg ds.ha ⁻¹)	(kg ds.ha ⁻¹)	(kg ds.ha ⁻¹)	(kg ds.ha ⁻¹)	
De Marke	2	1	M	4286	2813	4059	3275	2813	
		2	W	1674	845	1287	845	687	
		3	W	884	1165	1378	1131	408	
		4	M	886	4913	4359	3549	4913	
		5	M	1110	626	977	675	626	
		6	M	875	306	306	338	306	
		Totaal			9715	10668	12366	9813	9753
	3	1	M	3271	2239	3407	2914	2239	
		2	W	1404	802	1463	1040	700	
		3	W	1192	1340	1973	1340	608	
		4	W	1743	3957	3225	2388	485	
		5	M	1570	4585	3757	2673	4585	
		6	M	567	278	438	326	278	
		Totaal			9747	13201	14265	10682	8895
	9	1	W	640	536	691	-	304	
		2	W	1077	661	665	-	510	
		3	W	1590	894	1286	-	700	
		4	M	3564	1398	2429	-	1398	
		5	W	567	1684	1505	-	267	
		6	M	294	2498	1658	-	0	
		7	M	614	2966	1252	-	2966	
		Totaal			8346	10637	9485	-	6145
	Huyzer	R11	1	M	-	1762	2592	-	1762
			2	W	-	762	764	-	688
3			W	-	444	558	-	302	
4			W	-	1401	1587	-	852	
5			M	-	1165	1350	-	1165	
6			W	-	1136	824	-	959	
7			M	-	1105	1138	-	1105	
		Totaal			7775	8812	-	6833	
L3		1	W	-	364	620	-	351	
		2	W	-	1079	1352	-	914	
		3	W	-	356	547	-	317	
		4	M	-	1045	1543	-	1045	
		5	W	-	661	606	-	585	
		6	W	-	809	811	-	594	
		7	W	-	357	334	-	293	
	8	M	-	544	635	-	544		
	Totaal			5215	6448	-	4643		
L12	1	W	-	649	1062	-	1040		
	2	W	-	1002	1631	-	1674		
	3	W	-	369	632	-	658		
	4	M	-	850	1573	-	850		
	5	W	-	773	873	-	675		
	6	W	-	775	1093	-	603		
	7	M	-	1194	1503	-	1194		
	Totaal			5612	8367	-	6694		

Vervolg Tabel 1 Per bedrijf, per proefperceel, per snede de drogestofopbrengst bepaald (Meting), model (bruto), model (bruto)+ grashoogte, model (bruto) + WDWI en de geogste hoeveelheid volgens het model.

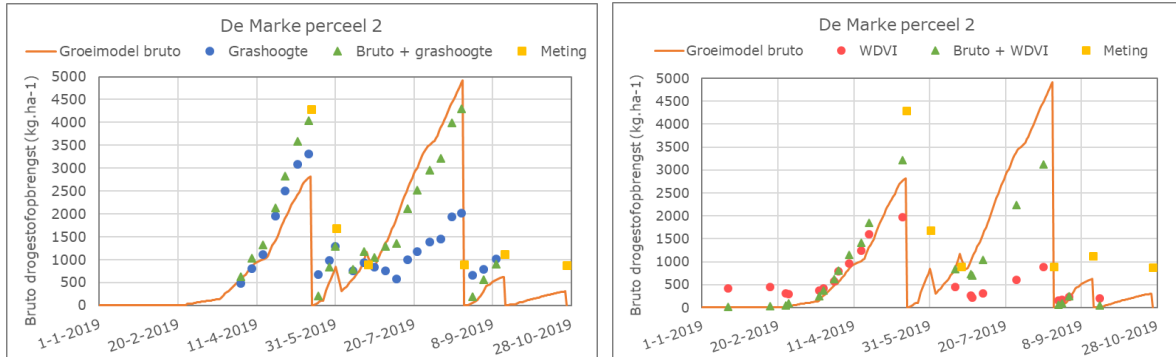
Bedrijf	Perceel	Snede	Weiden of maaien	Meting	Model bruto	Model bruto + grashoogte	Model bruto + WDWI	Oogst
	(ID)	(#)	(W, M)	(kg ds.ha ⁻¹)	(kg ds.ha ⁻¹)	(kg ds.ha ⁻¹)	(kg ds.ha ⁻¹)	(kg ds.ha ⁻¹)
Van de Kamp	8	1	M	-	1264	2134	2165	1331
		2	W	-	1417	1640	1327	1230
		3	M	-	2491	2543	1906	2491
		4	W	-	1953	2215	1526	1717
		5	W	-	918	1071	918	918
		Totaal			8043	9604	7842	7687
	7	1	W	-	2057	2803	1653	1766
		2	W	-	1551	1425	1551	972
		3	M	-	6668	5945	5571	6668
		4	W	-	2260	2686	2318	1931
5		W	-	379	379	379	261	
6		M	-	2498	2490	1860	2498	
	Totaal			15413	15728	13332	14096	
6	1	M	-	1346	1852	2283	1346	
	2	W	-	3675	4203	4319	2022	
	3	W	-	1749	1749	1749	840	
	4	M	-	1895	1976	1983	1895	
		Totaal			8665	9780	10335	6103
Van der Wind	1	1	W	-	897	1111	-	266
		2	W	-	702	702	-	640
		3	W	-	552	906	-	549
		4	W	-	544	762	-	630
		5	M	-	2376	3045	-	2376
		6	W	-	298	481	-	312
		7	W	-	185	396	-	152
		8	W	-	370	542	-	257
		Totaal			5924	7945		5182
	5	1	M	-	1827	2918	-	1827
2		W	-	1587	2034	-	1519	
3		W	-	2253	2825	-	1410	
4		M	-	3181	3469	-	3181	
5		W	-	146	333	-	144	
6		W	-	266	450	-	257	
	Totaal			9260	12029		8338	
8	1	M	-	2979	3950	-	2979	
	2	W	-	3467	3213	-	2448	
	3	W	-	3739	3905	-	1968	
	4	M	-	5552	4471	-	5552	
	5	W	-	349	575	-	338	
	6	W	-	369	554	-	346	
	Totaal			16455	16667		13631	

Vervolg Tabel 1 Per bedrijf, per proefperceel, per snede de drogestofopbrengst bepaald (Meting), model (bruto), model (bruto)+ grashoogte, model (bruto) + WDWI en de geogste hoeveelheid volgens het model.

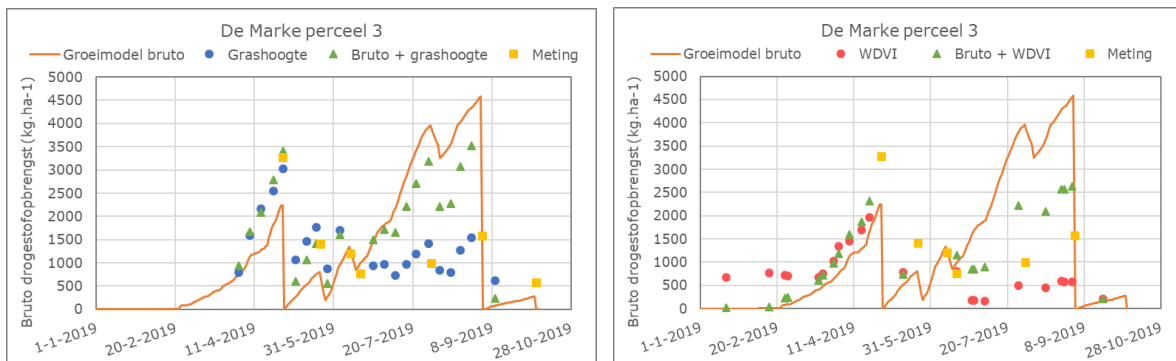
Bedrijf	Perceel	Snede	Weiden of maaien	Meting	Model bruto	Model bruto + grashoogte	Model bruto + WDWI	Oogst
	(ID)	(#)	(W, M)	(kg ds.ha ⁻¹)	(kg ds.ha ⁻¹)	(kg ds.ha ⁻¹)	(kg ds.ha ⁻¹)	(kg ds.ha ⁻¹)
Stevens	6a	1	M	-	4332	4580	4332	4332
		2	W	-	2284	2081	2284	756
		3	W	-	3181	1969	3181	824
		4	W	-	1943	1991	1943	1408
		5	W	-	772	772	772	440
		Totaal				12512	11393	12512
	10a	1	W	-	821	821	1045	563
		2	W	-	720	720	958	637
		3	W	-	634	733	854	250
		4	W	-	721	895	721	238
		5	W	-	817	1305	817	225
		6	W	-	763	763	763	50
		7	M	-	1504	1903	1571	1504
		8	W	-	3705	3133	2308	175
		9	W	-	3852	3852	2028	56
			10	M	-	4350	4350	2498
	Totaal				17887	18475	13562	8048
	24a	1	W	-	680	680	1030	333
		2	W	-	866	866	1217	710
		3	W	-	1314	1407	1580	666
		4	W	-	1753	1888	1753	363
		5	W	-	1696	2014	1696	562
		6	W	-	316	603	316	44
		7	M	-	1950	2261	2059	1950
		8	W	-	1919	1791	1429	340
		9	W	-	1931	1931	1674	336
			10	M	-	1200	1200	1423
	Totaal				13625	14641	14178	6504

Bijlage 4 Modelopbrengst en metingen

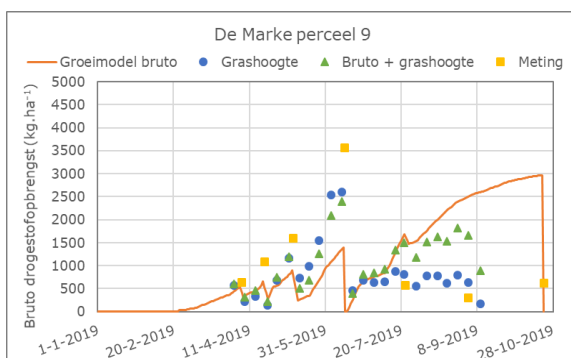
De Marke



Figuur 1 Geschatte grasopbrengst volgens groeimodel (bruto), grashoogte, $WDVI_{red}$ en gecombineerde schatters respectievelijk groeimodel bruto + grashoogte en groeimodel bruto + $WDVI_{red}$ De Marke perceel 2. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden: MWWWMM.

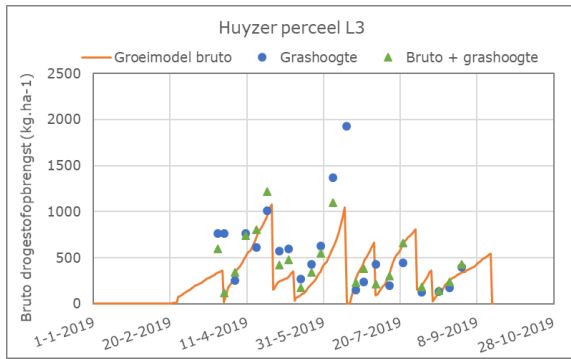


Figuur 2 Geschatte grasopbrengst volgens groeimodel (bruto), grashoogte, $WDVI_{red}$ en gecombineerde schatters respectievelijk groeimodel bruto + grashoogte en groeimodel bruto + $WDVI_{red}$ De Marke perceel 3. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden: MWWWMM.

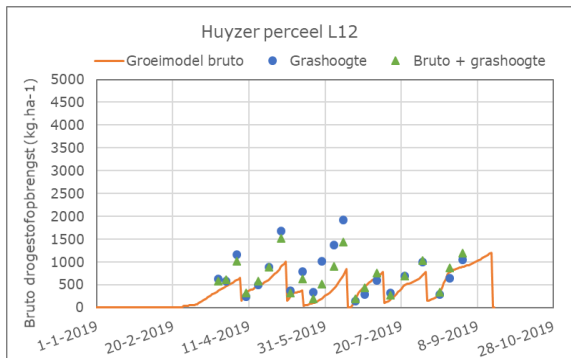


Figuur 3 Geschatte grasopbrengst volgens groeimodel (bruto), grashoogte en gecombineerde schatter groeimodel bruto + grashoogte De Marke perceel 9. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden: WWWMM.

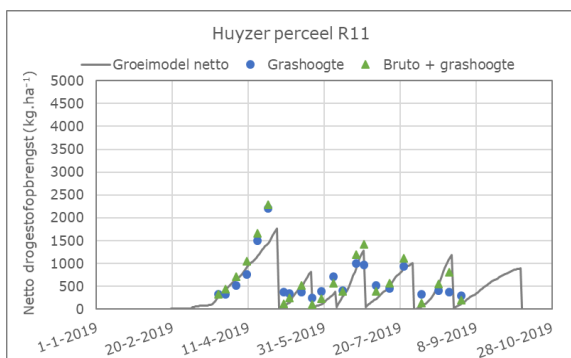
Huyzer



Figuur 4 Geschatte grasopbrengst volgens groeimodel (bruto), grashoogte en gecombineerde schatter groeimodel bruto + grashoogte Huyzer perceel L3. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden: WWWWWWWM.

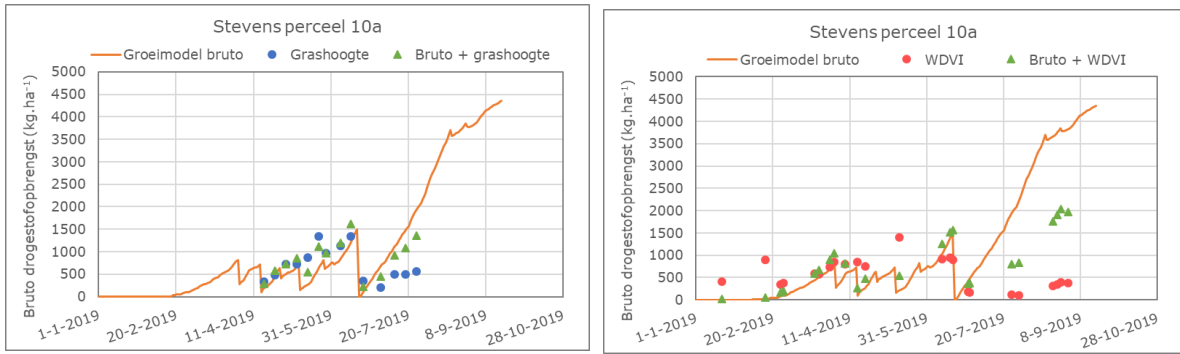


Figuur 5 Geschatte grasopbrengst volgens groeimodel (bruto), grashoogte en gecombineerde schatter groeimodel bruto + grashoogte Huyzer perceel L12. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden: WWWWWWWM.

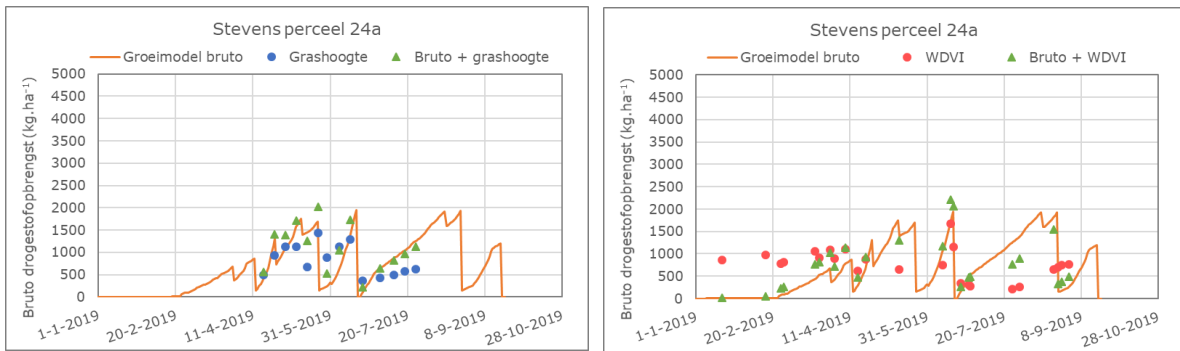


Figuur 6 Geschatte grasopbrengst volgens groeimodel (bruto), grashoogte en gecombineerde schatter groeimodel bruto + grashoogte Huyzer perceel R11. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden: MWWWWWWM.

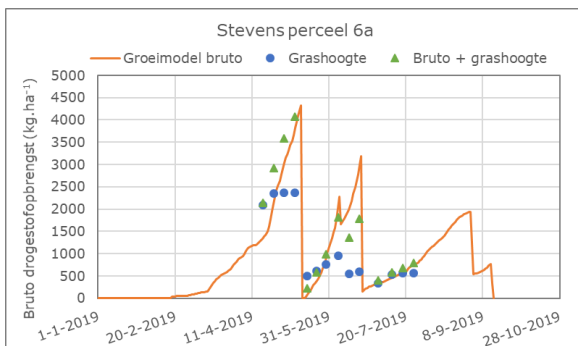
Stevens 10a



Figuur 7 Geschatte grasopbrengst volgens groeimodel (bruto), grashoogte, $WDVI_{red}$ en gecombineerde schatters respectievelijk groeimodel bruto + grashoogte en groeimodel bruto + $WDVI_{red}$ Stevens perceel 10a. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden: WWWWWWMWWW.

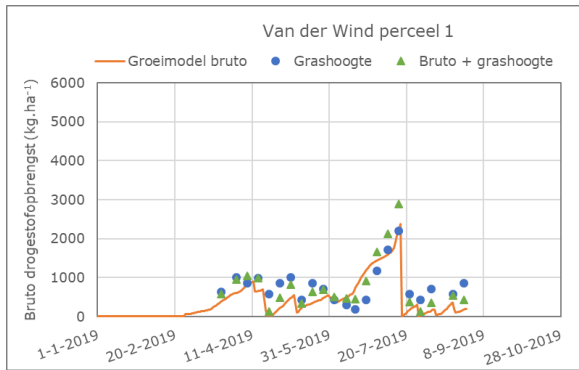


Figuur 8 Geschatte grasopbrengst volgens groeimodel (bruto), grashoogte, $WDVI_{red}$ en gecombineerde schatters respectievelijk groeimodel bruto + grashoogte en groeimodel bruto + $WDVI_{red}$ Stevens perceel 24a. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden: WWWWWWMWWW.

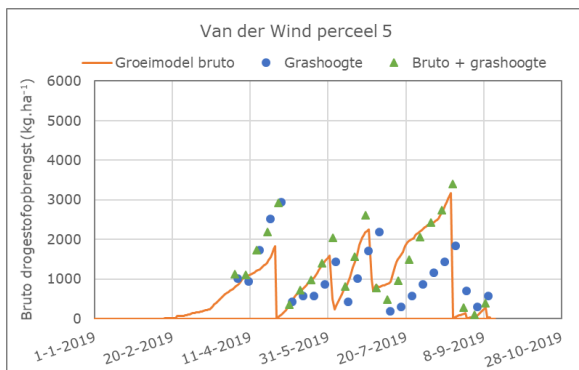


Figuur 9 Geschatte grasopbrengst volgens groeimodel (bruto), grashoogte en gecombineerde schatters groeimodel bruto + grashoogte Stevens perceel 6a. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden: MWWWWW.

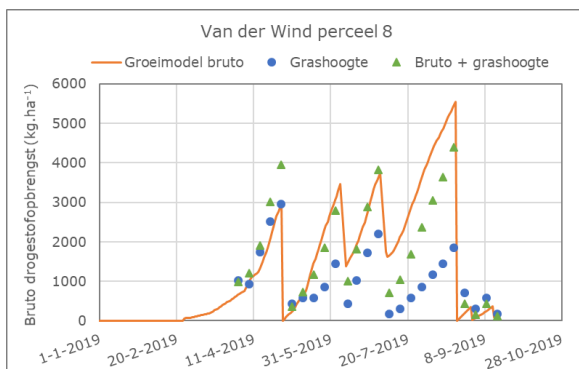
Van der Wind



Figuur 10 Geschatte grasopbrengst volgens groeimodel (bruto), grashoogte en gecombineerde schatter groeimodel bruto + grashoogte Van der Wind perceel 1. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden: WWWWMWWW.

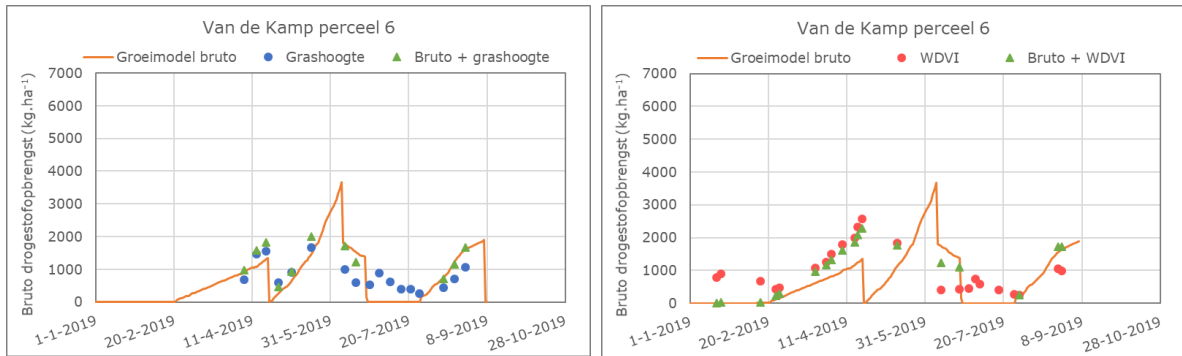


Figuur 11 Geschatte grasopbrengst volgens groeimodel (bruto), grashoogte en gecombineerde schatter groeimodel bruto + grashoogte Van der Wind perceel 5. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden: MWWWWWW.

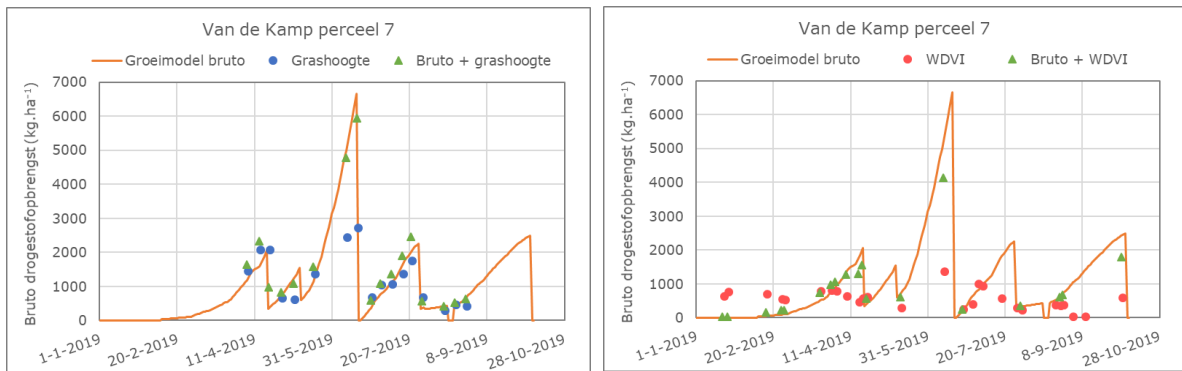


Figuur 12 Geschatte grasopbrengst volgens groeimodel (bruto), grashoogte en gecombineerde schatter groeimodel bruto + grashoogte Van der Wind perceel 8. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden: MWWWWWW.

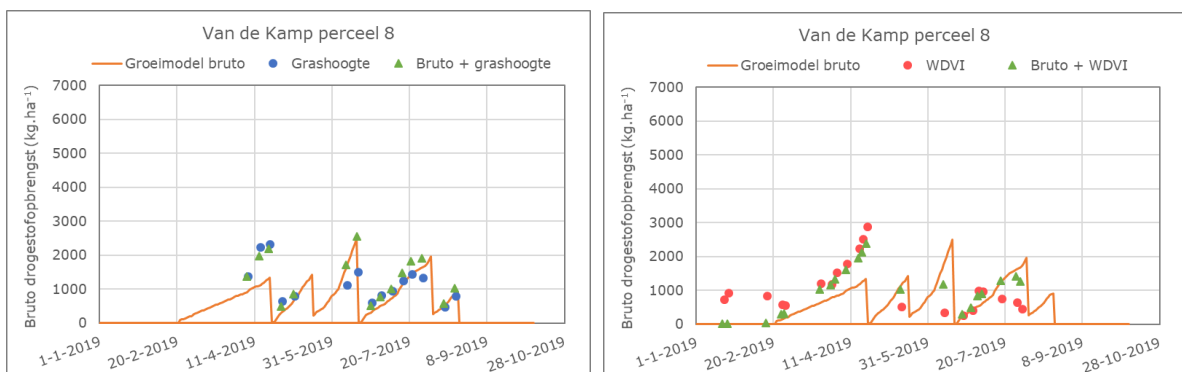
Van de Kamp



Figuur 13 Geschatte grasopbrengst volgens groeimodel (netto en bruto), grashoogte, $WDVI_{red}$ en gecombineerde schatters respectievelijk groeimodel bruto + grashoogte en groeimodel bruto + $WDVI_{red}$ Van der Kamp perceel 6. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden: MWWW.



Figuur 14 Geschatte grasopbrengst volgens groeimodel (netto en bruto), grashoogte, $WDVI_{red}$ en gecombineerde schatters respectievelijk groeimodel bruto + grashoogte en groeimodel bruto + $WDVI_{red}$ Van der Kamp perceel 7. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden: WWWW.



Figuur 15 Geschatte grasopbrengst volgens groeimodel (netto en bruto), grashoogte, $WDVI_{red}$ en gecombineerde schatters respectievelijk groeimodel bruto + grashoogte en groeimodel bruto + $WDVI_{red}$ Van der Kamp perceel 8. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden: MWWW.

Bijlage 5 Ruw eiwitgehalte per snede

Tabel 1 Per bedrijf, per proefperceel, per snede het graslandgebruik, de gemodelleerde hoeveelheid ruw eiwit en de vers gras analyse van ruw eiwit.

Bedrijf	Perceel (ID)	Snede (#)	Weiden of maaien (W, M)	Model RE (g.kg ds ⁻¹)	Vers grasanalyse (g.kg ds ⁻¹)	
De Marke	2	1	M	267	222	
		2	W	285	189	
		3	W	286	181	
		4	M	191	173	
		5	M	257	218	
		6	M	-	-	
	3	1	M	300	218	
		2	W	303	178	
		3	W	338	195	
		4	W	164	176	
		5	M	248	193	
		6	M	353	214	
	9	1	W	335	236	
		2	W	290	221	
		3	W	291	175	
		4	M	214	160	
		5	W	247	182	
		6	M	177	189	
		7	M	120	204	
	Huyzer	R11	1	M	306	219
			2	W	345	250
3			W	289	227	
4			W	252	211	
5			M	221	186	
6			W	174	194	
7			M	-	-	
L3		1	W	-	-	
		2	W	289	199	
		3	W	317	191	
		4	M	184	187	
		5	W	324	253	
		6	W	229	236	
		7	W	228	222	
		8	M	149	232	

Vervolg Tabel 1 Per bedrijf, per proefperceel, per snede het graslandgebruik, de gemodelleerde hoeveelheid ruw eiwit en de vers gras analyse van ruw eiwit.

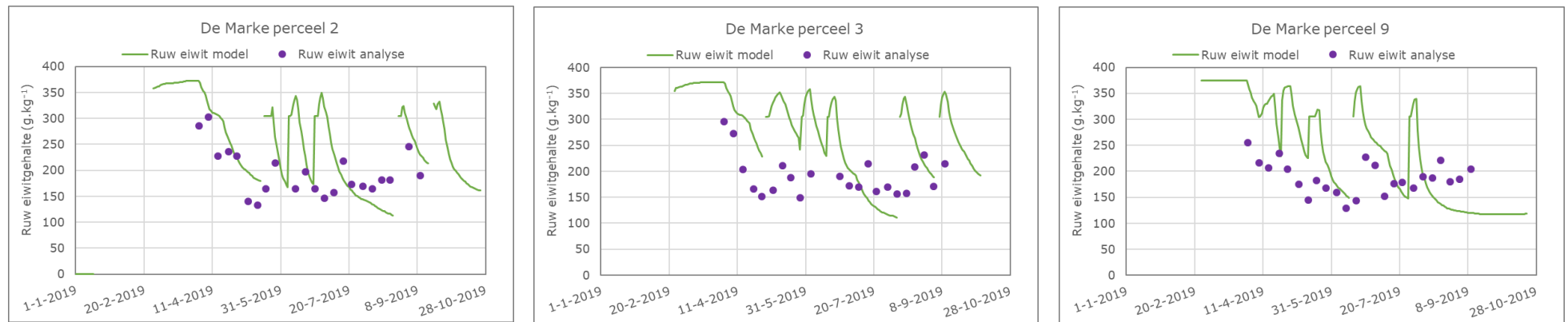
Bedrijf	Perceel (ID)	Snede (#)	Weiden of maaien (W, M)	Model RE (g.kg ds ⁻¹)	Vers grasanalyse (g.kg ds ⁻¹)	
Huyzer	L12	1	W	-	-	
		2	W	268	202	
		3	W	-	-	
		4	M	159	167	
		5	W	297	232	
		6	W	245	232	
		7	M	206	225	
Van de Kamp	8	1	M	340	231	
		2	W	260	246	
		3	M	182	189	
		4	W	242	185	
		5	W	-	-	
	7	1	W	283	208	
		2	W	234	252	
		3	M	192	169	
		4	W	228	186	
		5	W	-	-	
		6	M	243	256	
	6	1	M	322	226	
		2	W	204	178	
		3	W	-	-	
		4	M	172	260	
	Van der Wind	1	1	W	-	-
			2	W	328	200
			3	W	330	228
4			W	272	209	
5			M	262	210	
6			W	-	-	
7			W	-	-	
8			W	-	-	
5		1	M	299	237	
		2	W	262	223	
		3	W	292	227	
		4	M	159	237	
		5	W	-	-	
		6	W	-	-	

Vervolg Tabel 1 Per bedrijf, per proefperceel, per snede het graslandgebruik, de gemodelleerde hoeveelheid ruw eiwit en de vers gras analyse van ruw eiwit.

Bedrijf	Perceel (ID)	Snede (#)	Weiden of maaien (W, M)	Model RE (g.kg ds ⁻¹)	Vers grasanalyse (g.kg ds ⁻¹)
Van der Wind	8	1	M	243	246
		2	W	206	217
		3	W	288	226
		4	M	178	228
		5	W	-	-
		6	W	-	-
Stevens	6a	1	M	225	176
		2	W	232	217
		3	W	335	187
		4	W	177	184
		5	W	-	-
	10a	1	W		
		2	W		
		3	W	278	239
		4	W	347	232
		5	W	262	154
		6	W	-	-
		7	M	278	154
		8	W	174	227
		9	W	-	-
		10	M	-	-
	24a	1	W	-	-
		2	W	-	-
		3	W	293	228
		4	W	347	229
		5	W	302	187
		6	W	355	141
		7	M	293	181
		8	W	269	237
		9	W	-	-
		10	M	-	-

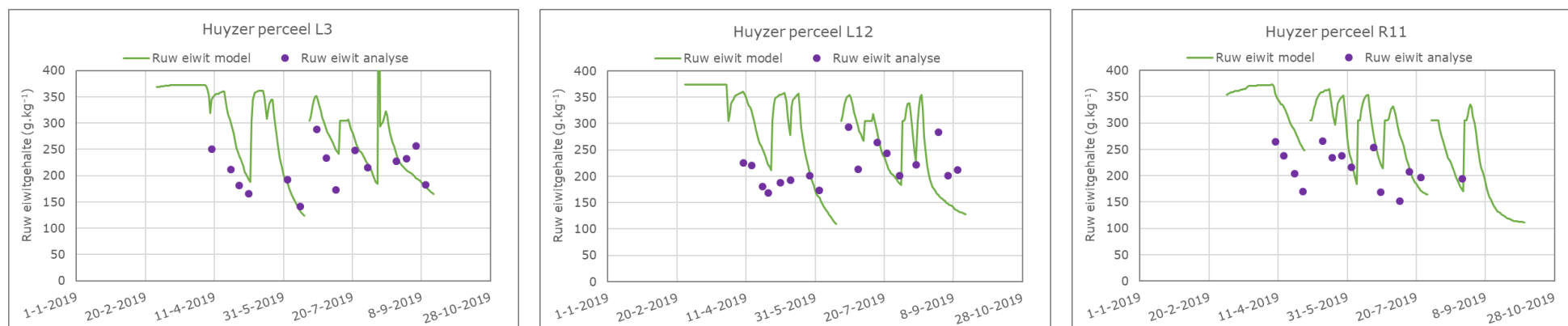
Bijlage 6 Ruw eiwitgehalten

De Marke



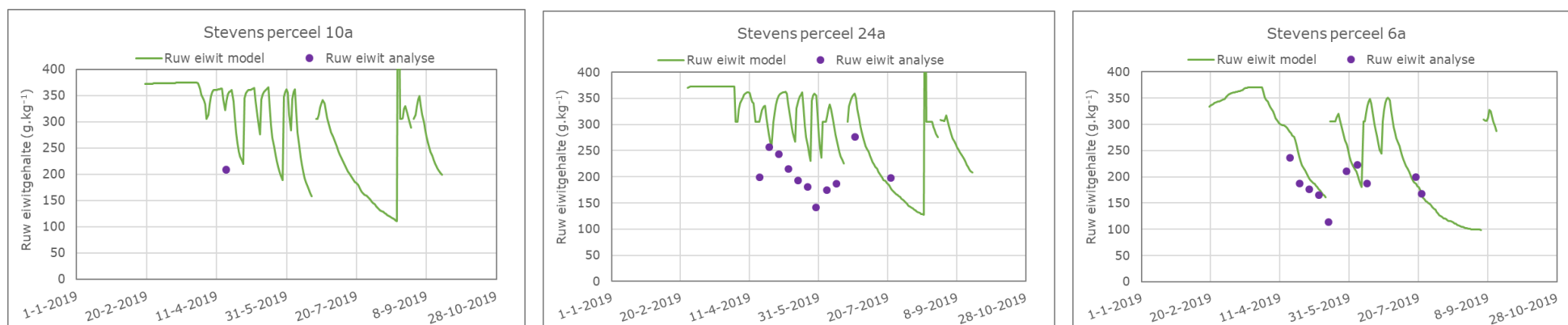
Figuur 1 Geschat ruw eiwitgehalte volgens groeimodel en bepaald ruw eiwitgehalte volgens vers grasanalyses De Marke perceel 2, 3 en 9. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden: Perceel 2 MWWMMM, Perceel 3 MWWMM en Perceel 9 WWWWMM.

Huyzer



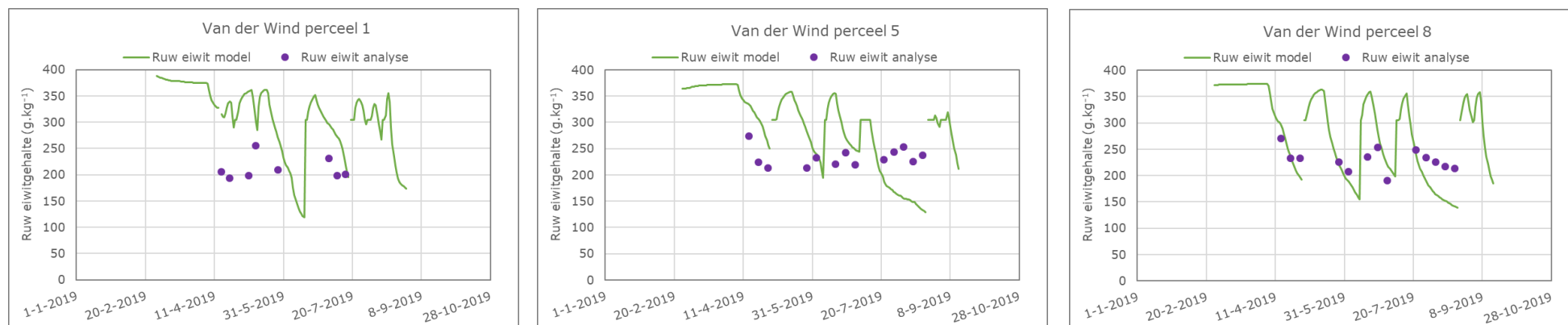
Figuur 2 Geschat ruw eiwitgehalte volgens groeimodel en bepaald ruw eiwitgehalte volgens vers grasanalyses Huyzer perceel L3, L12 en R11. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden: Perceel L3 WWWWWWWW, Perceel L12 WWWWWWWW en Perceel R11 MWWWWWWW.

Stevens 10a, 24a, 6a



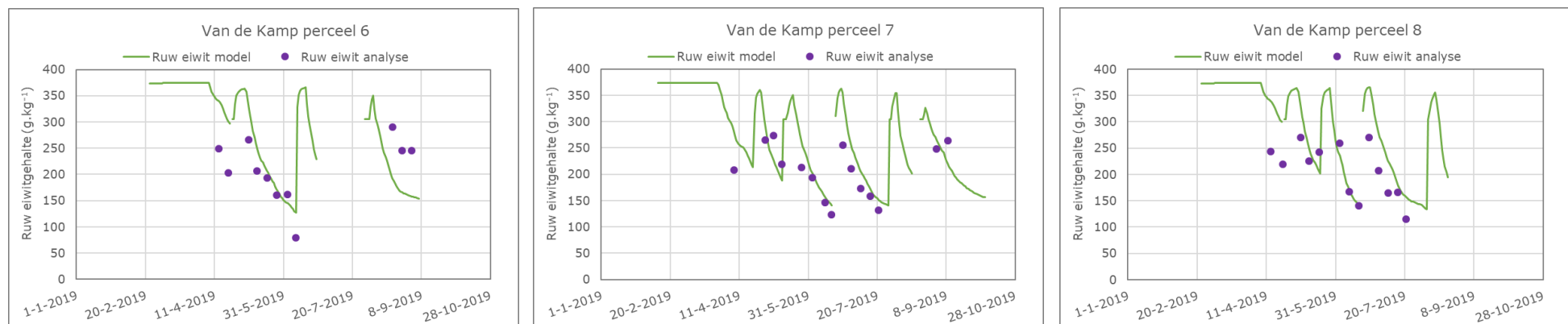
Figuur 3 Geschat ruw eiwitgehalte volgens groeimodel en bepaald ruw eiwitgehalte volgens vers grasanalyses Stevens perceel 10a, 24a en 6a. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden: Perceel 10c WWWWWWWWWW, Perceel 24a WWWWWWWWWW en Perceel 6a MWWWWW.

Van der Wind



Figuur 4 Geschat ruw eiwitgehalte volgens groeimodel en bepaald ruw eiwitgehalte volgens vers grasanalyses Van der Wind perceel 1, 5 en 8. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden: Perceel 1 WWWWWWW, Perceel 5 MWWWWW en Perceel 8 MWWWWW.

Van de Kamp



Figuur 5 Geschat ruw eiwitgehalte volgens groeimodel en bepaald ruw eiwitgehalte volgens vers grasanalyses Van de Kamp perceel 6, 7 en 8. Graslandgebruik weiden (W) en maaien (M) opeenvolgende sneden: Perceel 6 MWWW, Perceel 7 WWWWWW en Perceel 8 MWWW.

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

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.

