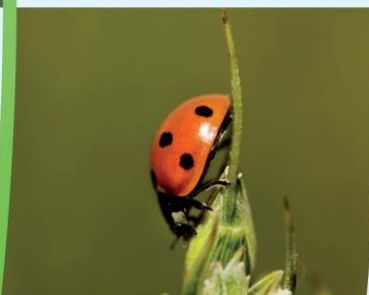


Soil for life

Rapport 1421.N.10

Naar een herziening van kali-
advies grasland



augustus 2014

Rapport 1421.N.10

Naar een herziening van kali-advies grasland

Auteur(s) : Dr.ir. D.W. Bussink (NMI)
Dr.ir. L. van Schöll (NMI)
Ing. H. van der Draai (NMI)
Ir. J.C. van Middelkoop (Wageningen UR Livestock Research)
Ing. G. Holshof (Wageningen UR Livestock Research)



© 2014 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

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

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

Disclaimer

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

Inhoud

	pagina
Samenvatting en conclusies	2
1 Inleiding	6
1.1 Achtergrond	6
1.2 Doelstelling van het onderzoek	7
1.3 Verwacht resultaat	7
1.4 Opzet globaal	7
2 Opzet- en uitvoering proeven	8
2.1 Proeven algemeen	8
2.2 Proefopzet en uitvoering in 2011 en 2012	9
2.2.1 Miniproeven	9
2.2.2 Detailproefvelden	10
2.2.3 Grond- gewas- en mestanalyse	12
2.2.4 Statistische analyse	12
3 Resultaten proeven algemeen	13
3.1 Resultaten grondonderzoek	13
3.1.1 Miniproeven	13
3.1.2 Detailproeven	14
3.2 Bemestings- en oogsttijdstippen	15
3.3 Weergegevens	16
4.1 Resultaten bemesting, gewasopbrengst en gewassamenstelling miniproeven	17
4.2 Statische analyse miniproeven plus eerste snede detailproeven	20
4.2.1 Algemeen	20
4.2.2 Drogestofopbrengst: CEC en K-PAE	21
4.2.3 Drogestofopbrengst: OS, lutum en K-PAE	24
4.2.4 K-gehalte; CEC en K-PAE	26
4.2.5 K-opbrengst, CEC en K-PAE	27
4.3 Naar een K-bemestingsadvies voor de eerste snede.	29
5 Resultaten detailproeven	34
5.1 De detailproeven	34
5.3 Analyse K-opbrengst	41
5.4 K-gehalte versus Mg-gehalte	42
5.5 Naar een K-bemestingsadvies voor de overige sneden	44
5.5.1 Effect van bemesting in de eerste snede op jaaropbrengst	44
5.5.2 Bemesting na de eerste snede	50
5.6 Advies voor overige sneden	53
Literatuur	55
Bijlage 1. De grondanalyseresultaten van de individuele percelen van miniproef in 2011 en 2012.	56
Bijlage 2. Drogestofopbrengsten per jaar op detailproeven	57
Bijlage 3. Concept kali advies voor grasland 20-08-2014	59

Samenvatting en conclusies

Voor een optimale grasgroei moet K op het juiste moment in voldoende mate aanwezig zijn. Tegelijkertijd dient een te hoog aanbod van K te worden voorkomen om nadelige effecten voor de diergezondheid te vermijden. Het vigerende kalibemestingsadvies is gebaseerd op proeven uit de jaren vijftig en zestig met zware eerste sneden. Het advies is na 1976 vrijwel niet meer gewijzigd. Sindsdien is de landbouw sterk gewijzigd en zijn er nieuwe methoden voor grondonderzoek ontwikkeld. Tegelijk dient de landbouw sterk op de kosten te letten en voedermiddelen efficiënt te produceren. Vooronderzoek heeft aangetoond dat er perspectief is om een nieuw advies te ontwikkelen gebaseerd op nieuwe methoden van grondonderzoek gebaseerd op intensiteit en capaciteit. Het bleek dat op basis van $K\text{-CaCl}_2$ (K-PAE) het beter mogelijk is om te sturen op een gewenst K-gehalte dan via K-getal en K-HCl.

In opdracht van Productschap Zuivel hebben het Nutriënten Management Instituut NMI en Wageningen UR Livestock Research daarop in 2011 en 2012 proefveldonderzoek uitgevoerd op grasland op diverse grondsoorten om toe te werken naar een vernieuwd K-bemestingsadvies. Daarbij is rekening gehouden met bodem- en bemestingsfactoren die van invloed zijn op de K-beschikbaarheid en is uitgegaan van multinutriëntextractie. De proef bestond uit twee deelproeven; kleine proeven (miniproeven) op praktijkpercelen op verschillende grondsoorten en met uiteenlopende bodemparameters gedurende de eerste en tweede snede en detailproeven op drie locaties waarbij alle sneden gevolgd zijn.

De miniproeven zijn aangelegd op praktijkbedrijven, 11 in 2011 en 13 in 2012 op verschillende grondsoorten. Per bedrijf zijn twee percelen gebruikt met een duidelijk verschillende K-toestand. In 2012 zijn zoveel mogelijk dezelfde percelen gebruikt als in 2011, maar dan wel met een andere proefplek. In totaal waren 20 proefveldjes op zand, 14 op klei en 14 op veen. Voorafgaande aan de bemesting is grondonderzoek uitgevoerd op de proefplekken. Elk proefveldje kende voor de eerste snede qua opzet drie behandelingen, wel of geen dunne rundermest, twee N-niveaus (60 en 120 kg N ha⁻¹) en twee kunstmestkali niveaus van 0 en 60 kg K₂O ha⁻¹. Door de combinatie van wel en geen dierlijke mest en wel en geen K-kunstmest ontstaat er een reeks K-trappen van: 0, 60, 90 en 150 kg K₂O ha⁻¹. Elk veldje kreeg superfosfaat om een adequate fosfaat- en zwavelvoorziening te waarborgen. De eerste snede is geoogst in het stadium van een zware maaisnede. De opbrengst is bepaald evenals de minerale samenstelling van het gemaaid gras. In totaal waren er 48 miniproeven met 384 experimentele eenheden. De tweede snede lag op nawerking en is geoogst in het stadium van een lichte maaisnede. Er is alleen een N-bemesting uitgevoerd van ongeveer 30 kg N ha⁻¹.

De detailproef is uitgevoerd op drie grondsoorten met een relatieve lage K-toestand: een normaal vochthoudende zandgrond (Heino), een jonge zeeklei (Waiboerhoeve) en een veengrond (Zegveld). De proefvelden hebben in 2012 op een andere plek gelegen dan in 2011 om meerjarige effecten en verstrengelingen te voorkomen. Gedurende beide jaren zijn het gehele groeiseizoen opbrengstbepalingen op snedebasis uitgevoerd. De eerste snede is gemaaid in het stadium maaisnede. De navolgende sneden zijn met tussenperiodes van ongeveer vier weken (lichte maaisneden) gemaaid. In totaal zijn jaarlijks vijf sneden geoogst.

Per locatie bestond de opzet uit een gewarde blokkenproef (in tweevoud) met drie N-niveaus: 0, 180 en 360 kg per ha per jaar en vier K-niveaus voor de eerste snede: 0, 60, 120 en 180 kg K₂O ha⁻¹. Daarbij zijn de 60 en 180 K-objecten per herhaling in drievoud aangelegd, omdat na de eerste snede drie K-niveaus aan de vervolgsneden zijn gegeven, 0, 40 en 80 kg K₂O ha⁻¹ per snede. Het object 0K₂O ha⁻¹ in de eerste

snede kreeg in navolgende sneden ook geen kali. Het object 120 K₂O ha⁻¹ in de eerste snede kreeg in navolgende sneden eenzelfde gift. De totale jaargift van de K-bemesting lag daarmee tussen 0 en 600 kg K₂O ha⁻¹. In totaal geeft dit 48 experimentele eenheden per locatie. Voor alleen de eerste snede is nog een extra blok aangelegd, dat gemaaid is in het stadium van een weidesnede. De behandelingen waren hetzelfde als hiervoor genoemd. In totaal geeft dit 24 experimentele eenheden per locatie.

Resultaten miniproeven

Beoogd was een kaligift met mest in de eerste snede van 90 kg K₂O ha⁻¹. De gemiddelde werkzame gift was duidelijk hoger: 131 kg K₂O ha⁻¹. De K-trappen bedroegen daarmee 0, 60, 131 en 191 kg K₂O ha⁻¹. De opbrengst tussen locaties varieerde sterk en bedroeg gemiddeld respectievelijk 4,9 en 5,2 ton ds ha⁻¹ in 2011 en 2012. Deze hoge opbrengst was het gevolg van relatief laat maaien door veehouders, enkele locaties lagen op afstand en het oogsten van de proeflocaties kon veelal pas worden uitgevoerd nadat de veehouder had gemaaid. De tweede snede kende een opbrengstniveau van gemiddeld 2,3 ton ds ha⁻¹. Vooral de eerste 60 kg K₂O ha⁻¹ was bepalend voor de opbrengst van de eerste snede. (Bij hogere giften werden slechts nog beperkt duidelijke meeropbrengsten gemeten).

Voor de eerste snede bedroeg in 2011 en 2012 de gemiddeld werkzame N-gift 120 en 103 kg ha⁻¹ en de werkzame K₂O-gift 91 en 84 kg ha⁻¹. De gewasopname overtreft dus gemiddeld gesproken de N- en K₂O-gift. De variatie in K-gehalte en K-opname in het gewas is groot. Gemiddeld bevindt zich het K-gehalte op een goed niveau. Minder dan 20% van de monsters heeft een gehalte kleiner dan 20 g K kg ds ha⁻¹. In de miniproeven zijn duidelijk opbrengsteffecten aangetoond, welke afhankelijk zijn van de bodemtoestand, het niveau van N-bemesting en K-bemesting. De opbrengsteffecten van de eerste snede werden afgezwakt ook in de tweede snede gemeten.

Resultaten detailproeven

Net als in de mini-proeven werd in de detailproeven de grootste meeropbrengst bereikt met de eerste 60 kg K₂O ha⁻¹ in de eerste snede: op zand circa 650 kg ds ha⁻¹, op veen 350 en op klei 200 kg ds ha⁻¹. Een hogere gift leverde nauwelijks extra opbrengst. Op jaarbasis was de meeropbrengst het hoogst op zand, circa 2 ton ds ha⁻¹ met 500 kg K₂O ha⁻¹, op veen circa 1,5 ton ds ha⁻¹ en op klei circa 0,3 ton ds ha⁻¹. Het effect van N was op alle locaties zoals verwacht: een hogere N-gift gaf een hogere drogestofopbrengst.

Op de objecten die een kali-bemesting kregen in de eerste snede en geen kali in de rest van het jaar, was de drogestofopbrengst in alle sneden hoger dan op de objecten zonder kali. Bemesting van kali in het voorjaar blijkt belangrijk te zijn voor een goede jaaropbrengst. Het is echter niet mogelijk om alle kali in het begin van het seizoen te geven, de hoogste opbrengst werd behaald met een voldoende hoge kaligift in de eerste snede en vervolgens een kalibemesting voor iedere volgende snede.

Advies eerste snede

De resultaten zijn statistisch bewerkt. De drogestofopbrengst kon, rekening houdend met omgevingsfactoren, voor ongeveer 87% worden verklaard uit bodem- en bemestingsfactoren. Daarbij hadden K- CaCl₂, CEC en natuurlijk de K-bemesting een significant effect opbrengst. Bovendien was er een significante interactie tussen K-CaCl₂ en de K-bemesting en tussen CEC en K-bemesting. Andere interacties met de K-bemesting waren er niet. Uit de statistische analyse bleek dat het organische stofgehalte en lutum niet significant waren indien de CEC als modelparameter was opgenomen. Alleen bij weglaten van CEC in de modelanalyse waren het organische stofgehalte en lutum significant. Dit resulteerde in minder goede modellen. Hetzelfde patroon werd gevonden voor K-opbrengst en K-gehalte. Hetzelfde patroon werd gevonden indien de eerste en tweede snede cumulatief werden geanalyseerd.

Op basis van de modelanalyse van de eerste snede is een bemestingsadvies ontwikkeld voor de eerste snede dat gebaseerd is op $K-CaCl_2$ en CEC. Omdat niet alle laboratoria CEC kunnen meten is ook een advies ontwikkeld op basis van organische stof en lutum, waarbij lutum is ingedeeld in twee klassen (zand: <5 lutum) en klei (30% lutum).

Bij het ontwikkelen van het advies is er vanuit gegaan dat elke kg kali minstens 4 kg ds ha^{-1} meeropbrengst moet geven. Omdat uit de detailproeven blijkt dat een goede bemesting in de eerste snede de opbrengst in het hele jaar verhoogt, kan dit criterium ruim gehanteerd worden. Dit kaliadvies is zowel in tabel als formulevorm beschikbaar.

Toepassing van het advies op een dataset met bijna 3000 monsters laat zien dat de adviezen voor een weidesnede gemiddeld laag zijn (20 kg K_2O ha^{-1}). Voor een maaisnede en zeer zware maaisnede wordt gemiddeld 42 en 66 kg K_2O ha^{-1} geadviseerd. De berekende K-gehaltes bedragen dan ongeveer 29 g K kg^{-1} ds. De kaliadviezen voor de eerste snede zijn over de hele linie daarmee lager dan voorheen.

Advies overige sneden

Een kalibemesting van 180 kg K_2O in de eerste snede verhoogt de opbrengst van het hele jaar op zand en veen, ten opzichte van 0 en 60 kg K_2O ha^{-1} . De opbrengstverhoging is verdeeld over alle sneden. Het is echter een onrealistisch hoge gift voor de eerste snede en voor de eerste snede zelf blijkt het niet nodig om meer dan 60 kg K_2O ha^{-1} te geven. Het is dus voor de opbrengst en voor het gehalte van het gras beter om de gift te verdelen over de sneden.

Het blijkt niet veel uit te maken hoeveel er in de eerste snede gegeven is (zolang dat maar meer dan 60 kg K_2O ha^{-1} is), nieuwe giften in de volgende sneden geven toch een opbrengstverhoging, tot en met de laatste sneden. Het blijkt dat per snede 40 kg K_2O ha^{-1} niet voldoende is, 80 kg K_2O ha^{-1} wel. Per snede wordt circa 60 kg K_2O ha^{-1} onttrokken. De verwachting is dat bemesting volgens de onttrekking voldoende is.

Op de kleigrond geeft K_2O -bemesting vrijwel geen hogere drogestofopbrengst.

Vanuit een kritisch K-gehalte is het bemestingsadvies mogelijk nauwkeuriger te bepalen. Vanuit oogpunt van diervoeding volstaan voor hoogproductieve dieren gehalten ongeveer 8 g K kg^{-1} ds en voor jongvee ongeveer 5 g K kg^{-1} ds. Deze gehalten worden in alle gevallen gehaald. Het kritisch K-gehalte voor grasgroei blijkt in deze proef afhankelijk te zijn van de snedezwaarte en grondsoort. In literatuur wordt echter uitgegaan van een kritische N/K verhouding van 1,3. In de eerste snede van de detailproeven bleek een kritische N/K-verhouding van 1,3 redelijk op te gaan met een opbrengst verhogend effect van de kalibemesting: bij 60 kg K_2O ha^{-1} werd deze 1,3 gemiddeld bereikt. Voor de overige sneden blijkt deze verhouding bereikt te worden bij bemesting volgens onttrekking.

Aangetoond is dat opbrengsteffecten door kalibemesting niet beperkt blijven tot de eerste snede. Voor alle sneden is het relevant om het gewas van voldoende kali te voorzien voor de hoogste jaaropbrengst. Rekening houden met de kali die via beweiding weer terugkomt op het perceel is weinig zinvol. Bij overwegend beweiden komt maar ongeveer 20% van de oppervlakte in contact met urine. Het advies voor navolgende sneden is daarom alleen gebaseerd op het compenseren van de onttrekking per snede. Alleen voor die situaties waar geen K geadviseerd wordt in de eerste snede vanwege een hoge toestand, is het advies om hooguit de helft van de onttrekking te geven.

Conclusies:

- Voldoende kali bemesten is belangrijk voor een optimale grasopbrengst.
- Kali gegeven voor de eerste snede heeft bij lage toestanden een opbrengst verhogend effect in alle sneden.
- Alle sneden dienen voldoende kali te krijgen.
- Het kaliadvies kan het beste worden gebaseerd op K-CaCl₂ en CEC. Eventueel kan het advies ook gebaseerd worden op K-CaCl₂, het organische stofgehalte en lutum, wanneer CEC niet bepaald kan worden. Het advies op basis van CEC heeft de voorkeur.
- Bij bemesting voor de eerste snede is het gewenste opbrengstniveau en de bodemtoestand leidend. Bij navolgende sneden is de gewasonttrekking leidend voor het niveau van kalibemesting.
- Adviezen voor de eerste snede zijn lager dan voorheen.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Om een maximaal rendement van de N- en P-bemesting op grasland te krijgen dient de voorziening met andere nutriënten in orde te zijn. Naast N en P is K direct van invloed op de grasopbrengst. Voor een optimale grasgroei moet K op het juiste moment in voldoende mate aanwezig zijn. Tegelijkertijd dient een te hoog aanbod van K, waardoor het gras een te hoog kaligehalte krijgt, te worden voorkomen. Dit heeft een negatief effect op de diergezondheid (zachtere klauwen, waardoor meer klauwproblemen en bij het afkalven meer zucht in de uiers). Een te hoog K-gehalte geeft een verlaagd Mg-gehalte en leidt tot een verhoogd risico van melkziekte en bij een ernstig Mg-tekort tot kopziekte.

Uit een eerder uitgevoerde literatuurstudie (Den Boer et al., 2010) in opdracht van Productschap Zuivel naar de interacties tussen de N- en K-voorziening op grasland en naar de achtergronden en doelmatigheid van het huidige K-bemestingsadvies blijkt dat:

- a) interacties tussen N en K vooral optreden bij een krappe K-voorziening;
 - b) het N-bemestingsniveau van invloed is op de K-opname door het gewas en daarmee op het K-gehalte in het gewas;
 - c) het K-bemestingsadvies voor de eerste snede maaien afgeleid is van hooisneden van 5-7 ton drogestof per ha en dat bijstelling van zowel het eerste als latere sneden advies gewenst is;
 - d) op basis van het K-getal is het niet mogelijk is een relatie vast te stellen tussen het beschikbare K in de bodem en i) de pH en ii) de beschikbaarheid van andere nutriënten als bijvoorbeeld Mg^{2+} , Na^{+} en het gehalte van deze elementen in het gewas; en
 - e) voor het vaststellen van de relaties bij d) heeft grondextractie in één extract op basis van een zwak zout als 0,01 M $CaCl_2$ de voorkeur. Hiermee wordt het wortelmilieu het best benaderd.
- Multinutriëntextractie in combinatie met bodemchemische kennis maakt het bovendien mogelijk om elementen met elkaar te relateren. Zo kan beter gestuurd worden op een gewenst K-, Mg- en Na-gehalte.

In een vervolgstudie (Bussink et al., 2010) is daarop nagegaan in hoeverre bij gebruikmaking van multi-nutriëntextractie de effecten van pH en andere bodemfactoren van invloed zijn op de beschikbaarheid van K, tot uitdrukking komend in het K-gehalte en de voorspelbaarheid ervan in het gras van de eerste snede. Daartoe is gebruik gemaakt van een bestaande dataset die gebruikt is voor de ontwikkeling van het Na-bemestingsadvies (Bussink et al., 2009). Deze studie laat zien dat de relatie tussen bodemparameters en het K-gehalte van gras in de eerste snede aanzienlijk is te verbeteren door gebruik te maken van de multinutriëntextractie in plaats van de huidige extractie met 0,1 M HCl en het bemestingsadvies op basis van het K-getal. In de dataset waren geen opbrengstgegevens en data van latere sneden beschikbaar. De resultaten laten zien dat een K-advies op nieuwe grondslag perspectiefvol is, hetgeen aanvullend veldonderzoek vergt. In opdracht van het Productschap Zuivel hebben het Nutriënten Management Instituut NMI en Wageningen UR Livestock Research dit onderzoek uitgevoerd met als doel om een aangepast K-advies te ontwikkelen waarbij rekening wordt gehouden met de factoren en nutriënten in de bodem die van invloed zijn op de K-beschikbaarheid.

In opdracht van Productschap Zuivel hebben het Nutriënten Management Instituut NMI en Wageningen UR Livestock Research daarop in 2011 en 2012 onderzoek uitgevoerd op grasland op diverse grondsoorten om toe te werken naar een vernieuwd K-advies.

1.2 *Doelstelling van het onderzoek*

Ontwikkeling van een aangepast K-bemestingsadvies voor grasland waarbij rekening wordt gehouden met bodem- en bemestingsfactoren. Daarbij is de aanpak gericht op een adequate K-voorziening voor een goede opbrengst en op het voorkómen van te hoge K-gehalten in het gras in verband met de gezondheid van het vee.

1.3 *Verwacht resultaat*

Er komt in 2014 een vernieuwd K-bemestingsadvies beschikbaar voor grasland waarin beter rekening is gehouden met en de K-beschikbaarheid en de interacties tussen nutriënten.

1.4 *Opzet globaal*

Het onderzoek bestaat uit twee delen. In deel 1 vindt onderzoek plaats op een groot aantal proefveldjes op praktijkpercelen bij twee N- en twee K-niveaus in de eerste snede en wel op verschillende grondsoorten met uiteenlopende niveaus voor de bodemparameters K, Mg, Na, pH (en CEC en NLV). Met behulp van de multinuutriëntextractie kan het effect van deze parameters op de K-beschikbaarheid worden gekwantificeerd. Op deze manier wordt veel informatie verkregen voor de relatie tussen (K)-opbrengst bij uiteenlopende bodemtoestanden en grondsoorten en het effect van bemesting met N en K. De praktijkproeven op melkveebedrijven hebben uit praktische overwegingen een beperkte omvang en zijn beperkt tot de eerste en tweede snede.

In deel 2 vinden een beperkt aantal detailproeven plaats met meer N- en K-niveaus, die gedurende het gehele seizoen worden gevolgd. Daarmee wordt aanvullende informatie verkregen over NxK interacties en wordt duidelijk in hoeverre bemesting op onttrekking volstaat voor latere sneden.

2 Opzet- en uitvoering proeven

2.1 Proeven algemeen

Van belang is een dataset op te bouwen met voldoende variatie in het niveau van factoren die van invloed zijn. Daarom is gekozen voor zowel miniproeven op een groot aantal locaties als een beperkt aantal detailproeven op een paar locaties om zo antwoord te kunnen geven op de volgende vragen:

1. Wat is de relatie tussen de opbrengst en het gehalte van de eerste en latere sneden bij de op basis van de bodemanalyse gegeven bemesting in weide- en maaistadium?
2. Voldoet bemesting op basis van onttrekking in latere sneden?
3. Wat is het effect van de N-bemesting en bodemparementers als pH, Mg, Na en NLV?
4. Bij welke bemesting is een voldoende K-toestand in de bodem te handhaven? Of op welk niveau moet de K-toestand in de bodem gehandhaafd blijven?

Ad 1: Op basis van de multinutriënt analyse via 0,01 M CaCl_2 extractie en op basis van het K-getal wordt de K-beschikbaarheid in de bodem geschat. Daartoe worden opbrengst en K-gehalte bepaald bij meerdere N- en K-trappen (zie hieronder). Op basis hiervan kan worden vastgesteld welke K-bemesting nodig is in relatie tot de K-beschikbaarheid voor een gewenste opbrengst en K-gehalte in het gewas.

Ad 2. Het bemestingsadvies was oorspronkelijk gericht op de eerste snede maaien met daarna alleen weiden. Later is een aanvullende bemesting berekend op basis van de onttrekking door latere sneden. Dit advies dient gevalideerd te worden. In welke mate dient bij latere sneden rekening te worden gehouden met de K-toestand?

Ad 3. In de studie van Den Boer et al. (2010) is vastgesteld dat het effect van het N-bemestingsniveau op de K-opname en het K-gehalte in het gewas nadere kwantificering behoeft. Het effect van bodemparementers als pH, NLV, Mg- en Na-toestand op de K-beschikbaarheid is te kwantificeren via de hieronder genoemde miniproeven op praktijkbedrijven.

Ad 4: In de studie van Den Boer et al. (2010) is beschreven bij welk K-getal een K-toestand als goed werd beoordeeld. Bij het schatten van de K-beschikbaarheid op basis van multinutriënt extractie dient opnieuw beoordeeld te worden of de K-beschikbaarheid op een bepaald niveau gehandhaafd dient te blijven en welk niveau daar dan bij hoort.

In de miniproeven vindt zowel in 2011 als 2012 onderzoek plaats op 12 praktijkbedrijven: 4 op zand, 2 op kalkrijke klei, 2 op niet kalkrijke zeeklei of rivierklei, 2 op veen en 2 op klei op veen. Op elk bedrijf zijn er 2 percelen die onderling verschillen in K-toestand (in het landbouwkundig relevante traject). De eerste snede heeft 2 bemestingsniveaus voor N (60 en 120 kg N per ha) en 4 voor K (0, 60, 90, 150 kg K_2O per ha) via inzet van dierlijke mest en kunstmest, hetgeen leidt tot 8 veldjes per miniproef. De grondsoorten hebben uiteenlopende niveaus voor de bodemparementers Mg, Na, pH CEC en NLV. De tweede snede wordt op nawerking aangelegd, daarna stopt de proef. Zo is veel informatie beschikbaar voor het vaststellen van de relatie tussen K-toestand en het effect van bemesting met N en K op de (K)-opbrengst bij uiteenlopende bodemtoestanden en grondsoorten. Onderzoeksvragen 1, 3 en 4 zijn daarmee deels te beantwoorden.

Er zijn 3 detailproeven in 2011 en 2012 en wel op normaal vochthoudende zand, op klei en op veen. De K-toestand van de percelen is relatief laag om de reactie op de K-bemesting goed te kunnen schatten. De proefopzet kent voor de eerste snede 3 N- (0, 60 en 120 kg N per ha) en 4 K-niveaus (0, 60, 120 en 180 kg K_2O per ha) en 2 opbrengstniveaus overeenkomend met het weide- of maaistadium en 2 herhalingen.

Dit geeft 48 veldjes per detailproef. Na de eerste snede wordt kali bemest volgens het schema, weergegeven in Tabel 2.1 en wordt de N-bemesting gestuurd op jaarniveaus van 0, 180 en 360 kg N per ha. Er wordt geen onderscheid meer gemaakt in oogststadia. Er wordt geen dierlijke mest ingezet. De grasopbrengst en het K-gehalte van gras wordt in alle sneden bepaald. Vooral onderzoeksvragen 1 en 2 worden daarmee beantwoord. Daarnaast kunnen onderzoeksvragen 3 en 4 deels worden beantwoord. In het tweede jaar komen zowel de detailproeven als de praktijkproeven zoveel mogelijk op een ander deel van hetzelfde perceel te liggen.

2.2 Proefopzet en uitvoering in 2011 en 2012

2.2.1 Miniproeven

Op basis van de grondonderzoek database van BLGG AgroXpertus zijn bedrijven geselecteerd die in de winter van 2010/2011 (c.q. winter van 2011/2012) grondonderzoek hebben uitgevoerd op minimaal twee percelen en waarbij er tussen de percelen een duidelijk verschil is in K-toestand. De geselecteerde bedrijven worden bezocht om de proefplek op het perceel te selecteren (januari/februari) en het proefveld uit te zetten. Van de proefplek wordt vervolgens een grondmonster genomen voor uitgebreid grondonderzoek (de specifieke plek kan afwijken van het grondonderzoek van het gehele perceel), zowel in voorjaar 2011 als in voorjaar 2012.

Bij de opzet van de miniproeven wordt de veehouders gevraagd om op één strook binnen de proefplek een vastgestelde hoeveelheid dunne rundermest (drm) (bijvoorbeeld 25 m³/ha) toe te dienen en op een “aansluitende” strook géén mest toe te dienen. Elke miniproef bevat zo een strook met drm en zonder drm. Dwars op deze stroken worden bruto veldjes van 8 bij 1,5 meter aangelegd. Dwars op deze behandelingen komen twee N-niveaus van: 60 en 120 kg N per ha. Dit wordt gerealiseerd door te bemesten met KAS, waarbij rekening wordt gehouden de werkzame hoeveelheid N uit mest (ongeveer 30 kg N per ha) (zie Figuur 2.1). Op elk N-niveau komt vervolgens een bemesting met wel (60 kg K₂O per ha) en geen kali in de vorm van Kali60. Met de dierlijke mest wordt ongeveer 90 kg werkzame K₂O per ha gegeven. Door de combinatie van wel en geen dierlijke mest en wel en geen K-kunstmest ontstaat er een reeks K-trappen van: 0, 60, 90 en 150 kg K₂O per ha. In totaal

A		B	
Drm, N1, K0		Drm, N2, K0	N2, K1
Drm, N2, K1		Drm, N1, K1	N1, K0
Drm, N2, K0		Drm, N1, K0	N1, K1
Drm, N1, K1		Drm, N2, K1	N2, K0
N1, K0			
N2, K1			
N2, K0			
N1, K1			

Figuur 2.1. Voorbeelden van de proefveld layout bij de miniproeven (A en B), drm is dunne rundermest, K0 en K1 zijn respectievelijk 0 en 60 kg K₂O via Kali60 en N1 en N2 is aanvulling met KAS tot respectievelijk 60 en 120 kg werkzame N per ha. Dit geeft per miniproef 8 objecten: (2 N-niveaus x 4 K-niveaus (2 K via kunstmest en 2 K via drm)). De behandeling worden geloot met drm als splitfactor.

Alle behandeling krijgen een basisgift superfosfaat (30 kg P_2O_5 per ha) om een effect van een verschillende P-giften zoveel mogelijk uit te sluiten. Via superfosfaat wordt ook ongeveer 20 kg S per ha gegeven. Daarmee is voldoende S beschikbaar voor een optimale groei van de eerste snede. Op elk deelnemend bedrijf wordt de mest bemonsterd tijdens de periode van mest uitrijden.

Per proefveldlocatie wordt getracht bij het bereiken van het maaistadium (3 tot 4 ton ds per ha) de opbrengst te bepalen. Daartoe wordt per strook een stuk van zeven meter midden over de strook uitgezet. Vervolgens wordt met een handmaaier (Agria) met een werkbreedte van 80 cm de beide kopse kanten weggemaaid om vervolgens de strook 7,00 m lengte uit te maaien. Gemaaid wordt op een hoogte van vier cm. Na het verzamelen van het verse gras in een plastic zak wordt in het veld het versgewicht bepaald via een driepoot met Unster. Aansluitend vindt subbemonstering plaats om ongeveer 1 kg vers materiaal te verkrijgen. Dit vers gras monster wordt naar het lab van BLGG AgroXpertus gestuurd voor de bepaling van de voederwaarde en minerale samenstelling.

Direct na het oogsten van de proefveldjes wordt een kleine N-gift (27 kg N per ha ofwel 100 kg KAS) gegeven om de nawerking vast te stellen. Na het bereiken van 2 ton drogestof per ha wordt de opbrengst bepaald en vindt eveneens analyse plaats op de gewassamenstelling.

2.2.2 Detailproefvelden

De proef is opgezet als maaiproef. De detailproef is in 2011 en 2012 uitgevoerd op 3 grondsoorten: een normaal vochthoudende zandgrond, een jonge zeeklei en een veengrond. Omdat het effect van kali onderzocht wordt zijn proefvelden gezocht met een lage K-beschikbaarheid (laag K-getal). De proef is uitgevoerd op een praktijkbedrijf nabij Heino (zand), en op de proefbedrijven de Waiboerhoeve (jonge zeeklei) en Zegveld (veen). De proefvelden hebben in 2012 op een andere plek gelegen dan in 2011 om meerjarige effecten en verstrengelingen te voorkomen.

Gedurende 2 jaar (2011 en 2012) zijn het gehele groeiseizoen opbrengstbepalingen op snedebasis uitgevoerd. Per snede is de opbrengst bepaald door uit een bruto veldje van 10x3 meter een strook gras te maaien met de Haldrup proefveldmaaier met een maaibreedte van 150 cm. De uit te maaien strook is ongeveer 7 meter lang (netto proefveld; strook is exact opgemeten na maaien).

Het gemaaid gras is gewogen en bemonsterd, waarna het monster 48 uur is gedroogd bij 70°C ter bepaling van het droge stofgehalte en vervolgens is het gedroogde monster opgestuurd voor verdere analyse (N, P en K gehalten, maar daarnaast ook: ruw as (RAS), calcium (Ca), zwavel (S), magnesium (Mg), Natrium (Na), ijzer (Fe), mangaan (Mn) en zink (Zn) (uitvoerder: BLGG AgroXpertus).

De objecten zijn gemaaid bij een opbrengst van ongeveer 3500-4000 kg ds/ha (snede 1, referentieobject was het met N hoogst bemeste object) en daarna met tussenperiodes van ongeveer weken (lichte maaisneden). Totaal zijn jaarlijks vijf sneden geoogst.

Voor de eerste snede is tevens een extra blok aangelegd, dat gemaaid is bij een weidesnede (ongeveer 1700 kg ds/ha). Dit wordt in dit rapport verder aangeduid als 'Weideblok'. Dit object is toegevoegd om een vergelijking te kunnen maken tussen lichte en zware sneden in het voorjaar. Mogelijk vraagt een lichte (weide)snede een ander kaliadvies dan een zwaardere (maai)snede. Per locatie is de proef in 2 herhalingen aangelegd.

Bemesting

Met de proef wordt de interactie van het effect van N-bemesting en K-bemesting op de grasopbrengst, zowel droge stof (ds) als N en K opbrengst, getoetst en gekwantificeerd. Om dit goed te kunnen toetsen

zijn objecten aangelegd met verschillende N en K bemestingen. Alle nutriënten (N, K en P) zijn gegeven in de vorm van kunstmest:

N: Kalkammonsalpeter (KAS)

P: Tripelsuperfosfaat

K: Kali-60

De variatie in K-bemesting is binnen alle N-bemestingsniveaus aangelegd. De N-niveaus zijn 0, 180, en 360 kg per ha op jaarbasis. De K-giften voor de eerste snede waren: 0, 60, 120 en 180 kg K₂O/ha.

De 60 en 180 K-objecten zijn per herhaling in drievoud aangelegd, omdat na de eerste snede bij het K-niveau van deze eerste snede drie K niveaus aan de vervolgsneden zijn gegeven.

In het vervolg wordt voor de objecten een objectcode gebruikt (Tabel 2.1) die is opgebouwd uit de N- en K- niveaus: de objecten zonder N-bemesting hebben code N0, de N-objecten met jaargift 180 kg N/ha hebben code N1 en de objecten met jaargift 360 kg N/ha hebben code N2. De code voor de K-gift is opgebouwd uit een cijfer voor snede 1 en een cijfer voor alle vervolgsneden. K00 betekent dan: geen K gift voor snede 1 en geen K-gift voor de vervolgsneden. K10 betekent: 60 kg K₂O voor snede 1 en 0 kg K₂O voor snede 2 etc. In totaal zijn er 2 (herhalingen) * 3 (N jaargiften) * 8 (K giften combi snede 1 en na snede 1) = 48 veldjes per locatie.

Tabel 2.1. Geplande K-giften (kg K₂O/ha) per snede NK proef.

Code/snede	1	2	3	4	5	Jaargift
N0K00	0	0	0	0	0	0
N0K10	60	0	0	0	0	60
N0K11	60	40	40	40	40	220
N0K12	60	80	80	80	80	380
N0K23	120	120	120	120	120	600
N0K30	180	0	0	0	0	180
N0K31	180	40	40	40	40	340
N0K32	180	80	80	80	80	500
N1K00	0	0	0	0	0	0
N1K10	60	0	0	0	0	60
N1K11	60	40	40	40	40	220
N1K12	60	80	80	80	80	380
N1K23	120	120	120	120	120	600
N1K30	180	0	0	0	0	180
N1K31	180	40	40	40	40	340
N1K32	180	80	80	80	80	500
N2K00	0	0	0	0	0	0
N2K10	60	0	0	0	0	60
N2K11	60	40	40	40	40	220
N2K12	60	80	80	80	80	380
N2K23	120	120	120	120	120	600
N2K30	180	0	0	0	0	180
N2K31	180	40	40	40	40	340
N2K32	180	80	80	80	80	500

Uit Tabel 2.1 blijkt dat de K-bemesting van 60 en 180 kg in snede 1 drie keer voorkomt en dat aan de

vervolgssneden daarna steeds 0, 40 of 80 kg K₂O / ha is toegediend. De totale jaargift van de K-bemesting ligt tussen 0 en 600 kg K₂O/ha. De K-gift voor de eerste snede geldt zowel voor het Maaiblok als voor het Weideblok. De bijbehorende N-giften zijn weergegeven in Tabel 2.2. De N-bemesting voor de eerste snede is op het Maaiblok en het Weideblok gelijk. Op alle veldjes wordt P gestrooid, om P-tekorten te voorkomen. Voor elke snede wordt per ha 45 kg P₂O₅ toegediend in de vorm van 100 kg/ha Tripelsuperfosfaat. Zwavelbemesting is niet gegeven. Er zit een kleine hoeveelheid zwavel in tripelsuperfosfaat (4,5 % SO₃). Alle objecten hebben iedere snede evenveel zwavel gekregen. Kali-60 bevat geen zwavel, het kali-effect is niet verstrengeld met een zwavel effect. Op de 3 locaties heeft dat, op basis van de NS-ratio, hooguit in 5% van de situaties mogelijk tot een opbrengsteffect geleid.

Tabel 2.2. De geplande N-giften (kg N/ha) per snede NK-proef.

Code/snede	1	2	3	4	5	Jaargift
N0K**	0	0	0	0	0	0
N1K**	60	40	40	20	20	180
N2K**	120	80	80	40	40	360

2.2.3 Grond- gewas- en mestanalyse

De volgende parameters worden meegenomen worden in de analyses van grond, mest en gewas:

- Grond: org. stof, CEC en CEC-bezetting, NLV, SLV, C/N, P-AL, bodemleven en P, K, Mg, Na op basis van extractie met 0,01 M CaCl₂ en K-HCl via 0,1 M HCl
- Mestonderzoek: Ds, ruw as, Ntotaal, NH₄-N, P₂O₅, K₂O, MgO en Na₂O en C/N
- Vers gras: droge stof, ruw eiwit, ruwe celstof, ruw as, ruw vet, Vc-os, suiker, NDF, kalium, magnesium, natrium calcium, fosfor, zwavel, mangaan, zink en ijzer.

2.2.4 Statistische analyse

De data worden statistisch geanalyseerd met behulp van Genstat (VSN International, 2013). Daarbij wordt gebruik gemaakt van de methodiek van REstricted Maximum Likelihood (REML, Harville, 1977). REML is een methode waarbij (lineaire) modellen worden ontwikkeld die zo goed mogelijk bij de data passen. Zo'n model bestaat uit een fixed (=systematisch) deel en een random deel. In het fixed deel komen de factoren die ingesteld zijn en waarvan we de invloed willen kennen en kwantificeren. In het random deel komen factoren waarvan bekend is dat ze invloed hebben maar die niet gekwantificeerd hoeven te worden. Via REML kan daardoor rekening worden gehouden met jaar, locatie en veld binnen locatie-effecten. De miniproeven en de detailproeven zijn (voor de eerste en de tweede snede) gezamenlijk geanalyseerd. Op basis van deze techniek wordt een model ontwikkeld waarbij de (K-)opbrengst wordt verklaard op basis van de gerealiseerde bemestingen en bodemfactoren. Het model met de hoogste verklaring van de resultaten zal worden geselecteerd. Bekend is dan welke factoren significante effecten hebben. Daarnaast worden de detailproeven separaat geanalyseerd om jaareffecten van de behandelingen te kwantificeren en te modelleren. Op basis van de beide analyses wordt een conceptadvies afgeleid voor de eerste snede en latere sneden.

3 Resultaten proeven algemeen

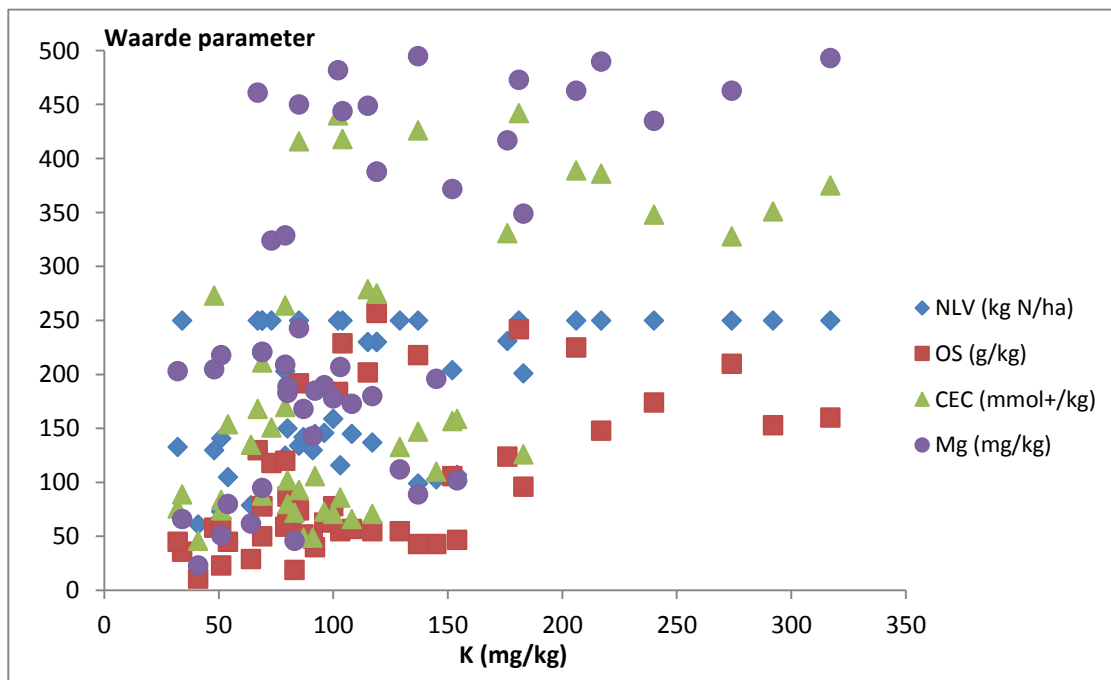
3.1 Resultaten grondonderzoek

3.1.1 Miniproeven

In 2011 hebben 11 bedrijven (met elk twee percelen) meegedaan in plaats van 12. In 2012 is hiervoor gecorrigeerd door twee bedrijven extra mee te nemen. Dit resulteerde in een verdeling van de percelen over de grondsoorten zoals in Tabel 3.1 is weergegeven. Van twee percelen werd als grondsoort rivierklei opgegeven. Op basis van de grondanalyse uitslag bleken dit meer zandachtige percelen te zijn daar het lutumpercentage minder dan 10% bedroeg. Zowel binnen de bedrijven was er een duidelijk verschil in K-gehalte in de bodem als over de bedrijven heen (Tabel 3.1), waarbij het K-gehalte varieerde tussen 34 (zeer laag) en 292 (hoog) mg/kg. Ook andere parameters vertoonden een grote variatie, waarbij er slechts een zwakke relatie is met het K-gehalte (Figuur 3.1). Daarbij lijkt een hoger K-gehalte gepaard met een hogere NLV, OS, CEC en Mg-gehalte van de grond. De pH bevindt zich tussen 5,1 en 7,3 op één uitzondering na, waarbij een pH van 4,6 is gemeten.

Tabel 3.1. De verdeling van de percelen over de grondsoorten.

	Aantal 2011	Aantal 2012
Zand	9(7)	11 (9)
Klei	6	6
Veen	7	7
Rivierklei	0(2)	2(4)
Totaal	22	26



Figuur 3.1. De relatie tussen K-gehalte en NLV, OS, CEC en Mg van 48 grondmonsters uit de miniproeven.

Tabel 3.2. Een overzicht van grondanalyseresultaten van de miniproef in 2011 en 2012.

parameter	2011			2012		
	gem	min	max	gem	min	max
lutum, %	12,7	2	31	16	1	49
organische stof,%	10,4	2,3	25,7	10,4	1,1	25,7
CEC, mmol+ kg ⁻¹	187,5	66	442	199	46	440
NLV, ha kg ⁻¹	180,2	73	250	181,1	61	250
SLV, mg ha ⁻¹	14	6	28	17,6	8	32
pH	5,9	4,6	7,2	5,8	4,9	7,3
K* mg kg ⁻¹	128,7	34	292	105,9	32	317
Mg*, mg kg ⁻¹	254	51	510	281,7	23	495
Na*, mg kg ⁻¹	32,5	9	81	36,5	5	90
P*, mg kg ⁻¹	2,2	0,4	9,3	2,1	0,3	6,3
PAL, mg 100g ⁻¹	41,8	17	67	46,3	17	116

* Deze bepalingen zijn gemeten op basis van extractie met 0,01 M CaCl₂ (zie bijlage x voor meer data).

3.1.2 Detailproeven

Tabel 3.3. Een overzicht van grondanalyseresultaten op de zand-, zeeklei en veen in 2011 en 2012.

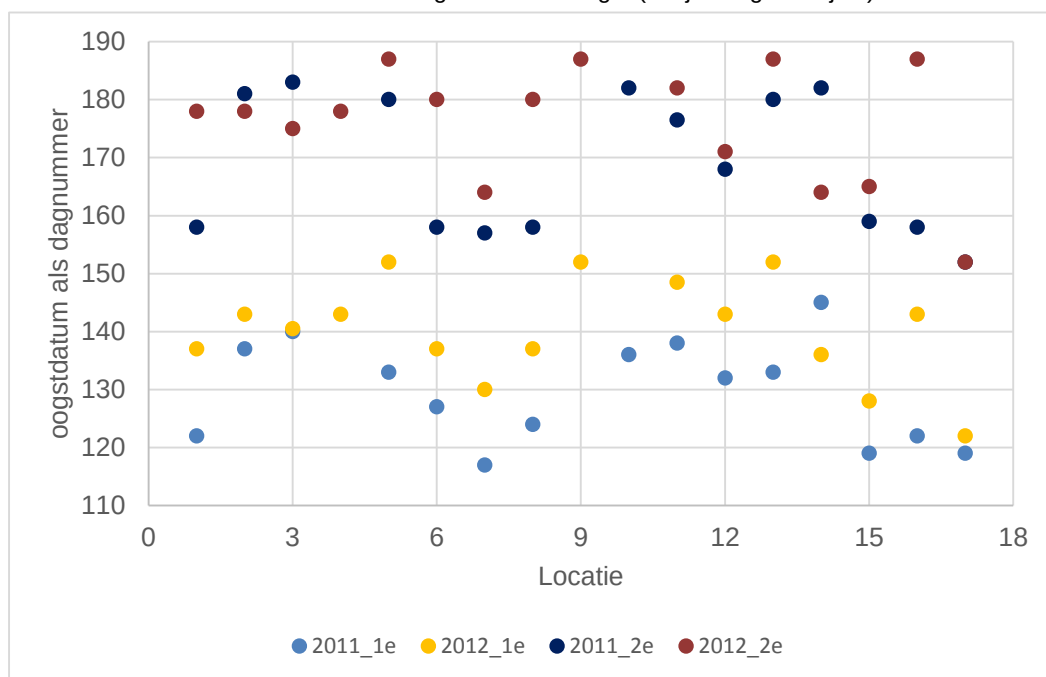
Parameter	Veen,M	Veen,W	Zeeklei		Zand,M	Zand,W
2011						
Lutum,%	32	29	18		3	2
organische stof,%	53,5	56,5	3,4		5,3	4,4
CEC,%	654	619	174		69	51
NLV, kg N ha ⁻¹						
SLV, kg S ha ⁻¹						
pH	4,8	4,5	7,4		5,4	5,3
K*, mg kg ⁻¹	101	162	145		50	47
Mg*, mg kg ⁻¹	590	597	115		164	140
Na*, mg kg ⁻¹	82	78	14		19	13
P*, mg kg ⁻¹	1,4	2,6	2,6		1,7	1,1
P-AL, mg P ₂ O ₅ /100	52	83	63		44	49
2012						
Lutum,%	27	28	16	16	6	3
organische stof,%	56	54,7	4,4	4,7	5,7	4,3
CEC,%	654	619	174		69	51
NLV, kg N ha ⁻¹						
SLV, kg S ha ⁻¹						
pH	4,6	4,6	7,3	7,2	7,3	7
K*, mg kg ⁻¹	84	102	168	158	45	35
Mg*, mg kg ⁻¹	541	526	124	123	222	135
Na*, mg kg ⁻¹	85	89	13	15	30	14
P*, mg kg ⁻¹	2,4	2,3	1,3	1,4	0,5	0,4
P-AL, mg P ₂ O ₅ /100	69	77	61	60	18	23

* Deze bepalingen zijn gemeten op basis van extractie met 0,01 M CaCl₂ (zie bijlage x voor meer data).

In 2012 zijn de detailproeven op klei en veen op hetzelfde perceel uitgevoerd als in 2011, maar wel op een ander deel van het perceel. Dat verklaart mede verschillen in bodemkengetallen tussen beide jaren (Tabel 3.2). Op de zandlocatie van de detailproeven is in 2012 uitgeweken naar een geheel ander perceel omdat de grasmat was aangetast door ganzen en muizen. Bij de detailproef (Tabel 3.2) is zowel op het weidedeel (W) als het maaideel (M) een monster genomen. Alleen in 2011 is op zeelei een monster van het gehele proefveld genomen omdat het weide- en maaiblok dicht tegen elkaar aanlagen. Vooral op klei was het lastig om percelen te vinden met een relatief weinig beschikbaar K. De 3 percelen verschillen verder ook sterk in bodemvruchtbaarheid. Zo is de fosfaattoestand relatief laag op de zandlocatie. Op klei en veen is de fosfaattoestand veel hoger, met name het P-AL-getal is vrij hoog.

3.2 Bemestings- en oogsttijdstippen

In Figuur 3.2 is weergegeven wanneer de eerste en tweede snede geoogst zijn voor zowel de miniproeven als de detailproeven. Er is grote spreiding in oogsttijdstippen van de eerste snede, van eind april tot begin juni. De tweede snede werd geoogst tussen begin juni en begin juli. Deze spreiding is het gevolg van verschil in vroegheid tussen locaties en opbrengstniveaus bij het maaien van een snede. In 2011 was de oogst van de eerste snede gemiddeld 10 dagen eerder dan in 2012 (7 mei tegen 17 mei). Voor de tweede snede was het verschil gemiddeld 7 dagen (15 juni tegen 23 juni).



Figuur 3.2. De oogstdata van de eerste en tweede snede in 2011 en 2012 op alle locaties.

Tabel 3.4. De maaidata in detailproef te Heino, Zegveld en op de Waiboerhoeve.

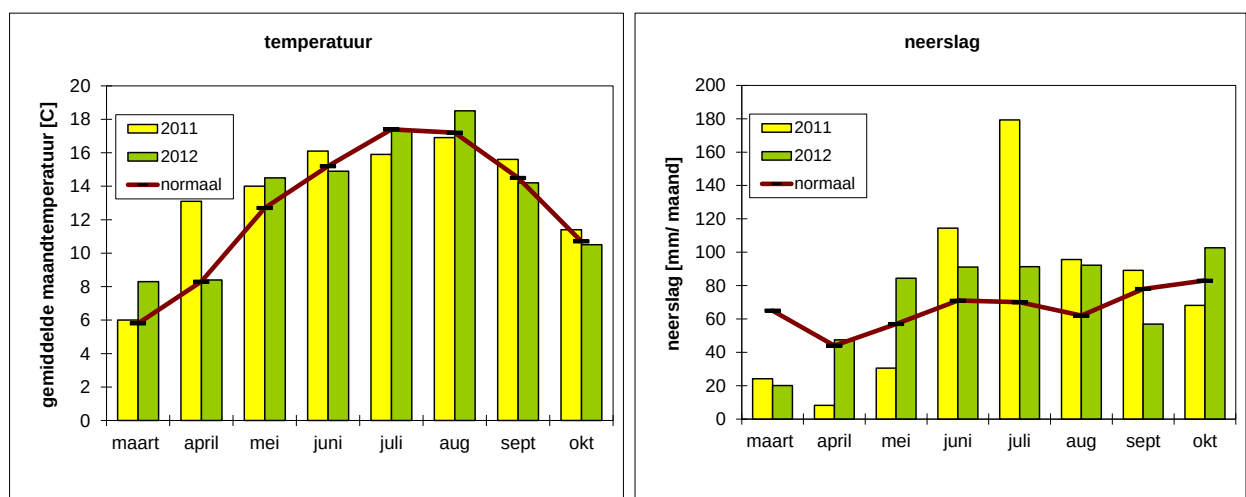
Jaar	Locatie	Datum eerste bemesting	Snede 1 W	Snede 1 M	Snede 2	Snede 3	Snede 4	Snede 5
2011	Heino	1-4	22-4	2-5	7-6	21-7	26-9	2-11
2011	WBH	17-3	22-4	29-4	8-6	20-7	1-9	1-11
2011	Zegveld	24-3	19-4	29-4	1-6	7-7	18-8	5-10
2012	Heino	27-3	3-5	16-5	26-6	25-7	3-9	23-10
2012	WBH	15-3	17-4	7-5	16-6	23-7	30-8	9-10
2012	Zegveld	16-3	18-4	1-5	31-5	11-7	30-8	9-10

In de detailproef zijn 5 sneden gerealiseerd. De oogstdata op de 3 locaties zijn in Tabel 3.4 weergegeven. De oogstdatum is ook de bemestingsdatum voor de navolgende snede. De eerste snede is bij 2 streefopbrengsten gemaaid: ongeveer 1700 kg ds/ha, de opbrengst van een weidesnede (W-blok) en ongeveer 3500 kg ds/ha, de opbrengst van een maaisnede (M-blok). Het W-blok heeft maar 1 snede meegelopen. In 2011 is de laatste snede laat geoogst te Heino en op de Waiboerhoeve; begin november.

3.3 Weergegevens

In Figuur 3.3 is een overzicht gegeven van het weerjaar 2011 en 2012. In detail:

- 2011: De wintermaanden januari en februari van 2011 waren relatief zacht. De temperatuur in maart liep op van 5 graden op 1 maart naar ruim 15 graden eind maart. De gehele lente (maart-april-mei) was extreem droog, zonnig en zeer zacht. April was zelfs 4 graden warmer dan normaal. Opvallender was de droogte. Gemiddeld over Nederland is slechts 49 mm gevallen tegen 172 mm normaal over deze drie maanden. De drie zomermaanden juni-juli-augustus daarentegen waren uitzonderlijk nat (gemiddeld 350 mm tegen 225 mm normaal), somber en vrij koel (gemiddeld 0,7 graad kouder dan normaal). Een deel van de neerslag is tijdens zeer actieve onweersbuien gevallen. De maanden september en oktober waren duidelijk warmer dan normaal en aan de droge kant. Voor het gras was 2011 als geheel een groeizaam jaar, met alleen in april/mei een mogelijk vochttekort en daarmee enige groeiremming. Geen van de proeflocaties is echter verdroogd of had zichtbare droogteschade.
- 2012: De winter (december-februari) was gemiddeld zacht en vrij nat. Alleen de maand februari had een bijzonder weerverloop, extreem koud tot 12 februari, met een echte koudegolf. De rest van maand was zacht tot zeer zacht. Het voorjaar was nogal wisselend. Maart was zacht, droog en zonnig (alle neerslag viel in de eerste 7 dagen), maar april was juist koud, somber en nat (tussen de 10 en 15 graden). Mei begon erg koud en somber, maar na 20 mei was er bemesten en de oogst van de eerste snede gunstiger dan in 2011, toen er sprake was van droogte. De zomermaanden kenden ook een duidelijke tweedeling. Juni en juli waren te koel, nat en te somber, terwijl augustus juist een zonnige en warme maand was. Gemiddeld was de zomer normaal ten aanzien van de hoeveelheid zon en temperatuur, maar natter dan normaal. September en oktober kenden ongeveer een normale temperatuur. September was droger en oktober was natter dan normaal.

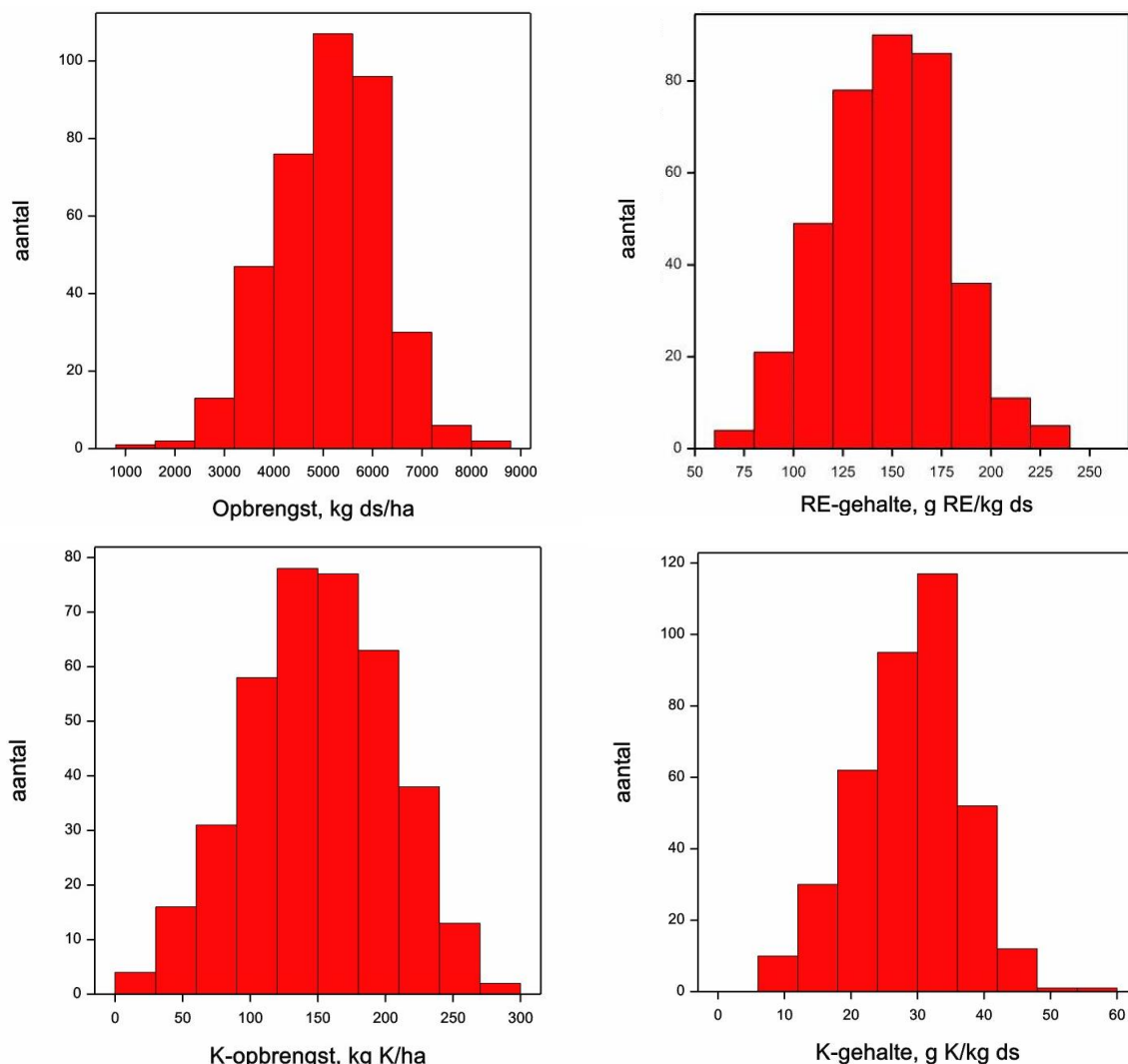


Figuur 3.3. Gemiddelde maandtemperaturen en maandelijkse neerslaghoeveelheden gedurende de groeiseizoenen van 2011 en 2012, vergeleken met 'normaal'. 'Normaal' = langjarig gemiddelde 1971-2000. Bron gegevens: www.KNMI.nl.

4 Opbrengstresultaten miniproeven

4.1 Resultaten bemesting, gewasopbrengst en gewassamenstelling miniproeven

In totaal waren er per snede 384 te maaien veldjes. In 2011 heeft op 1 perceel op 4 veldjes geen opbrengstbepaling plaats gevonden. Beoogd was een kaligift met mest in de eerste snede van 90 kg K₂O per ha. De gemiddelde werkzame gift was duidelijk hoger: 131 kg K₂O ha⁻¹. De K-trappen bedroegen daarmee 0, 60, 131 en 191 kg K₂O ha⁻¹. De opbrengst tussen locaties varieerde sterk zoals blijkt uit Tabel 4.1 en Figuur 4.1. Gemiddeld was de opbrengst van de eerste snede hoog met 5100 kg ds ha⁻¹. Het opbrengstniveau was in beide jaren vrijwel gelijk met respectievelijk 4954 en 5210 kg ds ha⁻¹ in 2011 en 2012. Deze hoge opbrengst was het gevolg van relatief laat maaien door veehouders, enkele locaties lagen op afstand en het oogsten van de proeflocaties kon veelal pas worden uitgevoerd nadat de veehouder had gemaaid. Voor de eerste snede bedroeg in 2011 en 2012 de gemiddeld werkzame N-gift 120 en 103 kg ha⁻¹ en de werkzame K₂O-gift 91 en 84 kg ha⁻¹. De gewasopname overtreft dus gemiddeld gesproken de N- en K₂O-gift. De variatie in K-gehalte en K-opname in het gewas is groot (Figuur 4.1). Gemiddeld bevindt zich het K-gehalte op een goed niveau. Een kwart van de K-gehalte is lager dan 20 g K kg ds ha⁻¹. In een review geeft Whitehead (2000) aan dat beneden



Figuur 4.1. De frequentieverdeling van de drogestof- en K-opbrengst en het RE- en K-gehalte.

deze waarde bij een deel van de monsters zeker opbrengstdervingen is opgetreden. Beter is het volgens hem om te kijken naar de N/K verhouding. Indien deze hoger is dan 1,3 dan is er een grote kans op een kalitekort, waarbij hij tegelijk opmerkt dat er eigenlijk geen eenduidige criteria zijn. Op basis van dit criterium is de kans groot dat 19% van de monsters een kalitekort heeft. Het RE-gehalte is gemiddeld gesproken vrij laag wat mede samenhangt met de hoge opbrengsten, waardoor verdunning optreedt. Ook was er een grote variatie in RE-gehalten (Figuur 4.1). Het Mg- en Na-gehalte is gemiddeld op een goed niveau. Het ruw-as gehalte is vrij laag op een enkele uitzondering na.

Tabel 4.1. Een overzicht van de drogestofopbrengst, de K- en N-opname door het gras en de gehalten aan RE, K, P, Mg, Na en ruw-as van eerste snede gras in 2011 en 2012. In totaal waren er 380 veldjes en 4 missende waarnemingen.

Parameter	gemiddeld	mediaan	minimum	maximum	25% kwartiel	75% kwartiel
Ds-opb, kg ha ⁻¹	5094	5160	1365	8067	4431	5834
K-opn, kg ha ⁻¹	149,7	152,2	19,1	280,4	111,2	187,6
N-opn, kg ha ⁻¹	119,6	118,5	28	237,6	98,2	142,5
RE, g kg ⁻¹ ds	148,2	147	65	234	125	169
K, g kg ⁻¹ ds	29,1	30	7,6	59	23,95	34,7
P, g kg ⁻¹ ds	3,55	3,5	2,2	5,2	3,1	3,9
Mg, g kg ⁻¹ ds	2,37	2,3	1	4,6	1,9	2,9
Na, g kg ⁻¹ ds	2,74	2,6	0,3	8,8	1,6	3,6
Ruw_as, g kg ⁻¹ ds	92,4	90	57	195	81	101

Tabel 4.2 laat zien dat voor de situatie van 0 K₂O met kunstmest de opbrengst toeneemt bij en een hogere N-bemesting en dierlijke mest. Voor de situatie met 60 K₂O via kunstmest is het beeld vergelijkbaar, waarbij de opbrengsten over de hele linie hoger. Het patroon van de eerste snede is eveneens aanwezig in de tweede snede, waar de nawerking is getoetst). Er is in de tweede snede alleen kleine stikstofgift gegeven via KAS van ongeveer 25 kg N ha⁻¹. Overall bedroeg in 2011 en 2012 voor de tweede snede de gemiddeld werkzame N-gift 28 en 29 kg ha⁻¹ en de werkzame K₂O-gift 10 en 14 kg ha⁻¹.

Tabel 4.2. De opbrengst (kg ds ha⁻¹) van de eerste en tweede snede uitgesplitst naar wel of geen K₂O via kunstmest en wel of geen dierlijke mest bij N-niveaus van 60 en 120 kg N ha⁻¹ in de eerste snede

K ₂ Okm kg ha ⁻¹	Dm-trap	aantal	eerste snede		tweede snede	
			N-trap	N-trap	N-trap	N-trap
			60 kg ha ⁻¹	120 kg ha ⁻¹	60 kg ha ⁻¹	120 kg ha ⁻¹
0	nee	48	4586 (83)	5118 (93)	2128 (85)	2282 (91)
0	ja	37*	4947 (90)	5453 (99)	2346 (94)	2449 (98)
60	nee	48	4799 (87)	5249 (95)	2205 (88)	2284 (91)
60	ja	37*	5213 (95)	5507 (100)	2279 (91)	2501 (100)

Een aantal objecten heeft een afwijkende K₂O-bemesting via kunstmest gehad of een afwijkende N-gift. Daarom zijn deze niet meegenomen in de tabel.

Tabel 4.3 laat zien dat voor de situatie van 0 K₂O met kunstmest de K-opbrengst toeneemt bij en een hogere N-bemesting en dierlijke mest. Voor de situatie met 60 K₂O via kunstmest is het beeld vergelijkbaar. De opbrengsten zijn over de hele linie hoger. Het patroon van de eerste snede is eveneens aanwezig in de tweede snede.

Tabel 4.3. De K-opbrengst (kg K ha⁻¹) van de eerste en tweede snede uitgesplitst naar wel of geen K₂O via kunstmest en wel of geen dierlijke mest bij N-niveaus van 60 en 120 kg N ha⁻¹ in de eerste snede.

K ₂ O km kg ha ⁻¹	Dm-trap	aantal	eerste snede		tweede snede	
			N-trap	N-trap	N-trap	N-trap
			60 kg ha ⁻¹	120 kg ha ⁻¹	60 kg ha ⁻¹	120 kg ha ⁻¹
0	nee	48	114 (59)	131 (68)	50 (72)	53 (77)
0	ja	37*	156 (81)	178 (93)	62 (90)	64 (93)
60	nee	48	132 (69)	152 (79)	55 (80)	56 (81)
60	ja	37*	178 (93)	192 (100)	64 (93)	69 (100)

Een aantal objecten heeft een afwijkende K₂O via kunstmest gehad of een afwijkende N-gift. Daarom zijn deze niet meegenomen in de tabel.

Tabel 4.4 laat zien dat voor de situatie van 0 K₂O met kunstmest het K-gehalte toeneemt bij een hogere N-bemesting en dierlijke mest (met dierlijke mest wordt K gegeven). De toename door een hogere N-bemesting is beperkt. Er treedt “verdunning” op als gevolg van de hogere opbrengst bij een hogere N-bemesting. Voor de situatie met 60 K₂O via kunstmest is het beeld vergelijkbaar. De gehalten zijn over de hele linie hoger. Het patroon van de eerste snede is eveneens aanwezig in de tweede snede met uitzondering van het effect van een hogere N-trap. Een verschil in N-bemesting in de eerste snede bij een gelijke N-bemesting in de tweede snede resulteert in vergelijkbare K-gehalten.

Tabel 4.4. Het K-gehalte (g K /kg ds) van de eerste en tweede snede uitgesplitst naar wel of geen K₂O via kunstmest en wel of geen dierlijke mest bij N-niveaus van 60 en 120 kg N ha⁻¹ in de eerste snede.

K ₂ O km kg ha ⁻¹	Dm-trap	aantal	eerste snede		tweede snede	
			N-trap	N-trap	N-trap	N-trap
			60 kg ha ⁻¹	120 kg ha ⁻¹	60 kg ha ⁻¹	120 kg ha ⁻¹
0	nee	47	24,41 (70)	25,11 (72)	21,47 (78)	21,35 (78)
0	ja	35*	31,28 (90)	32,71 (94)	25,78 (94)	25,4 (92)
60	nee	47	27,1 (78)	28,95 (83)	23,89 (83)	22,85 (83)
60	ja	35*	34,2 (98)	34,89 (100)	27,49 (100)	27,4 (100)

Een aantal objecten heeft een afwijkende K₂O via kunstmest gehad of een afwijkende N-gift. Daarom zijn deze niet meegenomen in de tabel.

Tabel 4.5 laat zien dat voor de situatie van 0 K₂O met kunstmest de N-opbrengst toeneemt bij een hogere N-bemesting en dierlijke mest. Voor de situatie met 60 K₂O via kunstmest is het beeld vergelijkbaar. De opbrengsten zijn over de hele linie hoger. Het patroon van de eerste snede is eveneens aanwezig in de tweede snede. Een hogere in N-bemesting in de eerste snede resulteert in hogere nawerking in de tweede snede.

Tabel 4.5. De N-opbrengst (kg N ha⁻¹) van de eerste en tweede snede uitgesplitst naar wel of geen K₂O via kunstmest en wel of geen dierlijke mest bij N-niveaus van 60 en 120 kg N ha⁻¹ in de eerste snede.

K ₂ O km kg ha ⁻¹	Dm-trap	aantal	eerste snede		tweede snede	
			N-trap	N-trap	N-trap	N-trap
			60 kg ha ⁻¹	120 kg ha ⁻¹	60 kg ha ⁻¹	120 kg ha ⁻¹
0	nee	47	93 (63)	127 (87)	46 (78)	55 (92)
0	ja	35*	109 (75)	145 (99)	53 (88)	60 (100)
60	nee	47	96 (65)	130 (89)	47 (79)	54 (90)
60	ja	35*	118 (81)	146 (100)	51 (86)	60 (100)

Een aantal objecten heeft een afwijkende K₂O via kunstmest gehad of een afwijkende N-gift. Daarom zijn deze niet meegenomen in de tabel.

4.2 Statistische analyse miniproeven plus eerste snede detailproeven

4.2.1 Algemeen

Nagegaan is welke bodem- en bemestingsfactoren van invloed zijn op de drogestofopbrengst, de K-opbrengst en de N-opbrengst. Dit is gedaan voor de eerste en tweede snede van de miniproeven als wel van de eerste en tweede snede van het maaiblok van de detailproeven, exclusief de 0N veldjes van het maaiblok. Dit gaf over 2011 en 2012 in totaal 384+192 = 576 experimentele eenheden per snede.

Naast K-CaCl₂ (ook wel K-PAE) en K-bemesting zijn in de REML variantie componenten analyse een groot aantal bodem- en bemestingsparameters meegenomen en getoetst (Tabel 2.4) zoals onder andere de CEC, pH en fosfaattoestand, welke van invloed kunnen zijn op de opbrengst. Daarnaast kan de bezetting aan het adsorptiecomplex van invloed zijn op de K-beschikbaarheid, zeker op kleigronden. Daarom zijn 3 termen "... Gap" meegenomen die een soort maat zijn voor het adsorptiegedrag van K (Bussink et al., 2011). Verder zijn ook interacties tussen alle parameters meegenomen (voor zover relevant).

De modelparameters hadden vaak een groot bereik. De verdeling is dan vaak niet normaal. Daarom is veelal een log-transformatie toegepast voor het verkrijgen van een normale verdeling. In de tekst is de natuurlijke logaritme weergegeven door "l" voorafgaand aan de parameter.

Tabel 4.6. Parameters die zijn meegenomen in de statistische analyse van de eerste snede.

Modelparameter	Toelichting	Eenheid
• N-Tot	N-totaal	(mg N kg ⁻¹)
• P-PAE (=P-CaCl ₂)	fosfaat intensiteit	(mg P per kg grond)
• P-AL	fosfaat capaciteit	(mg P ₂ O ₅ per 100 gram grond)
• ratio grond	P-AL/P_PAE	(mg P ₂ O ₅ per 100 gram grond)/mg P per kg
• OS	organischstofgehalte	(%)
• pH	zuurgraad	
• K	K-CaCl ₂ (ook wel K-PAE)	(mg K per kg grond)
• Mg	Mg-Cal ₂ (ook wel Mg-PAE)	(mg Mg per kg grond)
• ratio	P-PAE/P-AL	
• Pkm	P-kunstmest	(kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)
• Pdm	P-dierlijke mest	(kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)
• Ndm	N-dierlijke mest	(kg N ha ⁻¹)
• Nkm	N-kunstmest	(kg N ha ⁻¹)
• Kkm	K-kunstmest	(kg K ₂ O ha ⁻¹)
• Kdm	K-dierlijke mest	(kg K ₂ O ha ⁻¹)
• Kgift	totaal werkzame K uit mest kunstmest	(kg K ₂ O ha ⁻¹)
• Ngift	totaal werkzame N uit mest kunstmest	(kg N ha ⁻¹)
• CEC	Kationenuitwisselingscapaciteit	(mmol(+) kg ⁻¹)
• Lutum	kleigehalte	(%)
• fKCa_gap	$K_bez/(Ca_bez^{**}0.5)$	
• fMgCa_gap	Mg_bez/Ca_bez	
• fKMgCa_gap	$K_bez/((Mg_bez+Ca_bez)^{**}0.5)$	
• DOY	dagnummer jaar van oogst snede	

Uit de analyse bleek voor het effect van K-bemesting op de opbrengst geen onderscheid behoefde te worden gemaakt tussen kali uit kunstmest en werkzame K uit rundmest. Als modelparameter voor het effect van kalibemesting is daarom de werkzame Kgift als modelparameter meegenomen. Ook voor N hoefde geen onderscheid te worden gemaakt tussen N uit kunstmest en werkzame N uit rundmest. Voor het effect van N-bemesting is daarom de werkzame Ngift als modelparameter meegenomen. Blijkbaar voldeden de ingestelde werkingscoëfficiënten.

4.2.2 Drogestofopbrengst: CEC en K-PAE

Uit Figuur 3.4 blijkt dat er grote verschillen zijn in opbrengst tussen de locaties. Bij de REML variantie componenten analyse wordt rekening gehouden met deze verschillen door het model te wegen voor verschillen tussen locaties en tussen percelen binnen locaties. Voor de verklaring van de drogestofopbrengst zijn de parameters uit Tabel 4.6 getoetst. Dit resulteerde uiteindelijk in Model 1 met 88,2% verklaarde variantie. De random factor (Locatie.perceel) verklaarde ongeveer 77% van de variantie. De modelfactoren verklaarden 11% van de resterende variantie. Dit is als redelijk te beschouwen gezien de grote bijdrage van de random factoren.

De significanties van de modelparameters zijn in Tabel 4.7 weergegeven. Er zijn veel parameters die van invloed zijn op de opbrengst, waaronder K, CEC, de bezetting van het adsorptiecomplex (fKCa_gap en fMgCa_gap en de (werkzame) Kgift. Er is een negatieve interactie tussen Kgift en K (Tabel 4.9). Dit wil zeggen dat het van K-bemesting op de opbrengst afneemt naarmate K (K-PAE) hoger is. Verder is er een significante positieve interactie tussen Kgift en CEC. Het hoofdeffect van CEC is sterk negatief. Het resultaat is dat bij een hogere CEC K-bemesting minder bijdraagt aan de opbrengst dan bij een lagere CEC. De K wordt gebufferd. Opnemen van organische stof (OS) en lutum had geen toegevoegde waarde. Op basis van een eerdere studie (Bussink et al., 2011) is ook te verwachten dat er een betere relatie is met CEC dan met OS en lutum.

Naast de kaliumbeschikbaarheid en K-bemesting is de fosfaattoestand (IP_PAE en ratio) van belang voor de opbrengst van de eerste snede. Dit is het gevolg van een verschil in fosfaattoestand tussen de percelen (Tabel 3.2). Zowel een hoge als een lage fosfaattoestand komt voor. Uiteraard is het niveau van stikstofbemesting van belang. N_Tot (een maat voor de N-levering) leverde geen significante bijdrage aan het model.

Model 1: Drogestofopbrengst 2011 en 2012, eerste snede

Response variabele:	I(Dsopbrengst)
Fixed model:	Constant + IDOY + IP_PAE + IK + ICEC + fMgCa_gap + IKgift + fKCa_gap + INgift + IPH + IP_PAE.IK + IK.fKCa_gap + IDOY.INgift + fKCa_gap.INgift + IK.ICEC + IK.IKgift + ratio + ICEC.IPH + ICEC.IKgift
Random model	locatie.Jaar

Tabel 4.7. Bodem- en bemestingsfactoren die een significant effect hebben op de drogestofopbrengst van de eerste snede van 2011 en 2012 op basis van het telkens weglaten van 1 term uit het volledige model.

Variabelen	<i>p</i>
fMgCa_gap	<0,001
ratio	<0,001
IP_PAE.IK	<0,001
IK.fKCa_gap	<0,001
IDOY.INgift	<0,001
fKCa_gap.INgift	0,001
IK.ICEC	<0,001
IK.IKgift	<0,001
ICEC.IPH	0,007
ICEC.IKgift	0,021

* het hoofdeffect van IK, IKgift, INgift, IP_PAE, ICEC, IDOY, fMgCa_gap en fKCa_gap is niet weergegeven, omdat bij deze parameters de interactietermen significant zijn.

Bij de opbrengstanalyse van de tweede snede bleek het resultaat van de eerste snede van grote invloed te zijn. Het bleek lastig dit statistisch goed te modelleren. Besloten is om voor de tweede snede de cumulatieve opbrengst te analyseren. Voor de verklaring van de drogestofopbrengst zijn de parameters uit Tabel 4.6 getoetst. Dit resulteerde uiteindelijk in Model 2 met 89,0% verklaarde variantie. De random factor (Locatie.perceel) verklaarde ongeveer 77,7% van de variantie. De modelfactoren verklaarden 11,3% van de resterende variantie. De resultaten zijn vergelijkbaar met die van snede 1 met dien

verstande dat ook de parameters IK.fMgCa_gap + IN_Tot.IKgift12 significant zijn in tegenstelling tot IpH.ICEC (Tabel 4.8). Dat N_Tot nu wel een significante bijdrage levert is opvallend. Mogelijk is de verklaring dat de N-mineralisatie uit de bodem tijdens de groeiperiode van eerste snede nog beperkt is in tegenstelling tot de tweede snede. De richtingscoëfficiënten van de modelparameters zijn in Tabel 4.9 weergegeven.

Model 2: Drogestofopbrengst 2011 en 2012, eerste + tweede snede

Response variabele:	I(Dsopbrengst)
Fixed model:	Constant + IDOY + IP-PAE + IK + ICEC + fMgCa_gap + fKCa_gap + IPH + ratio + IN_Tot + INgift12 + IKgift12 + IP_PAE.IK + IK.fKCa_gap + IK.fMgCa_gap + IK.ICEC + IDOY.INgift12 + fKCa_gap.INgift12 + IK.IKgift12 + ratio + IP-PAE.IN_Tot + ICEC.IKgift12 + IKgift12.IN_Tot
Random model	locatie.Jaar

Tabel 4.8. Bodem- en bemestingsfactoren die een significant effect hebben op de drogestofopbrengst van de eerste en tweede snede van 2011 en 2012 op basis van het telkens weglaten van 1 term uit het volledige model.

Variabelen	<i>p</i>
IPH	<0,001
ratio	0,002
IP-PAE.IK	0,039
IK.fKCa_gap	<0,001
IK.fMgCa_gap	<0,001
IK.ICEC	<0,001
IDOY.INgift12	0,037
fKCa_gap.INgift12	0,002
IK.IKgift12	<0,001
ICEC.IKgift12	<0,001
IP-PAE.IN_Tot	0,005
IKgift12.IN_Tot	<0,001

* het hoofdeffect van IK, IKgift, INgift, IP_PAE, ICEC, IDOY, I_NTot, fMgCa_gap en fKCa_gap is niet weergegeven, omdat bij deze parameters de interactietermen significant zijn.

Tabel 4.9. De richtingscoëfficiënt (rc) en de standaardafwijking (se) van model 1 en 2.

Model 1			Model 2		
eerste snede			eerste + tweede snede		
Parameter	rc	se	Parameter	rc	se
Constant	-27,91	5,145	Constant	-12,96	3,859
IDOY	6,804	0,8092	IDOY	4,237	0,7609
IP-PAE	-1,412	0,2224	IP-PAE	-1,225	0,241
IK	-0,7006	0,21414	IK	-0,448	0,1873
ICEC	-0,3793	0,50452	ICEC	-0,7567	0,18241
fMgCa_gap	-0,9117	0,20054	fMgCa_gap	-5,951	0,9129
IKgift	0,06789	0,021029	fKCa_gap	7,198	1,0817
fKCa_gap	7,155	1,2226	INgift12	1,748	0,7123
INgift	4,387	0,7924	IPH	1,201	0,2306
IPH	3,633	1,2697	IP-PAE.IK	0,07694	0,037048
IP-PAE.IK	0,2443	0,04103	IK.fKCa_gap	-1,16	0,1827
IK.fKCa_gap	-1,129	0,201	IK.fMgCa_gap	1,149	0,1962
IDOY.INgift	-0,8381	0,16159	IK.ICEC	0,1567	0,042
fKCa_gap.INgift	-0,2507	0,07804	IKgift12	0,005758	0,0201898
IK.ICEC	0,2578	0,04683	IDOY.INgift12	-0,3037	0,14545
IK.IKgift	-0,02146	0,004968	fKCa_gap.INgift12	-0,2092	0,06785
ratio	-0,00596	0,001525	IK.IKgift12	-0,01426	0,003871
ICEC.IPH	-0,6124	0,22753	ratio	-0,00399	0,0012548
ICEC.IKgift	0,008275	0,003586	ICEC.IKgift12	-0,01688	0,004803
			IN_Tot	-0,02106	0,065146
			IP-PAE.IN_Tot	0,08388	0,029706
			IKgift12.IN_Tot	0,01929	0,003681

4.2.3 Drogestofopbrengst: OS, lutum en K-PAE

De parameter CEC kan niet bij elk laboratorium worden gemeten. Daarom is de analyse ook uitgevoerd zonder CEC en CEC gerelateerde parameters ("...gap") mee te nemen. Dit resulteerde uiteindelijk in Model 3 met 86,8% verklaarde variantie. De random factor (Locatie.perceel) verklaarde ongeveer 77,7% van de variantie. De modelfactoren verklaarden 9,8% van de resterende variantie.

De significanties van de modelparameters zijn in Tabel 4.10 weergegeven. Daarbij is er een significante positieve interactie tussen Kgift en OS en een negatieve tussen Kgift en K. Lutum daarentegen had geen significante interactie met de Kgift. Toch is deze meegenomen omdat op basis van de literatuur bekend is dat lutum van invloed is op de werking van een kaligift, naarmate er meer lutum is zwakt de werking van een Kgift af (buffering). In model 3 wordt dit ook gevonden, want de interactie tussen Lutum en Kgift is negatief. De richtingscoëfficiënten van de modelparameters zijn in Tabel 4.12 weergegeven.

Model 3b: Drogestofopbrengst 2011 en 2012, eerste snede

Response variabele:	I(Dsopbrengst)
Fixed model:	Constant Constant + IDOY + IP-PAE + IK + IOS + IKgift + INgift + IDOY.INgift + IK.IKgift + ILutum + IPH + ILutum.IPH + IKgift.ILutum + IOS.IKgift
Random model	locatie.Jaar

Tabel 4.10. Bodem- en bemestingsfactoren die een significant effect hebben op de drogestofopbrengst van de eerste snede van 2011 en 2012 op basis van het telkens weglaten van 1 term uit het volledige model.

Variabelen	<i>p</i>
IP_PAE	<0,001
IDOY.INgift	<0,001
IK.IKgift	<0,001
ILutum.IPH	<0,001
IKgift.ILutum	0,187
IOS.IKgift	<0,001

* het hoofdeffect van IK, IKgift, INgift, IP_PAE, ICEC, IDOY en fkCa_gap,km is niet weergegeven, omdat bij deze parameters de interactietermen significant zijn.

Analyse van de cumulatieve opbrengst van de eerste en tweede snede resulteerde in Model 4 met 87,2% verklaarde variantie. De random factor (Locatie.perceel) verklaarde ongeveer 77,7% van de variantie. De modelfactoren verklaarden 9,5 % van de resterende variantie.

De significanties van de modelparameters zijn in Tabel 4.11 weergegeven. Daarbij is er een significante positieve interactie tussen Kgift en N_Tot en een negatieve tussen Kgift12 en K. De richtingscoëfficiënten van de modelparameters zijn in Tabel 4.12 weergegeven

Model 4: Drogestofopbrengst 2011 en 2012, eerste snede; N=570

Response variabele:	I(Dsopbrengst)
Fixed model:	Constant + IDOY + IK + IKgift12 + INgift12 + IN_Tot + IOS + IDOY.INgift12 + IK.IKgift12 + ILutum + IKgift12.ILutum + INgift12.IN_Tot + IKgift12.IN_Tot
Random model	locatie.Jaar

Tabel 4.11. Bodem- en bemestingsfactoren die een significant effect hebben op de drogestofopbrengst van de eerste snede van 2011 en 2012 op basis van het telkens weglaten van 1 term uit het volledige model.

Variabelen	<i>p</i>
IDOY.INgift12	0,038
IK.IKgift12	<0,001
IOS	<0,001
IKgift12.ILutum	0,016
INgift12.IN_Tot	0,001
IKgift12.IN_Tot	<0,001

* het hoofdeffect van IK, IKgift, INgift, IDOY en N_Tot is niet weergegeven, omdat bij deze parameters de interactietermen significant zijn.

Tabel 4.12. De richtingscoëfficiënt (rc) en de standaardafwijking (se) van model 3 en 4.

Model 3	eerste snede		Model 4	eerste +tweede snede		Model 1
Parameter	rc	se	Parameter	rc	se	
Constant	-32,81	4,302	Constant	-15,78	4,12	
IDOY	7,631	0,8558	IDOY	4,136	0,8181	
IP_PAE	-0,07688	0,016772	IK	0,1204	0,02325	
IK	0,1339	0,02889	IKgift12	0,02869	0,020471	
IOS	-0,1106	0,03229	INgift12	2,089	0,782	
IKgift	0,1049	0,02069	IN_Tot	0,4181	0,09641	
INgift	4,2	0,8374	IDOY.INgift12	-0,3256	0,15684	
IDOY.INgift	-0,8238	0,1711	IK.IKgift12	-0,01996	0,003828	
IK.IKgift	-0,02384	0,004812	IOS	-0,2723	0,07851	
ILutum	1,34	0,1815	ILutum	0,05329	0,015416	
IPH	1,515	0,2862	IKgift12.ILutum	-0,00378	0,001559	
ILutum.IPH	-0,7374	0,09962	INgift12.IN_Tot	-0,03994	0,012316	
IKgift.ILutum	-0,002543	0,0019251	IKgift12.IN_Tot	0,01009	0,002344	
IOS.IKgift	0,01	0,003006				

4.2.4 K-gehalte; CEC en K-PAE

Het K-gehalte is verklaard uit bodem- en bemestingsparameters. Dit resulteerde in Model 5. Zodra CEC als modelparameter wordt meegenomen zijn OS en lutum niet langer relevant. Model heeft 85,4% verklaarde variantie. De random factor (Locatie.perceel) verklaarde ongeveer 55,1% van de variantie. De modelfactoren verklaarden 30,3% van de resterende variantie. De significanties van de modelparameters zijn in Tabel 4.12 weergegeven. Daarbij is er een significante interactie tussen Kgift en Mg en tussen Kgift en K. Meer Mg in de bodem werkt negatief op het K-gehalte (hetgeen ook verwacht mag worden), bij een vergelijkbare Kgift neemt het K-gehalte af bij een stijgend Mg-gehalte in de grond. Naarmate de K-toestand hoger is neemt het effect van een Kgift op het K-gehalte van gras af. De richtingscoëfficiënten van de modelparameters zijn in Tabel 4.14 weergegeven.

Model 5: K 2011 en 2012, eerste snede; N=551

Response variabele:	I(kalium)
Fixed model:	Constant + IDOY + IP_PAE + IK + IMg + INgift + INdmw + IKgift + IDOY.INgift + ratio + IOpb + IN_Tot + INgift.IN_Tot + IK.IKgift + IMg.IKgift + IPH + CEC + IPH.CEC
Random model	locatie.Jaar

Tabel 4.13. Bodem- en bemestingsfactoren die een significant effect hebben op het kaliumgehalte van de eerste snede van 2011 en 2012 op basis van het telkens weglaten van 1 term uit het volledige model.

Variabelen	<i>p</i>
IP_PAE	<0,001
INdmw	0,002
IDOY.INgift	0,001
ratio	<0,001
IOPb	0,023
INgift.IN_Tot	<0,001
IK.IKgift	<0,001
IMg.IKgift	<0,001
IPH.CEC	0,004

* het hoofdeffect van IK, IKgift, INgift, IDOY en N_Tot is niet weergegeven, omdat bij deze parameters de interactietermen significant zijn.

Tabel 4.14. De richtingscoëfficiënt (rc) en de standaardafwijking (se) van model 5.

Model 5	eerste snede	
Parameter	rc	se
Constant	-16,22	4,855
IDOY	2,891	0,9499
IP_PAE	0,1524	0,0305
IK	0,5697	0,03287
IMg	-0,2604	0,05193
INgift	3,617	0,9627
INdmw	0,01449	0,004767
IKgift	0,2013	0,02581
IDOY.INgift	-0,623	0,19284
ratio	0,01045	0,001253
IOPb	0,08661	0,037963
IN_Tot	0,1598	0,1092
INgift.IN_Tot	-0,06191	0,015452
IK.IKgift	-0,07487	0,005603
IMg.IKgift	0,03673	0,004002
IPH	0,6412	0,31173
CEC	0,005567	0,0016181
IPH.CEC	-0,002897	0,0009999

4.2.5 K-opbrengst, CEC en K-PAE

Het K-gehalte is verklaard uit bodem- en bemestingsparameters. Dit resulteerde in Model 6. Zodra CEC als modelparameter wordt meegenomen zijn OS en lutum niet langer relevant. Model heeft 84,9% verklaarde variantie. De random factor (Locatie.perceel) verklaarde ongeveer 60,3% van de variantie. De modelfactoren verklaarden 25,6% van de resterende variantie. De significanties van de modelparameters

zijn in Tabel 4.15 weergegeven. Daarbij is er een significante interactie tussen Kgift en Mg en tussen Kgift en K. Meer Mg in de bodem werkt negatief op de K-opbrengst (hetgeen ook verwacht mag worden), bij een vergelijkbare Kgift neemt de K-opbrengst af bij een stijgend Mg-gehalte in de grond. Naarmate de K-toestand hoger is neemt het effect van een Kgift op de K-opbrengst van gras af. De richtingscoëfficiënten van de modelparameters zijn in Tabel 4.16 weergegeven.

Model 6: K 2011 en 2012, eerste snede; N=548	
Response variabele:	l(Kopbrengst)
Fixed model:	Constant + IDOY + IP_PAE + IK + IMg + INgift + IKgift + IPH + ICEC +ratio + + fKCa_gap + IDOY.INgift + IK.IKgift + IMg.IKgift + IPH.ICEC + INgift.fKCa_gap
Random model	locatie.Jaar

Tabel 4.15. Bodem- en bemestingsfactoren die een significant effect hebben op de K-opbrengst van de eerste snede van 2011 en 2012 op basis van het telkens weglaten van 1 term uit het volledige model.

Variabelen	<i>p</i>
IP_PAE	0,001
IDOY.INgift	<0,001
IK.IKgift	<0,001
IMg.IKgift	<0,001
IPH.ICEC	<0,001
INgift.fKCa_gap	<0,001
ratio	<0.001

* het hoofdeffect van IK, IPH, IKgift, INgift en IDOY is niet weergegeven, omdat bij deze parameters de interactietermen significant zijn.

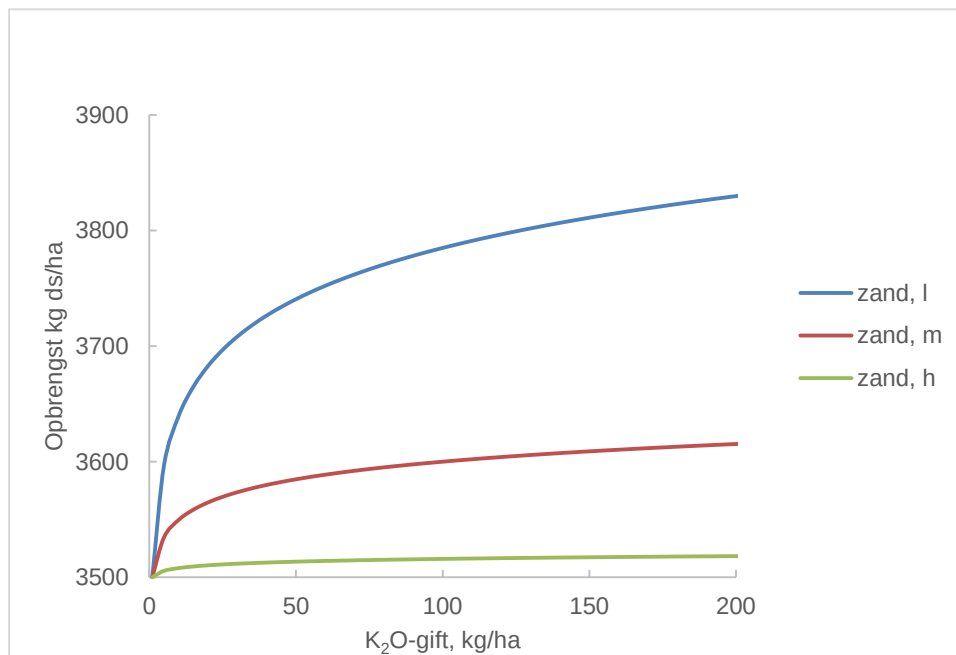
Tabel 4.16. De richtingscoëfficiënt (rc) en de standaardafwijking (se) van model 6.

Model 6	eerste snede	
Parameter	rc	se
Constant	-56,79	7,083
IDOY	8,921	1,3036
IP_PAE	0,1352	0,0418
IK	0,7074	0,04989
IMg	-0,2958	0,07784
INgift	6,095	1,2955
IKgift	0,242	0,03634
IPH	8,015	1,3235
ICEC	2,498	0,4378
ratio	0,01249	0,001784
IDOY. Ngift	-1,147	0,2644
IK.IKgift	-0,08459	0,007738
IMg.IKgift	0,0397	0,005754
IPH.ICEC	-1,485	0,2491
fKCa_gap	1,97	0,6067
INgift.fKCa_gap	-0,4849	0,12597

4.3 Naar een K-bemestingsadvies voor de eerste snede.

Voor het opstellen van een kalibemestingsadvies voor de eerste snede wordt op basis van model 1 een bemestingsadvies worden afgeleid. Ook op basis van model 3 kan een bemestingsadvies worden afgeleid, hetgeen van belang is voor laboratoria die nog geen CEC kunnen meten.

Met behulp van model 1 en Tabel 4.10 kan berekend worden hoeveel kalibemesting met mest en kunstmest bijdraagt aan de grasopbrengst. Zoals in Figuur 4.2 te zien is neemt de respons op K-bemesting af naarmate de gift hoger wordt en de K-toestand hoger is. Bemesting met kalium blijft bedrijfseconomisch interessant zolang de financiële meeropbrengst aan gras hoger is dan de prijs die kunstmestkali moet worden betaald (strooikosten worden buiten beschouwing gelaten). De prijs van kunstmestkali is in 2008 en 2009 zelfs tot bijna 1€ per kg K₂O gestegen. De laatste 3 jaren beweegt de kaliprijs zich tussen 0,6 en 0,66 € per kg K₂O. De waarde van gras varieert eveneens, tussen globaal 15 tot 20 cent per kg ds. Op basis van deze gegevens moet 1 kg K₂O 3 tot 4,4 kg drogestofopbrengst opleveren. In overleg met de CBGV is uitgegaan van een gemiddelde meeropbrengst van minimaal 4 kg ds/K₂O.



Figuur 4.2. De respons op K-bemesting bij een streefopbrengst van 3500 kg ds/ha (zonder K-bemesting) voor zandgrond met een lage (l), mediane (m) en hoge (h) KPAE en CEC.

Afleiding advies gebaseerd op CEC en KPAE

In model 1 zijn de parameters IK_{gift}, ICEC, IK en de interacties tussen K_{gift} en ICEC, en IK_{gift} en IK sturend voor het effect van K-bemesting op de opbrengst. De overige modelparameters zijn van invloed op het opbrengstniveau, gegeven een bepaalde groeiduur en stikstofgift maar zijn niet van invloed op het effect van K-bemesting op de opbrengst. Voor de afleiding van het advies is model 1 herschreven tot:

$$I(\text{opbrengst}) = \text{Constant} + IK_{\text{gift}} + ICEC + IK + IK_{\text{gift}} \cdot ICEC + IK_{\text{gift}} \cdot IK \quad (\text{vgl. 1})$$

waarbij de bijdrage van de overige parameters geparameteriseerd zijn zodat de gewenste streefopbrengst wordt bereikt bij een nul-K bemesting (opgenomen in de constante). Voor een K_{gift} van 1

eenheid reduceert de vergelijking daarmee tot

$$I(\text{opbrengst})_{K_{\text{gift}_1}} = (C + \text{ICEC} + \text{IK}) \quad (\text{vgl. 2})$$

Door vergelijking 1 en 2 te combineren met het criterium voor de gemiddelde meeropbrengst van 4 kg ds per kg kalium, Kcrit, ontstaat de volgende vergelijking

$$K_{\text{crit}} = 4 = \text{EXP}(I(\text{opbrengst}) - I(\text{opbrengst}_{K_{\text{gift}_1}})/K_{\text{gift}} \quad (\text{vgl. 3})$$

Vervolgens wordt vergelijking 3 iteratief opgelost voor diverse combinaties van CEC en K en streefopbrengsten ($\text{opbrengst}_{K_{\text{gift}_1}}$) van 1700, 3500 en 5000 kg ds ha⁻¹. Dit leverde een dataset op welke statistisch is geanalyseerd om de berekende (op iteratieve wijze verkregen) K-gift te verklaren uit CEC, K en ds-opbrengst en wel volgens onderstaande relatie:

$$I(K_{\text{gift}}) = \text{Constant} + I(\text{ds-opbrengst}) + K + \text{IK} + \text{CEC} + \text{ICEC} + K \cdot \text{ICEC} \quad n=139, \quad R^2 = 99,8\% \quad (\text{vgl. 4})$$

waarbij de modelresultaten in Tabel 4.17 zijn weergegeven. In Tabel 4.18 zijn voor verschillende opbrengstniveaus de adviezen weergegeven op basis van Tabel 4.17. Daarbij is afgerond op tientallen.

Tabel 4.17. Modelresultaten $\ln(K\text{-adviesgift})$ op basis van CEC en K-PAE ($R^2 = 99,8\%$).

Parameter	rc.	s.e.	t(139)	t pr.
Constant	-6,973	0,140	-49,95	<,001
I(ds-opbrengst)	1,30572	0,00708	184,49	<,001
K	-0,08551	0,00256	-33,38	<,001
IK	0,5264	0,0538	9,79	<,001
CEC	-0,001607	0,000103	-15,59	<,001
ICEC	0,1275	0,0163	7,80	<,001
K.ICEC	0,010836	0,000358	30,24	<,001

Van belang is om te weten hoe het opbrengstadvies uitpakt voor de K-gehalten van gras. Daartoe is op basis van Tabel 4.17 en vgl 4 voor een grote dataset (2870 grasland grondmonsters) berekend wat het advies is bij 1700, 3500 en 5000 kg ds/ha. De aldus berekende K-giften vormden te samen met de overige gegevens van de grote dataset de input voor de berekening van het kaliumgehalte in gras met model 5. Toepassing van het advies op deze set gegevens (Tabel 4.19) laat zien dat de adviezen voor een weidesnede gemiddeld laag zijn en dat ongeveer 80% van de monsters meer dan 30 g K/kg ds bevat. Voor een maaisnede en zeer zware maaisnede wordt gemiddeld 42 en 66 kg K₂O per ha geadviseerd. De K-gehalten bevinden zich daarbij op een goed niveau. In minder dan 10% van de gevallen was het K-gehalte lager dan 20 g/kg ds, hetgeen een criterium is voor te lage K-gehalten (Whitehead, 2000).

Tabel 4.18. Voorbeeld kali-adviezen op grasland op basis van vergelijking 4 en Tabel 4.17.

K-PAE	CEC	Doelopbrengst eerste snede kg ds/ha			
		4500	3500	2500	1700
30	120	180	130	80	50
30	60	150	110	70	40
30	40	130	90	60	40
40	200	180	130	80	50
40	120	150	110	70	40
40	60	110	80	50	30
40	40	90	70	40	30
50	300	170	120	80	50
50	150	140	100	60	40
50	90	110	80	50	30
50	60	80	60	40	20
50	40	70	50	30	20
60	300	150	110	70	40
60	200	130	90	60	40
60	120	100	70	40	30
60	90	80	60	40	20
60	60	60	40	30	20
60	40	50	30	20	10
70	400	140	100	60	40
70	200	100	70	50	30
70	120	70	50	30	20
70	60	40	30	20	10
85	400	110	80	50	30
85	200	70	50	30	20
85	120	50	40	20	10
85	60	30	20	10	10
100	500	100	70	50	30
100	300	70	50	30	20
100	150	40	30	20	10
100	90	20	20	10	10
125	500	70	50	30	20
125	300	50	30	20	10
125	200	30	20	10	10
125	120	20	10	10	0
150	500	50	40	20	10
150	300	30	20	10	10
150	200	20	10	10	0
175	500	30	20	20	10
175	300	20	10	10	0
225	500	20	10	10	0
225	300	10	0	0	0

Tabel 4.19. De berekende K-gehalten voor een dataset met 2870 graslandmonsters.

	K-CaCl ₂ g/kg ds	CEC mmol(+)/kg	K-gift kg K ₂ O/ha			K-gehalte g kg/ds		
gemiddeld	128	216	17	42	66	25	29	29
derde kwartiel*	162	310	26	66	105	28	32	32
tweede kwartiel*	104	215	12	29	45	24	28	28
eerste kwartiel*	70	96	4	10	15	21	24	24
min	12	12	1	1	1	9	12	11
max	864	637	62	157	249	96	107	108
Naïft						70	100	120
ds-opbrengst			1700	3500	5000	1700	3500	5000

* voor de eerste, tweede en derde kwartielwaarde voor K-CaCl₂ en CEC zelf wordt bij een opbrengst van 3500 een gift van respectievelijk 47, 29 en 18 kg K₂O/ha berekend.

Afleiding advies gebaseerd op Lutum, OS en K-PAE

Voor model 3 kan een vergelijkbare aanpak als voor model 1 worden gevolgd. Voor de afleiding van het advies wordt model 3 herschreven tot:

$$I(\text{opbrengst}) = \text{Constant} + I\text{Kgift} + \text{IOS} + I\text{K} + I\text{Kgift} \cdot I\text{Lutum} + I\text{Kgift} \cdot \text{IOS} + I\text{Kgift} \cdot I\text{K} \quad (\text{vgl. 5})$$

waarbij de bijdrage van de overige parameters geparameteriseerd zijn zodat de gewenste streefopbrengst wordt bereikt bij een nul-K bemesting (opgenomen in de constante). Voor een Kgift van 1 eenheid reduceert de vergelijking daarmee tot

$$I(\text{opbrengst})_{\text{Kgift}_1} = (C + \text{IOS} + I\text{K} + I\text{Lutum}) \quad (\text{vgl. 6})$$

Door vergelijking 5 en 6 te combineren met het criterium voor de gemiddelde meeropbrengst van 4 kg ds per kg kalium, Kcrit, ontstaat de volgende vergelijking

$$\text{Kcrit} = 4 = \text{EXP}(I(\text{opbrengst}) - I(\text{opbrengst})_{\text{Kgift}_1}) / \text{Kgift} \quad (\text{vgl. 7})$$

Vervolgens wordt vergelijking 7 iteratief opgelost voor diverse combinaties van Lutum, OS, K en streefopbrengsten ($\text{opbrengst}_{\text{Kgift}_1}$) van 1700, 3500 en 5000 kg ds ha⁻¹. De interactie tussen lutum en Kgift was zwak in model 3. Daarom zijn voor Lutum maar twee niveaus aangehouden van 5% en 30%, zijnde representatief voor zand- en kleigrond. Dit leverde twee datasets op die statistisch zijn geanalyseerd waarbij de berekende (op iteratieve wijze verkregen) K-gift verklaard wordt uit OS, K en ds-opbrengst en wel volgens onderstaande relaties:

$$I(\text{Kgift}) = \text{Constant} + I(\text{ds-opbrengst}) + K + I\text{K} + \text{OS} + \text{IOS} + K \cdot \text{IOS}$$

met voor lutum=5%, n=133, $R^2 = 99,8\%$ (vgl. 8a)

met voor lutum=30%, n=108, $R^2 = 99,7\%$ (vgl. 8b)

waarbij de modelresultaten in Tabel 4.20a en b zijn weergegeven. In Tabel 4.21 zijn voor verschillende opbrengstniveaus de adviezen weergegeven op basis van Tabel 4.20a en b. Daarbij is afgerond op tientallen. De Tabellen 4.17 en 4.20 dienen als basis voor het advies (zie Bijlage 3).

Tabel 4.20a. Modelresultaten ln(K-adviesgift) op basis van OS en K-PAE ($R^2 = 99,7\%$), voor lutum is 30%.

Parameter	rc.	s.e.	t(139)	t pr.
Constant	-6,892	0,226	-30,52	<,001
I(opbrengst)	1,30372	0,00908	143,55	<,001
K	-0,06326	0,00257	-24,62	<,001
IK	0,6381	0,0824	7,75	<,001
OS	-0,02449	0,00203	-12,04	<,001
IOS	0,1675	0,0228	7,33	<,001
K.IOS	0,012038	0,000568	21,18	<,001

Tabel 4.20b. Modelresultaten ln(K-adviesgift) op basis van OS en K-PAE ($R^2 = 99,7\%$), voor lutum is 5%.

Parameter	rc,	s,e,	t(139)	t pr.
Constant	-5,939	0,156	-38,15	<,001
lopb	1,29002	0,00709	182,06	<,001
K	-0,04243	0,00152	-27,99	<,001
IK	0,2903	0,0533	5,45	<,001
OS	-0,01843	0,00142	-12,97	<,001
IOS	0,2011	0,0156	12,88	<,001
K.IOS	0,008096	0,000337	24,01	<,001

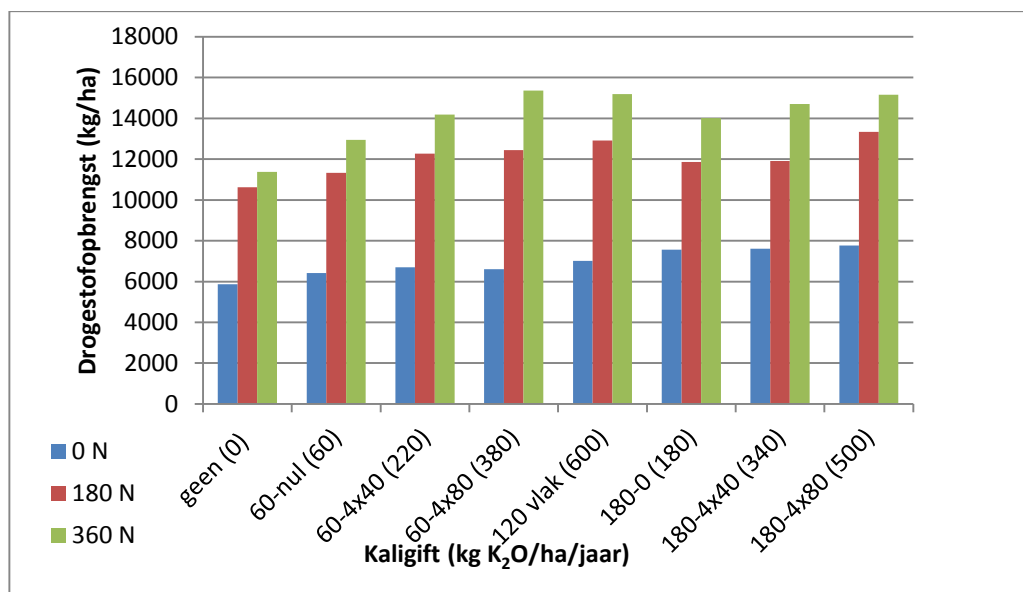
Tabel 4.21. Voorbeeld kali-adviezen op grasland op basis van vergelijking 7 en Tabel 4.20a en b.

K-PAE mg/kg	OS %	Lutum=30%				Lutum =5%			
		Ds-opb kg/ha				Ds-opb kg/ha			
		4500	3500	2500	1700	4500	3500	2500	1700
30	6	170	120	80	50	200	150	90	60
30	4	150	110	70	40	180	130	80	50
30	2	110	80	50	30	130	100	60	40
40	9	160	120	80	50	200	140	90	60
40	6	140	100	60	40	170	120	80	50
40	4	110	80	50	30	140	100	70	40
40	2	70	50	30	20	100	70	50	30
50	12	150	110	70	40	180	130	90	50
50	9	130	90	60	40	160	120	80	50
50	6	100	70	50	30	130	100	60	40
50	4	80	60	40	20	110	80	50	30
50	3	70	50	30	20	90	70	40	30
60	15	140	100	60	40	170	120	80	50
60	12	120	90	60	30	150	110	70	40
60	9	100	70	50	30	130	100	60	40
60	6	80	60	40	20	110	80	50	30
60	4	60	40	30	20	80	60	40	20
60	3	40	30	20	10	70	50	30	20
70	20	130	100	60	40	170	120	80	50
70	12	100	70	50	30	130	90	60	40
70	6	60	40	30	20	80	60	40	20
70	4	40	30	20	10	60	50	30	20
85	30	130	90	60	40	160	110	70	50
85	20	100	70	50	30	130	100	60	40
85	12	70	50	30	20	100	70	50	30
85	6	30	20	20	10	60	40	30	20
100	30	100	70	50	30	130	100	60	40
100	20	70	50	30	20	110	80	50	30
100	12	40	30	20	10	70	50	30	20
100	6	20	10	10	10	40	30	20	10
125	40	80	60	40	20	120	80	50	30
125	25	60	40	30	20	90	60	40	20
125	20	40	30	20	10	70	50	30	20
125	12	20	20	10	10	40	30	20	10
150	40	60	40	30	20	90	60	40	30
150	25	30	20	20	10	60	40	30	20
150	12	10	10	10	0	30	20	10	10
175	40	40	30	20	10	70	50	30	20
175	20	10	10	10	0	30	20	10	10
200	40	30	20	10	10	50	40	20	10
225	40	20	10	10	10	40	30	20	10

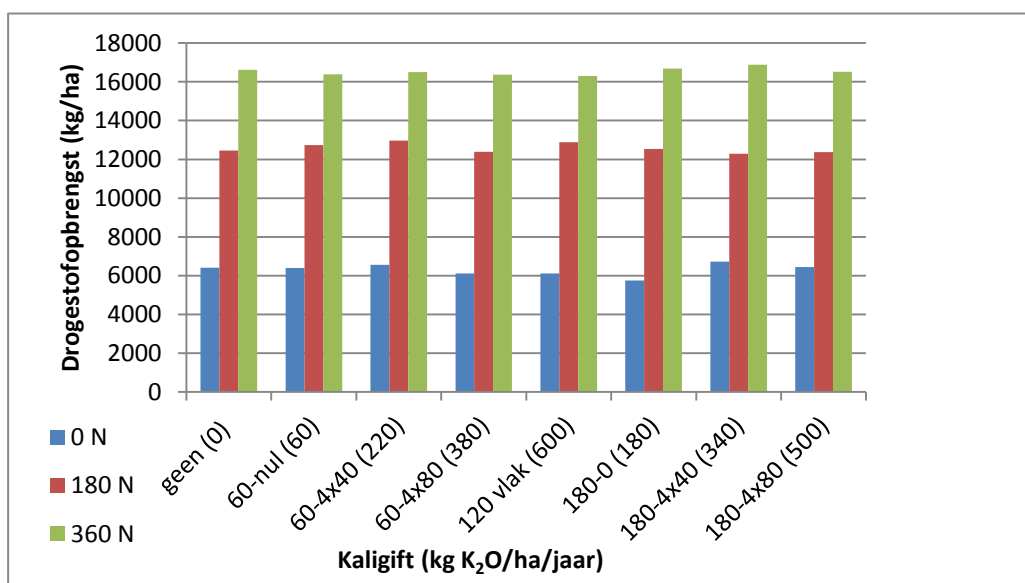
5 Resultaten detailproeven

5.1 De detailproeven

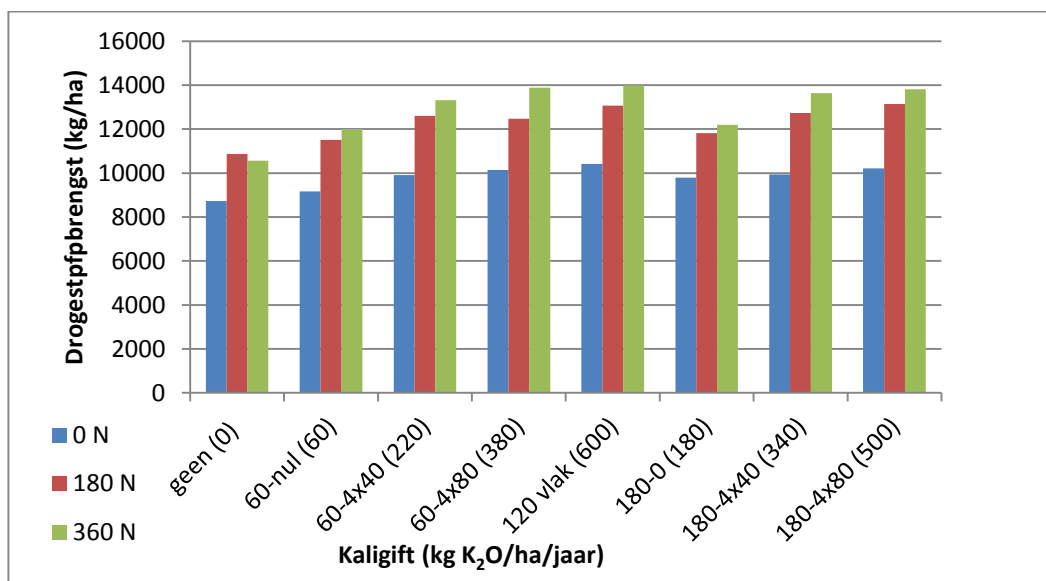
In de Figuren 5.1 tot en met 5.3 zijn drogestofopbrengsten weergegeven van de 3 locaties (gemiddelde over 2 herhalingen en 2 proefjaren), gegroepeerd per N jaargift (0N, 180N en 320N). Op de X-as staat de verdeling van de kaligift en tussen haakjes de totale kaligift (kg K₂O/ha). Het zijn de gegevens van het maai (M) deel. De drogestofopbrengsten per jaar zijn weergegeven in Bijlage 2. De beide proefjaren blijken niet veel van elkaar te verschillen.



Figuur 5.1. Drogestofopbrengst per jaar (gemiddeld 2011 en 2012) op zandgrond bij 8 K-niveaus en 3 N-niveaus.



Figuur 5.2. Drogestofopbrengst per jaar (gemiddeld 2011 en 2012) op kleigrond bij 8 K-niveaus en 3 N-niveaus.



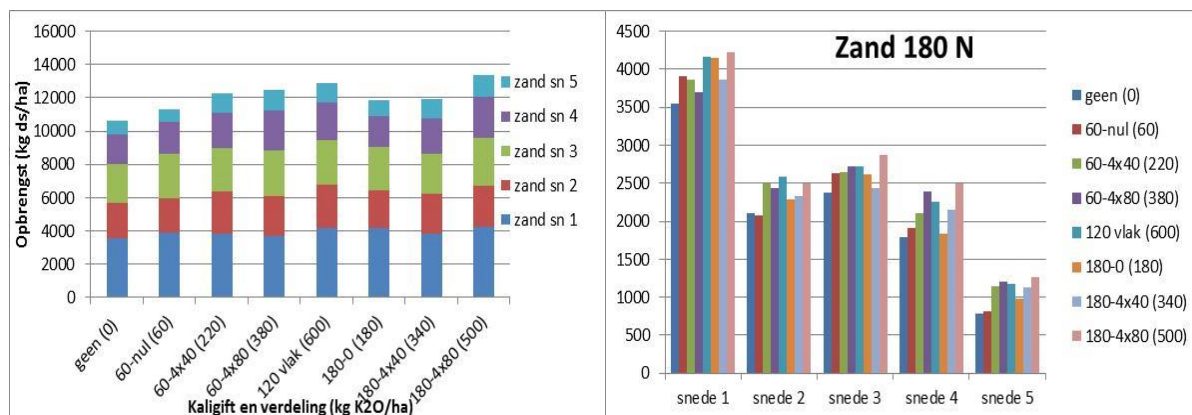
Figuur 5.3. Drogestofopbrengst per jaar (gemiddeld 2011 en 2012) op veengrond bij 8 K-niveaus en 3 N-niveaus.

Het effect van N was op alle locaties duidelijk: een hogere N-gift gaf een hogere drogestofopbrengst. De opbrengst zonder N en K₂O was vergelijkbaar op zand en klei, ca. 6 ton ds/ha, en op veen hoger, ca. 8 ton ds/ha, (mede) door de hogere N-mineralisatie op veen. De respons op N-bemesting was het sterkst op klei: de opbrengst nam ca. 10 ton ds/ha toe met 320 kg N/ha. Op zand ca. 5 ton ds/ha en op veen ca. 2 ton ds/ha.

Bij 0N is de kalirespons het hoogst op zand, ca. 2 ton ds/ha met 500 kg K₂O/ha, op veen ca. 1,5 ton ds/ha en op klei is er (vrijwel) geen respons op K₂O. Ook op de overige N-trappen is het kali-effect op zand het grootst en op klei het kleinst.

De objecten met 340 en 380 kg K₂O per ha hebben een op jaarbasis een vergelijkbare kali-gift maar de verdeling van de kali verschilt: de kali bij de 340 gift wordt vooral in het voorjaar gegeven, 180 kg K₂O/ha voor de eerste snede en dan in een vlakke verdeling gegeven met 40 kg K₂O/ha per snede, terwijl bij de gift van 380 kg K₂O de eerste snede 60 en de laatste 4 sneden steeds 80 kg K₂O/ha is gegeven. Bij 0N is de opbrengst op zand met 340 kg K₂O/ha hoger dan met 380 kg K₂O/ha. Blijkbaar is de voorjaarsbemesting belangrijk voor de drogestofopbrengst. Dit wordt mede onderbouwd door het object met 180 kg K₂O/ha bij 0N op zand en veen te vergelijken met 220 kg K₂O/ha en 0N. De 180 kg K₂O is in één keer toegediend, in het voorjaar voor de eerste snede en de 220 kg K₂O is verdeeld met 60 kg K₂O in de eerste snede en 4 keer 40 kg K₂O in de overige sneden. Het object met 180 kg K₂O in de eerste snede heeft een hogere drogestofopbrengst dan met 220 kg K₂O over het hele jaar. In de discussie zal verder ingegaan worden op de verdeling van K₂O over de eerste en volgende sneden.

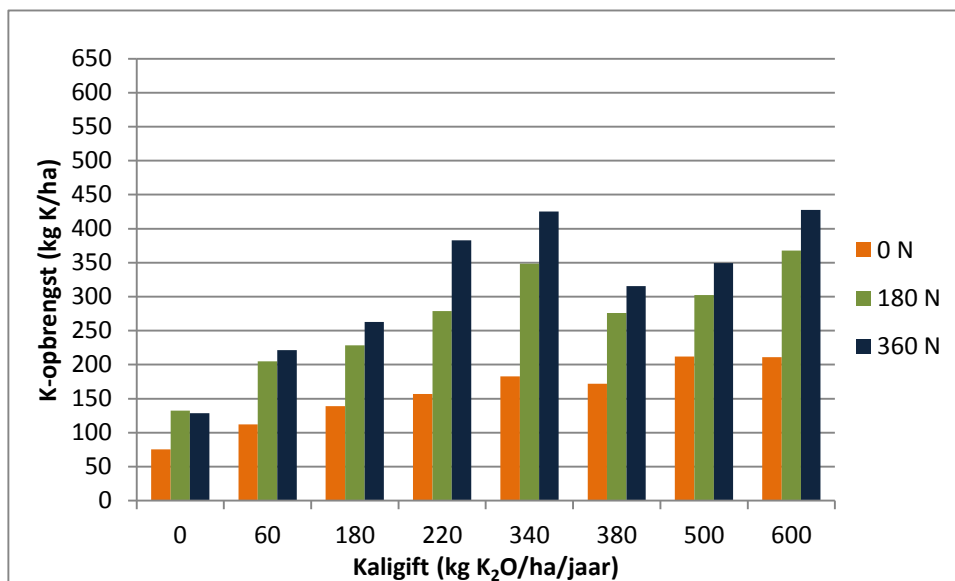
Om te illustreren hoe de drogestofopbrengst verdeeld is over het jaar, is voor de situatie zand bij 180 kg N/ha per snede weergegeven, zowel in een cumulatieve grafiek, als in een overzicht per snede.



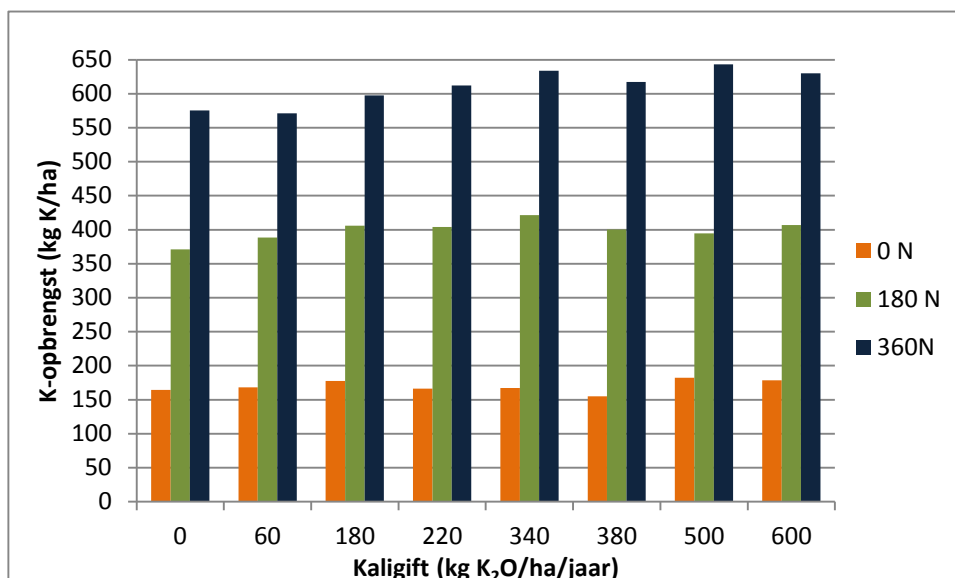
Figuur 5.4. Effect verdeling kaligift over de sneden op de opbrengst op zand bij een N-jaargift van 180 kg N/ha

In de linker grafiek van Figuur 5.4 zijn de cumulatieve snedeopbrengsten weergegeven voor 8 kalijsaargiften met de bijbehorende verdeling. In de rechter grafiek zijn de individuele sneden weergegeven, de tweede tot en met de vierde balk geven de gift met 60 kg K₂O/ha in de eerste snede weer. De eerste snede van deze objecten heeft een gelijke kaligift ontvangen. Bij gelijke kaligiften blijkt echter een behoorlijke spreiding in opbrengst op te treden.

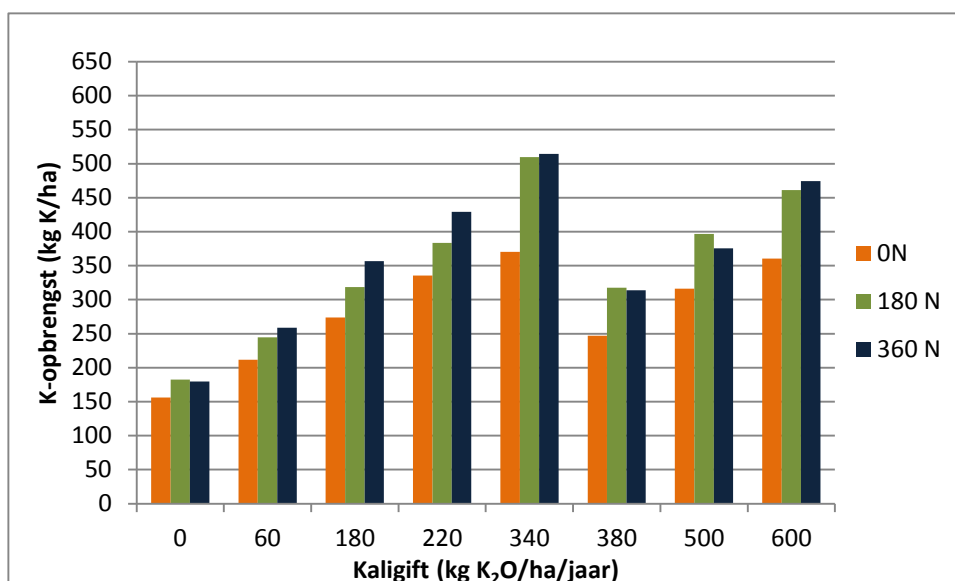
Hogere kaligiften hebben niet altijd geleid tot hogere jaaropbrengsten (in kg ds), maar leiden wel tot hogere K-gehalten en daarmee tot een hogere K-opbrengst. De K-opbrengsten zijn in Figuur 5.5 tot en met 5.7 weergegeven.



Figuur 5.5. Kaliumopbrengst per jaar (gemiddeld 2011 en 2012) op zandgrond bij 8 K-niveaus en 3 N-niveaus.



Figuur 5.6. Kaliumopbrengst per jaar (gemiddeld 2011 en 2012) op kleigrond bij 8 K-niveaus en 3 N-niveaus.



Figuur 5.7. Kaliumopbrengst per jaar (gemiddeld 2011 en 2012) op veengrond bij 8 K-niveaus en 3 N-niveaus.

De verschillen in K-opbrengst tussen de locaties (grondsoorten), N-jaargiften en K-giften (en verdeling) zijn vrij groot. Op klei zijn de K-opbrengsten overall het hoogst en zijn de verschillen tussen de K-giften kleiner dan op de andere grondsoorten. Op de zandgrond werden gemiddeld de laagste K-opbrengsten gevonden.

De verschillen in verdeling van de totale K-gift over de sneden komen in de K-opbrengst bij 340 en 380 kg K₂O/ha nog duidelijker naar voren dan bij de drogestofopbrengst. Bij de 340 kg K₂O-behandeling de K-gift voor de eerste snede hoger is (180 kg K₂O/ha) dan op de 380 kg K₂O-behandeling (60 kg K₂O/ha) en is de K-opname op de lager bemeste behandeling toch hoger.

5.2 Analyse drogestofopbrengst

Zoals in Hoofdstuk 2 is aangegeven is de analyse uitgevoerd op de cumulatieve drogestofopbrengst vanaf snede 1. Er is gekeken naar de factoren:

- Ntrap (0, 180 of 320 kg N/ha); is Ntrap 0, Ntrap 1 en Ntrap 2
- Cumulatieve K-gift
- Grondsoort
- Opbrengst in maai of weidestadium (snede 1: M of W)

en eventuele interacties van bovenstaande factoren.

De uitkomst van de REML analyse is weergegeven in Tabel 5.1.

Tabel 5.1. REML analyse cumulatieve drogestofopbrengst, Ntrap als factor met 3 niveaus.

Fixed term	Wald statistic	n.d.f.	F statistic	F pr
Grond	0,89	2	0,44	0,642
Ntrap	8171,93	2	4085,97	<0,001
IncumKgift	314,86	1	314,86	<0,001
MW.fsnede	7597,46	5	1519,49	<0,001
grond.Ntrap	1920,33	4	480,08	<0,001
grond.IncumKgift	120,7	2	60,35	<0,001
MW.fsnede.grond	461,07	10	46,11	<0,001
MW.fsnede.Ntrap	800	10	80	<0,001
MW.fsnede.IncumKgift	25,65	5	5,13	<0,001

In Tabel 5.1 zijn de significante factoren en interacties weergegeven.

Om de respons op stikstof en kali te kunnen berekenen, is met REML een model ontwikkeld dat de drogestofopbrengst bij verschillende grondsoorten, N-trappen, sneden en kaligiften schat. Het model voor een jaaropbrengst met 5 (maai)sneden is voor de 3 grondsoorten:

Zand (R^2 volledig model : 95,5%, fixed model: 38,8%):

(Ntrap 0) DSopbrengst = $\text{EXP}(7,786 + 0,041045 \cdot \text{LN}(\text{cum. Kgift}+1) + 0,8639)$

(Ntrap 1) DSopbrengst = $\text{EXP}(7,786 + 0,041045 \cdot \text{LN}(\text{cum. Kgift}+1) + 1,4109)$

(Ntrap 2) DSopbrengst = $\text{EXP}(7,786 + 0,041045 \cdot \text{LN}(\text{cum. Kgift}+1) + 1,544)$

Klei (R^2 volledig model : 99,5%, fixed model: 49,5%):

(Ntrap 0) DSopbrengst = $\text{EXP}(7,786 + 0,003415 \cdot \text{LN}(\text{cum. Kgift}+1) + 0,9686)$

(Ntrap 1) DSopbrengst = $\text{EXP}(7,786 + 0,003415 \cdot \text{LN}(\text{cum. Kgift}+1) + 1,6271)$

(Ntrap 2) DSopbrengst = $\text{EXP}(7,786 + 0,003415 \cdot \text{LN}(\text{cum. Kgift}+1) + 1,893)$

Veen (R^2 volledig model : 98,3%, fixed model: 11,5%):

(Ntrap 0) DSopbrengst = $\text{EXP}(7,786 + 0,036135 \cdot \text{LN}(\text{cum. Kgift}+1) + 1,2598)$

(Ntrap 1) DSopbrengst = $\text{EXP}(7,786 + 0,036135 \cdot \text{LN}(\text{cum. Kgift}+1) + 1,4407)$

(Ntrap 2) DSopbrengst = $\text{EXP}(7,786 + 0,036135 \cdot \text{LN}(\text{cum. Kgift}+1) + 1,4703)$

De R^2 van de volledige modellen (inclusief random) is relatief hoog omdat de afwijking per plot nauwkeurig ingeschat kon worden want iedere plot komt 5 maal voor in de dataset (5 sneden).

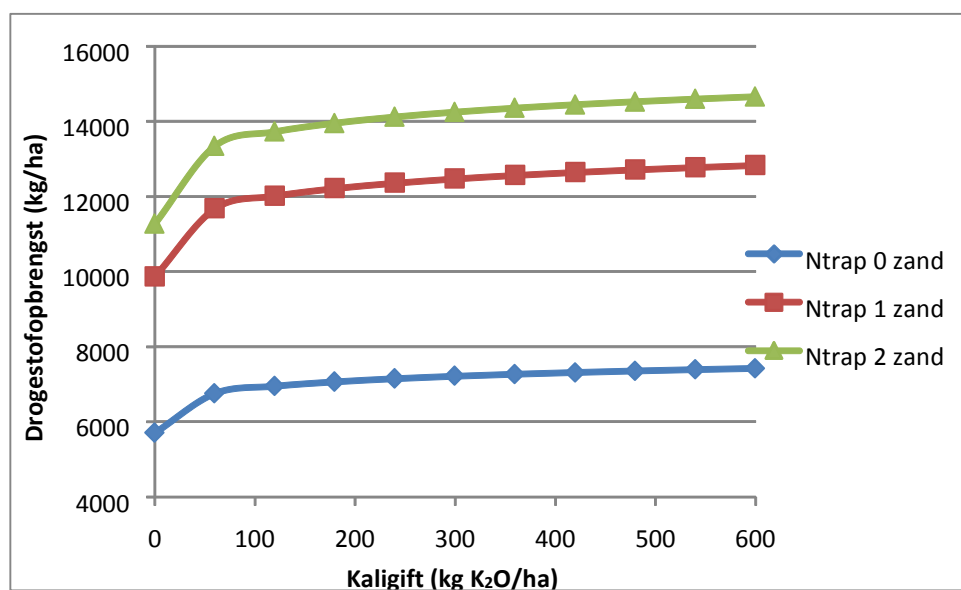
Grondsoort heeft een effect op het niveau van de jaaropbrengst, maar dit is niet significant. Omdat het effect van de grondsoort als interactie met andere factoren wel significant is, is de hoofdfactor grond toch in het model meegenomen. Klei geeft de hoogste opbrengst, veen de laagste. Het effect van de K-gift op de opbrengst verschilt per grondsoort. De respons is op veen en zand ongeveer gelijk, op klei is de respons lager.

Uiteraard heeft het effect van Ntrap op de opbrengst: een hogere gift geeft een hogere opbrengst. De respons op N is grondsoort afhankelijk: op klei het hoogst, op veen het laagst. Omdat de drie N-niveaus als factoren zijn opgenomen in het model, is de respons op de N-bemesting niet continue gemodelleerd. De laatste term in de formules geeft de verschillen in drogestofopbrengst tussen de N-niveaus aan. Het verschil tussen Ntrap 0 en Ntrap 1 is op alle grondsoorten groter dan tussen Ntrap 1 en Ntrap 2. Er is sprake van afnemende meeropbrengst. Het effect van Ntrap is het hoogst op klei en het laagst op veen. Er is geen interactie tussen K-gift en N-trap gevonden in de analyse.

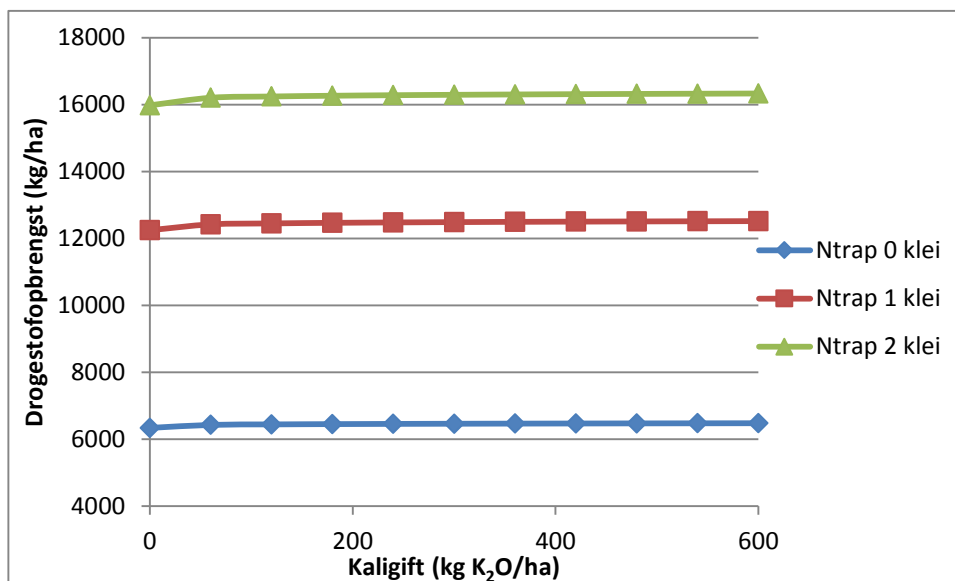
In het model zijn 3-weg interacties opgenomen. Zij bevatten cumulatief snedenummer (fsnede) en het gebruik van de snede (doelopbrengst is maaaien of weiden; MW). Het model schat alleen voor snede 1 het verschil tussen M en W, omdat dit verschil alleen maar in de eerste snede is aangelegd. In de eerste snede geeft W (uiteraard) een lagere opbrengst omdat de W plots eerder gemaaid zijn dan de M plots. Het verschil tussen M en W (interactie MW.grond.fsnede) is op zand het laagst en op klei het hoogst. Dit niveau-effect is een gevolg van de schatting wanneer een doel-opbrengst was bereikt en de eerste snede gemaaid werd.

Per snede was de respons op stikstof niet gelijk (interactie MW.fsnede.Ntrap). Gemiddeld is het N-effect in de tweede snede relatief laag en in de latere sneden hoger dan tot en met de tweede snede (analyse niet weergegeven).

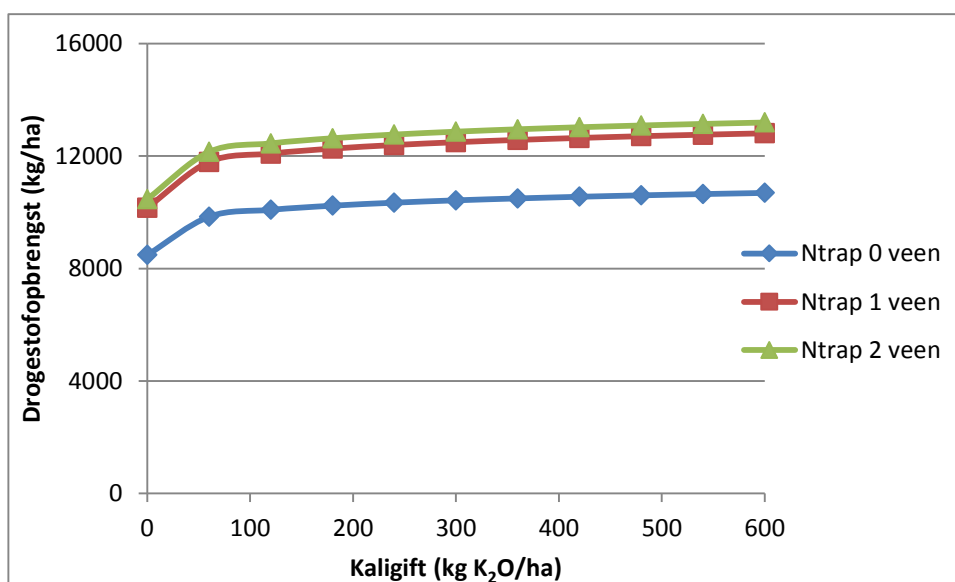
De respons op de kalibemesting is cumulatief geanalyseerd in het model (zie hoofdstuk 2). De respons op de kalibemesting was in de eerste snede bij W lager dan bij M. Verder is het effect van de kalibemesting in snede 1 het grootst ten opzichte van de andere sneden, het effect tot en met snede 3 was het laagst.



Figuur 5.8. Gemodelleerd effect van kaligift per jaar op de drogestofopbrengst per jaar op zandgrond.



Figuur 5.9. Gemodelleerd effect van kaligift per jaar op de drogestofopbrengst per jaar op kleigrond.



Figuur 5.10. Gemodelleerd effect kaligift per jaar op de drogestofopbrengst per jaar op veengrond.

De effecten op de opbrengst zijn in de figuren 5.8 tot en met 5.10 voor de grondsoorten zand, klei en veen grafisch weergegeven (op basis van bovenstaande formules). Het effect van kali is op klei klein (Figuur 5.8). Boven een gift van 60 kg K₂O is er (vrijwel) geen effect meer. Op veengrond (Figuur 5.9) en zandgrond (Figuur 5.10) geven de eerste kilo's kali het grootste effect, maar is nog een geringe meeropbrengst te verwachten bij hogere kaligiften (lijnen stijgen bij toenemende K-gift).

In bovenstaand model is de N-gift in trappen gemodelleerd. Om met N-trappen tussen 0 en 360 kg N/ha te kunnen rekenen, is er ook een model gemaakt, waarbij de N-gift continue is opgenomen. Uit de analyse bleek dat de Ngift² significant is, de N-respons is kleiner bij een hoger N-niveau (afnemende meeropbrengst), zoals al bleek in de analyse waarin N-gift als factor was opgenomen. Dit sluit aan bij

eerder onderzoek naar het effect van N-bemesting op grasgroei. De significante factoren staan in Tabel 5.2.

Tabel 5.2. REML analyse cumulatieve drogestofopbrengst, met continu N-niveau.

Fixed term	Wald statistic	d.f.	Wald/d.f.	chi pr
grond	4,96	2	2,48	0,084
CUMNGIFT	8264,28	1	8264,28	<0,001
IncumKgift	295,52	1	295,52	<0,001
CUMNGIFT2	2331,13	1	2331,13	<0,001
MW.fsnede	5406,7	5	1081,34	<0,001
grond.CUMNGIFT	1499,54	2	749,77	<0,001
grond.IncumKgift	114,31	2	57,15	<0,001
MW.fsnede.grond	696,74	10	69,67	<0,001
MW.fsnede.CUMNGIFT	1048,63	5	209,73	<0,001
MW.fsnede.IncumKgift	24,09	5	4,82	<0,001
grond.CUMNGIFT.IncumKgift	15,94	3	5,31	0,001
MW.fsnede.CUMNGIFT2	427,94	5	85,59	<0,001

De modellen (N continue) voor de drogestofopbrengst per jaar (alle 5 sneden maaien) als functie van kalijaargift en stikstofjaargift:

Zand (R^2 volledig model : 95,2%, fixed model: 38,1%):

$$\text{Dsopbrengst} = \text{EXP}(7,835 + 0,8874 + 0,007978 * \text{totNgift} + 0,035286 * \text{LN}(\text{totKaligift}+1) + 0,00006004 * \text{totNgift} * \text{LN}(\text{totKaligift}+1) - 0,00000421 * \text{totNgift}^2)$$

Klei (R^2 volledig model : 98,2%, fixed model: 47,9%):

$$\text{Dsopbrengst} = \text{EXP}(7,835 + 0,9251 + 0,008971 * \text{totNgift} + 0,009376 * \text{LN}(\text{totKaligift}+1) + 0,00000278 * \text{totNgift} * \text{LN}(\text{totKaligift}+1) - 0,00000421 * \text{totNgift}^2)$$

Veen (R^2 volledig model : 98,0%, fixed model: 11,2%):

$$\text{Dsopbrengst} = \text{EXP}(7,835 + 1,2212 + 0,00677 * \text{totNgift} + 0,032206 * \text{LN}(\text{totKaligift}+1) + 0,00005096 * \text{totNgift} * \text{LN}(\text{totKaligift}+1) - 0,00000421 * \text{totNgift}^2)$$

De R^2 van de volledige modellen (inclusief random) zijn relatief hoog omdat de afwijking per plot nauwkeurig ingeschat konden worden omdat iedere plot 5 maal voorkomt in de dataset (5 sneden). Deze modellen zijn gebruikt bij het afleiden van het K-advies voor de overige sneden. Dit wordt beschreven in het volgende hoofdstuk.

5.3 Analyse K-opbrengst

Het effect van de kaligiften op de K-opbrengst is eveneens getoetst met REML. De uitkomst van de analyse is weergegeven in Tabel 5.3.

Tabel 5.3. REML analyse cumulatieve K-opbrengst, N-niveau continu.

Fixed term	Wald statistic	n.d.f.	F statistic	d.d.f.	F pr
Grond	61,73	2	30,86	18,1	<,001
CUMNGIFT	6050,04	1	6050,04	28,0	<0,001
<i>IncumKgift</i>	746,72	1	746,72	14,0	<0,001
CUMNGIFT2	1629,53	1	1629,53	76,9	<0,001
MW.fsnede	1449,84	5	199,62	5,7	<0,001
grond.CUMNGIFT	787,94	2	391,05	102,6	<0,001
grond.IncumKgift	639,85	2	315,22	44,7	<0,001
MW.fsnede.grond	283,72	10	19,13	9,5	<0,001
MW.fsnede.CUMNGIFT	903,29	5	155,23	27,9	<0,001
grond.CUMNGIFT.IncumKgift	12,93	3	4,26	127,7	0,007
MW.fsnede.CUMNGIFT2	272,03	5	45,24	23,9	<0,001

Ten opzichte van het model dat de ds-opbrengst voorspelt/beschrijft, heeft het model voor de K-opbrengst één factor minder: er is geen interactie tussen kaligift, snedenummer (totaal aantal sneden) en het gebruik van de eerste snede.

De K-opbrengst bij 5 maaisneden wordt voor de 3 grondsoorten met de volgende modellen beschreven:

Zand (R^2 volledig model : 90,3%, fixed model: 47,6%):

$$\text{Dsopbrengst} = \text{EXP}(4,19 + 0,062 + 0,012864 * \text{totNgift} + 0,15123 * \text{LN}(\text{totKaligift}+1) + 0,00009365 * \text{totNgift} * \text{LN}(\text{totKaligift}+1) - 0,00000532 * \text{totNgift}^2)$$

Klei (R^2 volledig model : 98,7%, fixed model: 50,1%):

$$\text{Dsopbrengst} = \text{EXP}(4,19 + 0,915 + 0,01477 * \text{totNgift} + 0,01092 * \text{LN}(\text{totKaligift}+1) + 0,00001903 * \text{totNgift} * \text{LN}(\text{totKaligift}+1) - 0,00000532 * \text{totNgift}^2)$$

Veen (R^2 volledig model : 94,5%, fixed model: 22,9%):

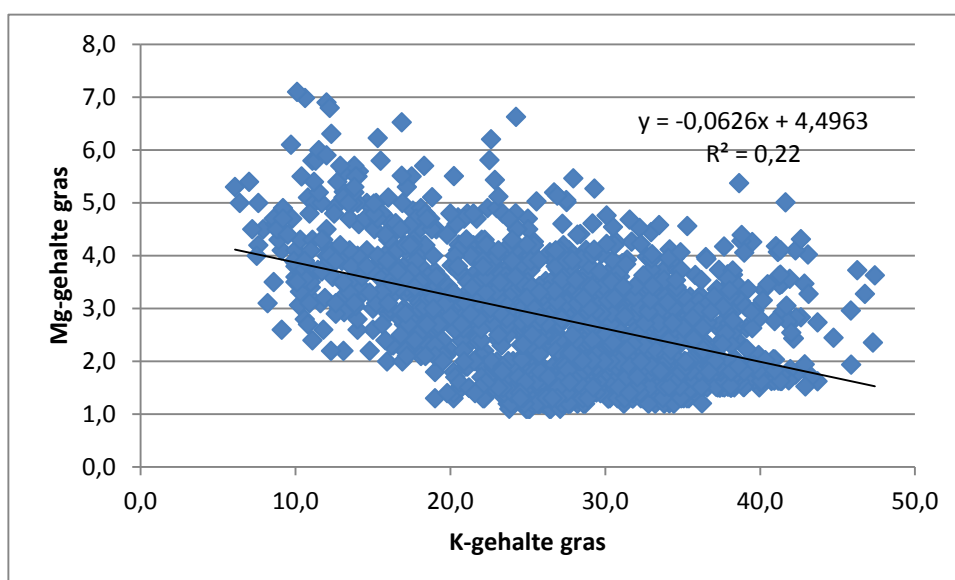
$$\text{Dsopbrengst} = \text{EXP}(4,19 + 0,7513 + 0,011492 * \text{totNgift} + 0,13249 * \text{LN}(\text{totKaligift}+1) + 0,0000926 * \text{totNgift} * \text{LN}(\text{totKaligift}+1) - 0,00000532 * \text{totNgift}^2)$$

De R^2 van de volledige modellen (inclusief random) zijn relatief hoog omdat de afwijking per plot nauwkeurig ingeschat konden worden omdat iedere plot 5 maal voorkomt in de dataset (5 sneden).

5.4 K-gehalte versus Mg-gehalte

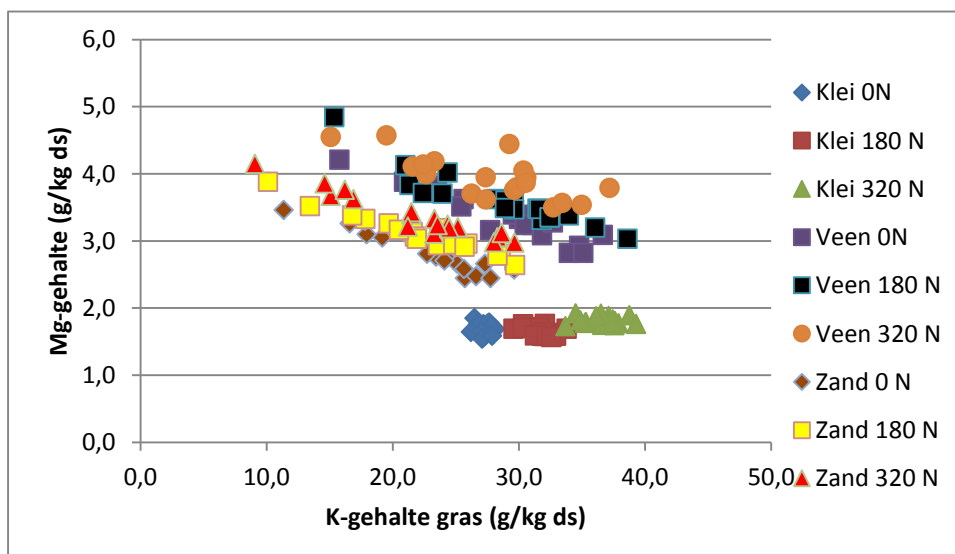
Door luxe consumptie leiden hoge kaligiften tot hoge K-gehalten in het gewas, waardoor de gewasopname van magnesium (Mg) mogelijk geremd wordt. Naast de K-gehalten zijn ook de Mg-gehalten van het gewas bepaald.

In Figuur 5.11 zijn de K-gehalten uitgezet tegen de Mg-gehalten (over alle grondsoorten, jaren, N giften en behandelingen).



Figuur 5.11. Relatie K-gehalte versus Mg-gehalte vers gras op drie grondsoorten en drie N-niveaus.

Uit Figuur 5.11 blijkt dat een toename van het K-gehalte globaal een afname van het Mg-gehalte geeft, maar de variatie is groot. Een lineair verband heeft slechts een R^2 van 0,22. Deze lage R^2 wordt mede veroorzaakt door de grote spreiding van de Mg-gehalten bij een gelijk K-gehalte. Zo kan bij een K-gehalte van 40 zowel een Mg-gehalte van 1,0 als 5,3 voorkomen. In de volgende figuur wordt een onderverdeling gemaakt naar grondsoort en N-gift. De getoonde figuur geeft de resultaten gemiddeld over alle sneden, jaren en herhalingen.



Figuur 5.12. Relatie Mg- en K-gehalte vers gras op de grondsoorten klei, veen en zand bij 3 N jaargiften

Uit Figuur 5.12 is op te maken dat een hoger K-gehalte van het gras op zand en veen leiden tot een lager Mg-gehalte. Op klei is geen duidelijk effect van het K-gehalte op het Mg-gehalte, maar de Mg-gehalten op klei zijn lager dan op zand en veen, over het algemeen kleiner dan 2 g/kg ds (gem < 2,0). Stikstof lijkt alleen een niveaoverschil in zowel het K- als het Mg-gehalte in gras te geven op zand en veen. De lijnen van de 3 N-niveaus lopen parallel. Bij alle N-niveaus zijn de Mg-gehalten lager bij hogere K-gehalten.

Het gewenste Mg-gehalte voor melkvee tijdens beweiding hangt af van het kali-gehalte en het ruw eiwitgehalte in het gras: bij een hoger ruw eiwitgehalte en/of een hoger K-gehalte is het gewenste Mg-gehalte ook hoger (Handboek voor de rundveehouderij, 1988).

Het laagste Mg-gehalte wordt gevonden op klei, ongeveer 1,9 g Mg per kg ds. In 2014 is door BLGG AgroXpertus gevonden dat de kuilen in het voorjaar een hoog ruw eiwitgehalte hadden, nl. 187 g re/kg ds. Bij dit ruw eiwitgehalte mag het K-gehalte van het gras 32 g K per kg ds zijn, bij het gevonden Mg-gehalte van 1,9 g per kg ds. In Tabel 4.17 blijkt dat bij simulatie van een grote dataset bij het beoogde eerste snede advies deze 32 g K per kg ds niet behaald wordt bij een weidesnede (1700 kg ds/ha). Het toepassen van het beoogde bemestingsadvies lijkt dus geen probleem te zijn voor de Mg-voorziening zoals die in de detailproeven wordt gevonden.

5.5 *Naar een K-bemestingsadvies voor de overige sneden*

Voor de overige sneden was tot nu toe het advies om de verwachte K-onttrekking (bij) te bemesten. Op basis van de detailproeven is af te leiden of dit nog steeds een goede strategie is of dat het advies moet veranderen.

Een uitgangspunt voor de afleiding van het kali-advies voor de overige sneden is dat een kalivoorraad in de bodem in het najaar voor een groot deel zal uitspoelen in de winter, vooral op de lichte gronden. Het is dus niet zinvol om een kalivoorraad in de bodem op te bouwen.

Een ander uitgangspunt is dat het grootste deel van de K-bemesting op een melkveehouderijbedrijf gegeven wordt via de dierlijke mest. Het is niet praktisch uitvoerbaar om dierlijke mest op ieder perceel voor iedere snede te geven. Echter het in voorraadbemesting geven van kali brengt het gevaar met zich mee dat een deel van de kali al wordt opgenomen in het gras als luxe consumptie. Dat levert òn een hoog K-gehalte van het gras op òn een lagere voorraad kali voor de volgende snede en onderdrukt de opname van natrium en magnesium. Op basis van de proefresultaten zal nagegaan worden in hoeverre dit gevaar dreigt.

Achteraf extra aanvullen, bovenop de onttrekking van de komende snede, zou alleen zinvol kunnen zijn als de kalivoorraad zover gedaald zou zijn dat de voorafgaande snede al K-gebrek had. Het is daarbij wel van belang dat het gehalte van het gras niet zover stijgt dat de gezondheid van het vee in gevaar komt.

5.5.1 Effect van bemesting in de eerste snede op jaaropbrengst

De resultaten van de proeven over het hele seizoen (vijf sneden) op zand, klei en veen met verschillende K-regimes/trappen zijn cumulatief geanalyseerd: de opbrengst van snede een, snede een + twee en snede een + twee + drie, etc. Daarbij is of veel of weinig gegeven in de eerste snede of is de bemesting uitgesmeerd over veel sneden. Er zijn geen objecten waar weinig of niets aan het begin gegeven is en relatief veel in de loop van het seizoen. Mede door deze verdelingen laat het ontwikkelde cumulatieve model voor droge stof en K-opbrengst geen verschil zien in hoe de kalibemesting over de sneden is verdeeld, alleen de cumulatieve K-gift telt in het model.

Uit de statistische analyse en uit de ruwe data blijkt dat op de kleilocatie weinig respons is op de K-bemesting van de drogestofopbrengst en de K-opbrengst (oorzaak vrij hoge K-CaCl₂: 145 en hoge pH: 7,4) maar op de zand- en veenlocatie (respectievelijk K-CaCl₂ van 50 en 101, en pH 5,4 en 4,8) is er wel respons van de drogestofopbrengst en van de K-opbrengst. Om na te gaan wat verschillende giften met K-bemesting opleveren zijn enkele scenario's berekend met het ontwikkelde REML-model (Tabel 5.4 tot en met Tabel 5.9).

Tabel 5.4. Berekeningen met het ontwikkelde statistische REML-model voor de eerste snede, op zand, gemaaid in maaistadium en weidestadium.

Eerste snede						
grondsoort	Zand	Zand	Zand	Zand	Zand	Zand
Kg N/ha	100	100	100	100	100	100
Kg K ₂ O/ha	0	50	100	150	200	250
Maaistadium						
Opbrengst snede 1 (kg ds/ha)	3634	4274	4396	4470	4523	4565
K-opb snede 1 (kg K/ha)	52,3	98,3	109,7	117	122,5	127
K-geh snede 1 (g K/kg ds)	14,4	23	25	26,2	27,1	27,8
Toename ds tov OK		640	762	836	889	931
Toename K-opb tov OK		46,0	57,4	64,7	70,2	74,7
Kg ds/kg K ₂ O		12,8	7,6	5,6	4,4	3,7
AKR		1,1	0,7	0,5	0,4	0,4
Toename ds tov vorige K trap		640	122	74	53	42
Toename vorige trap ds/kg K ₂ O		12,8	2,4	1,5	1,1	0,8
Weidestadium						
Opbrengst snede 1 (kg ds/ha)	2290	2473	2507	2526	2541	2552
K-opb snede 1 (kg K/ha)	33,4	62,8	70,1	74,7	78,3	81,1
K-geh snede 1 (g K/kg ds)	14,6	25,4	28	29,6	30,8	31,8
Toename ds tov OK		183	217	236	251	262
Toename K-opb tov OK		29,4	36,7	41,3	44,9	47,7
Kg ds/kg K ₂ O		3,7	2,2	1,6	1,3	1,0
AKR		0,7	0,4	0,3	0,3	0,2
Toename ds tov vorige K trap		183	34	19	15	11
Toename vorige trap ds/kg K ₂ O		3,7	0,7	0,4	0,3	0,2

NB omrekenfactor van K naar K₂O is 1,205 (AKR = Apparent K Recovery = de hoeveelheid van de gift die teruggevonden wordt: (K opbrengst met gift – K opbrengst zonder gift)/ K-gift.

Tabel 5.5. Berekeningen met het ontwikkelde statistische REML-model voor het volledige groeiseizoen, op zand.

Jaar						
grondsoort	Zand	Zand	Zand	Zand	Zand	Zand
Kg N/ha	250	250	250	250	250	250
Kg K ₂ O/ha	0	50	100	150	200	250
Opbrengst jr (kg ds/ha)	10384	12367	12748	12978	13144	13274
K-opb jr (kg K/ha)	118	234,5	264,3	283,5	298	309,8
K-geh jr (g K/kg ds)	11,4	19,0	20,7	21,8	22,7	23,3
Toename ds tov OK		1983	2364	2594	2760	2890
Toename K-opb tov OK		116,5	146,3	165,5	180	191,8
Kg ds/kg K ₂ O		39,7	23,6	17,3	13,8	11,6
AKR		2,8	1,8	1,3	1,1	0,9
Toename ds tov vorige K trap		1983	381	230	166	130
Toename vorige trap ds/kg K ₂ O		39,7	7,6	4,6	3,3	2,6

(AKR = Apparent K Recovery = de hoeveelheid van de gift die teruggevonden wordt: (K opbrengst met gift – K opbrengst zonder gift)/ K gift.

De scenario berekeningen op zand leveren een aantal resultaten:

- In de eerste snede geeft de eerste 50 kg K₂O een opbrengsteffect 12,8 kg ds per kg K₂O. Meer dan de toegediende K₂O (=AKR) wordt teruggevonden in het geoogste product. Het effect neemt snel af. De tweede 50 kg K₂O haalt het criterium 4 kg ds/kg K₂O niet meer (zie afleiding advies eerste snede).
- Door kalibemesting in de eerste snede neemt de drogestofopbrengst toe in de eerste snede en op jaarbasis. De toename op jaarbasis is ongeveer 3 maal zo hoog als die in de eerste sneden. Vrijwel iedere snede brengt meer op als er in de eerste snede met kali wordt bemest, de kaligift werkt het hele seizoen door. Dat betekent dat een criterium om kalibemesting in de eerste snede toe te passen, ruim gehanteerd kan worden (zie afleiding advies in de eerste snede). De optimale gift voor de opbrengstverhoging op jaarbasis is echter vergelijkbaar met de eerste snede: ook op jaarbasis neemt de extra opbrengst snel af bij een hogere bemesting dan 50 kg K₂O/ha in de eerste snede.
- De toename van het K-gehalte in de eerste snede en op jaarbasis zijn in absolute zin vergelijkbaar.
- Re-gehaltes zijn hier niet weergegeven. Die blijken echter weinig te veranderen met de K-gift, ze zijn alleen beïnvloed door de N-gift. Alleen blijkt het re-gehalte iets hoger te zijn op de bemeste K-trappen ten opzichte van de 0 K-trap, vermoedelijk door verdunning.
- Het effect bij een lichtere weidesnede (W) is kleiner, ongeveer 1/3 van de maaisnede. Wel is hetzelfde patroon terug te vinden: het effect van K-bemesting boven 50 kg K₂O/ha is veel lager dan tot 50 kg.

Op veen zijn vergelijkbare scenario berekeningen met het REML-model uitgevoerd, de resultaten staan in Tabel 5.6 en 5.7.

Tabel 5.6. Berekeningen met het ontwikkelde statistische REML-model voor de eerste snede, op veen, gemaaid in maaistadium en weidestadium.

Eerste snede						
grondsoort	Veen	Veen	Veen	Veen	Veen	Veen
Kg N/ha	100	100	100	100	100	100
Kg K ₂ O/ha	0	50	100	150	200	250
Maaistadium						
Opbrengst snede 1 (kg ds/ha)	2073	2400	2462	2499	2526	2547
K-opb snede 1 (kg K/ha)	44,9	78,4	86,4	91,5	95,3	98,3
K-geh snede 1 (g K/kg ds)	21,7	32,7	35,1	36,6	37,7	38,6
Toename ds tov OK		327	389	426	453	474
Toename K-opb tov OK		33,5	41,5	46,6	50,4	53,4
Kg ds/kg K ₂ O		6,5	3,9	2,8	2,3	1,9
AKR		0,8	0,5	0,4	0,3	0,3
Toename ds tov vorige K trap		327	62	37	27	21
Toename vorige trap ds/kg K ₂ O		6,5	1,2	0,7	0,5	0,4
Weidestadium						
Opbrengst sn 1 (kg ds/ha)	1418	1508	1524	1534	1541	1546
K-opb snede 1 (kg K/ha)	27,8	48,5	53,4	56,5	58,9	60,8
K-geh snede 1 (g K/kg ds)	19,6	32,1	35	36,9	38,2	39,3
Toename ds tov OK		90	106	116	123	128
Toename K-opb tov OK		20,7	25,6	28,7	31,1	33,0
Kg ds/kg K ₂ O		1,8	1,1	0,8	0,6	0,5
AKR		0,5	0,3	0,2	0,2	0,2
Toename ds tov vorige K trap		90	16	10	7	5
Toename vorige trap ds/kg K ₂ O		1,8	0,3	0,2	0,1	0,1

Tabel 5.7. Berekeningen met het ontwikkelde statistische REML-model voor het volledige groeiseizoen, op veen.

Jaar						
grondsoort	Veen	Veen	Veen	Veen	Veen	Veen
Kg N/ ha	250	250	250	250	250	250
Kg K ₂ O/ha	0	50	100	150	200	250
Opbrengst jr (kg ds/ha)	10720	12500	12839	13042	13144	13204
K-opb jr (kg K/ha)	166,9	307,7	342,3	364,4	381	394,4
K-geh jr (g K/kg ds)	15,6	24,6	26,7	27,9	28,9	29,6
Toename ds tov OK		1780	2119	2322	2424	2484
Toename K opb tov OK		140,8	175,4	197,5	214,1	217,5
Kg ds/kg K ₂ O		35,6	21,2	15,5	12,1	9,9
AKR		3,4	2,1	1,6	1,3	1,1
Toename ds tov vorige K trap		1780	339	203	102	60
Toename vorige trap ds/kg K ₂ O		35,6	6,8	4,1	2,0	1,2

Veen vertoont hetzelfde patroon als zand maar in de eerste snede zijn de effecten kleiner. Op jaarbasis is de orde van grootte goed vergelijkbaar met zand. De snedezwaarte in de eerste snede was op veen

echter veel lager dan op zand. De maaisnede van veen is vergelijkbaar met de weidesnede van zand. Voor deze twee sneden zijn de K₂O-effecten wel vergelijkbaar. Het lijkt dus dat het kleinere effect van veen vooral te danken/wijten is aan de lagere snedezwaarte. Dat zou betekenen dat de zand- en veenlocatie vrijwel te vergelijken zijn in respons op K₂O-bemesting in de eerste snede. Het K-gehalte op veen en zand vertonen ook hetzelfde patroon in respons op de K₂O-bemesting, alleen het K-gehalte op veen is 4 g K/kg ds hoger dan op zand op jaarbasis en 7 g K per kg ds in de eerste snede.

Tabel 5.8. Berekeningen met het ontwikkelde statistische REML-model voor de eerste snede, op klei, gemaaid in maaistadium en weidestadium.

Eerste snede	M	M	M	M	M	M
grondsoort	Klei	Klei	Klei	Klei	Klei	Klei
Kg N/ha	100	100	100	100	100	100
Kg K ₂ O/ha	0	50	100	150	200	250
Maaistadium						
Opbrengst snede 1 (kg ds/ha)	4708	4891	4923	4942	4956	4966
K-opb snede 1 (kg K/ha)	172,2	181,1	182,7	183,6	184,2	184,5
K-geh snede 1 (g K/kg ds)	36,6	37	37,1	37,2	37,2	37,2
Toename ds tov OK		183	215	234	248	258
Toename K op tov OK		8,9	1,6	0,9	0,6	0,3
Kg ds/kg K ₂ O		3,7	2,2	1,6	1,2	1,0
AKR		0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Toename ds tov vorige K trap		183	32	19	14	10
Toename vorige trap ds/kg K ₂ O		3,66	0,64	0,38	0,28	0,2
Weidestadium						
Opbrengst snede 1 (kg ds/ha)	3471	3311	3284	3268	3257	3249
K-opb snede 1 (kg K/ha)	115,6	121,6	122,7	123,3	123,8	124,1
K-geh snede 1 (g K/kg ds)	33,3	36,7	37,4	37,7	38	38,2
Toename ds tov OK		-160	-187	-203	-214	-222
Toename K op tov OK		6,0	7,1	7,7	8,2	8,5
Kg ds/kg K ₂ O		-3,2	-1,9	-1,4	-1,1	-0,9
AKR		0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
Toename ds tov vorige K trap		-160	-27	-16	-11	-8
Toename vorige trap ds/kg K ₂ O		-3,2	-0,54	-0,32	-0,22	-0,16

Tabel 5.9. Berekeningen met het ontwikkelde statistische REML-model voor het volledige groeiseizoen, op klei.

Jaar	M	M	M	M	M	M
grondsoort	Klei	Klei	Klei	Klei	Klei	Klei
Kg N/ ha	250	250	250	250	250	250
Kg K ₂ O/ha	0	50	100	150	200	250
Opbrengst jr (kg ds/ha)	13821	14052	14093	14117	14134	14147
K-opb jr (kg K/ha)	446,1	474,4	479,6	482,6	484,8	486,4
K-geh jr (g K/kg ds)	32,3	33,8	34,0	34,2	34,3	34,4
Toename ds tov 0K		231	272	296	313	326
Toename K opb tov 0K		28,3	33,5	36,5	38,7	40,3
Kg ds/kg K ₂ O		4,6	2,7	2,0	1,6	1,3
AKR		0,7	0,4	0,3	0,2	0,2
Toename ds tov vorige K trap		231	41	24	17	13
Toename vorige trap ds/kg K ₂ O		4,62	0,82	0,48	0,34	0,26

Op klei is de respons op K₂O-bemesting erg laag (Tabel 5.8 en 5.9). In de eerste snede levert de eerste 50 kg K₂O krap 4 kg ds/kg K₂O op, daarna zakt het snel naar minder dan 1 kg ds/kg K₂O. Op jaarbasis geldt hetzelfde. In de lichte snede (W) is het effect op de droge stofopbrengst zo minimaal dat het model zelfs negatieve waarden krijgt toegekend. Dit is echter een artefact. Het effect is niet significant en zou eigenlijk weggelaten kunnen worden in de W-snede.

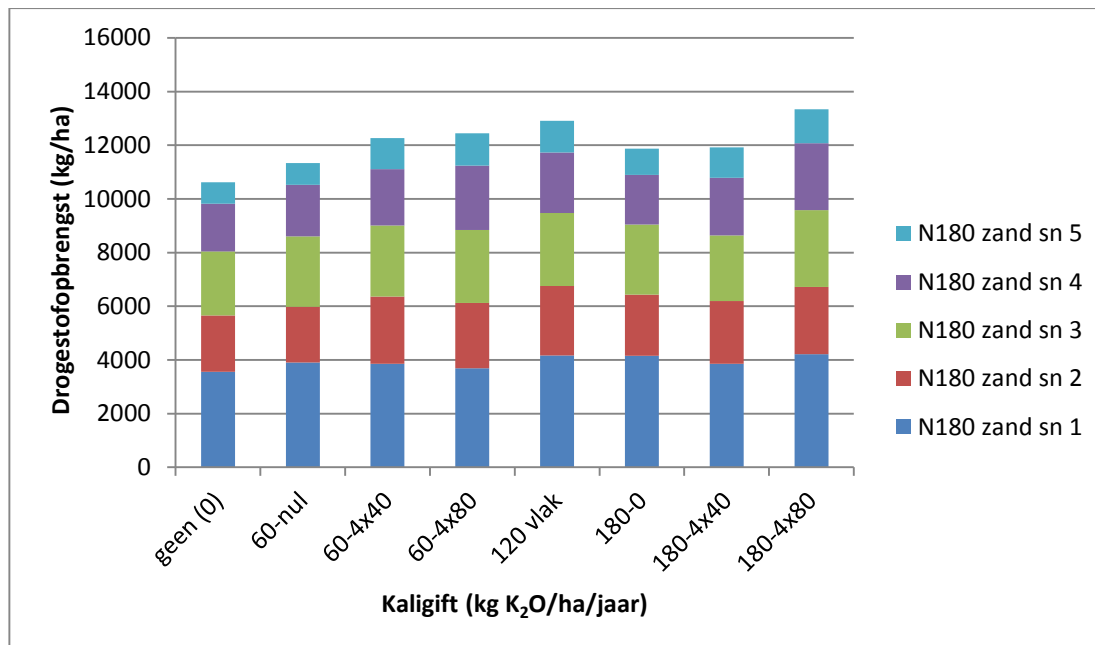
Het effect dat kali-bemesting van de eerste snede zo sterk doorwerkt over de rest van het seizoen/de overige sneden wordt niet genoemd in de eerdere literatuurstudie. Alleen in de literatuurstudie over maïs wordt er één potproef genoemd waarin uitgebreid naar de invloed van kali op het wortelstelsel is gekeken. Bij maïs bleek de totale wortellengte onder invloed van kali-bemesting groter te worden (Samal et al., 2010). Mogelijk dat een dergelijk mechanisme een rol speelt bij grasland en de vorming van het wortelstelsel in het voorjaar profijt oplevert voor het hele groeiseizoen.

De invloed van N-bemesting op de resultaten

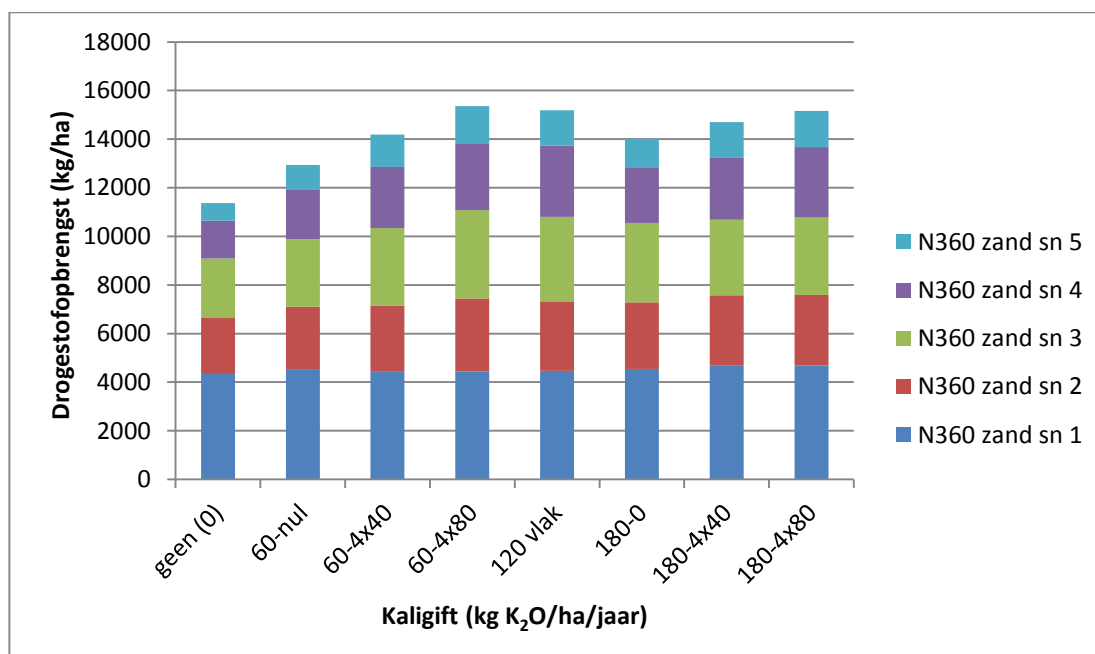
Voor zand is de respons van K₂O in de eerste snede ook uitgerekend voor 160 kg N per ha. (Verdeling 80-25-25-15-15 kg N per snede, data niet weergegeven). Het N-bemestingsniveau heeft een kleine invloed op de grootte van de respons in het relevante traject: bij een hoger N-niveau is de absolute maar ook de relatieve K-respons licht hoger maar de optimale K-bemesting verschuift vrijwel niet.

5.5.2 Bemesting na de eerste snede

In Figuren 5.13 en 5.14 is wederom de drogestofopbrengst van het 180N en het 360N object op zandgrond weergegeven maar nu verdeeld over de sneden. Elke balk is het gemiddelde van 2 jaar en 2 herhalingen.



Figuur 5.13. Drogestofopbrengst per jaar en verdeling over sneden (gemiddeld 2011 en 2012) op zandgrond bij 8 K-niveaus en 180 kg N/ha.



Figuur 5.14. Drogestofopbrengst per jaar en verdeling over sneden (gemiddeld 2011 en 2012) op zandgrond bij 8 K-niveaus en 360 kg N/ha.

In de figuren is te zien dat op de zandlocatie 180 kg K₂O in de eerste snede de opbrengst van het hele jaar verhoogt, ten opzichte van 0 en 60 kg K₂O/ha in de eerste snede. De opbrengstverhoging is verdeeld over alle sneden. Het is echter een onrealistisch hoge gift voor de eerste snede. Voor de eerste snede is de werking in runderdrijfmest van K₂O 75% is en het gehalte ongeveer 5,6 kg K₂O/m³ dus werkzaam 4,2 kg K₂O per m³. 180 kg K₂O komt overeen met circa 43 m³/ha en dat is een te hoge gift om met een zodenbemester goed toe te kunnen dienen. Voor de eerste snede zelf (blauwe balk) blijkt het niet nodig om meer dan 60 kg K₂O te geven. Het is dus voor de opbrengst en voor het gehalte van het gras beter om de gift te verdelen over de sneden.

Hoewel in het REML-model niet duidelijk een verhoging in drogestofopbrengst te zien is bij een bemesting hoger dan 200 kg K₂O/ha, is in de ruwe gegevens te zien dat een K₂O-bemesting na de eerste snede zowel bij 60 kg K₂O per ha in de eerste snede als bij 180 kg K₂O per ha nog een meeropbrengst geeft. Het object $180 + 4 \cdot 80$ geeft net zoveel opbrengst geeft als $60 + 4 \cdot 80$. Veen vertoont hetzelfde beeld. Het blijkt dus niet uit te maken hoeveel er in de eerste snede gegeven is (zolang dat maar meer dan 60 kg K₂O/ha is), nieuwe giften in de volgende sneden geven toch een opbrengstverhoging. De verhoging van de opbrengst door de giften in de latere sneden, gaan door tot in de laatste sneden. De 5^e snede van 60-0 brengt minder op dan de 5^e snede van 60-4x80. Het is niet mogelijk om uit de gegevens af te leiden of bemesting t/m bijvoorbeeld de derde snede ook voldoende zou zijn geweest, een dergelijke behandeling is niet opgenomen in de proef. Maar het blijkt dat 40 kg per snede niet voldoende is, 80 kg K₂O/ha wel. Per snede wordt ca. 60 kg K₂O onttrokken. De verwachting is dat bemesting volgens de onttrekking wel voldoende is.

Op de kleigrond geeft K₂O-bemesting vrijwel geen hogere drogestofopbrengst (Figuur 5.2). Er blijkt ook weinig effect te zijn op het K-gehalte van het gras (Tabel 5.9).

Vanuit een kritisch K-gehalte is het bemestingsadvies mogelijk nauwkeuriger te bepalen. Het kritisch K-gehalte, gedefinieerd als het K-gehalte waaronder het gras kaligebrek lijdt, is afhankelijk van de snedezwaarte en lijkt bij veen en zand verschillend. Vanuit oogpunt van diervoeding volstaan voor hoogproductieve dieren gehalten van ongeveer 8 g K/kg ds en voor jongvee ongeveer 5 g K/kg ds. Deze gehalten worden in alle gevallen gehaald.

In Whitehead (2000) wordt uitgegaan van een kritische N/K verhouding van 1,3: als de verhouding hoger is, is de kans groot dat er te weinig kali is voor een ongestoorde groei. Omdat het N-gehalte mede bepaalt of er voldoende K in het gras zit, heeft de N-bemesting eveneens invloed.

Voor de eerste snede is nagegaan in hoeverre de kritische N/K verhouding van het gras op de verschillende locaties benaderd wordt door 1,3. In Tabel 5.10 is een overzicht gemaakt van de gemiddelde N/K verhouding in de eerste snede op de verschillende bemestingstrappen. Vanuit het REML-model van de detail-proeven en de mini-proeven is reeds vastgesteld dat ongeveer 60 kg K₂O/ha op de zand- en de veenlocatie voldoende is om het gras voldoende te laten groeien en dat op de kleilocatie geen K₂O nodig is. Een N/K verhouding van 1,3 lijkt een goede schatting van een kritische N/K verhouding voor de eerste snede. Wanneer we aannemen dat deze 1,3 ook geldt voor overige sneden, dan is bij een N-bemesting tussen 20 en 80 kg N/ha een gift van 60 kg K₂O/ha voldoende. Op zand is dit vrijwel gelijk aan de onttrekking, op veen is het minder dan de onttrekking omdat op veen relatief hoge K-gehalten en daardoor een hoge K₂O-onttrekking werd gevonden in de proef.

Op klei blijft de N/K verhouding zowel in de eerste snede als in de overige sneden ver onder 1,0 en is ook met deze benaderingswijze in geen van de sneden kalibemesting noodzakelijk.

De benadering met een kritische N/K verhouding bevestigt dat een K₂O-bemesting volgens de verwachte onttrekking voldoende tot ruim voldoende moet zijn voor de overige sneden.

Tabel 5.10. Gemiddelde N/K-verhouding < 1,3 in de eerste snede bij de uitgevoerde N- en kalibemesting.

N-bemesting (kg N/ha)	Kalibemesting (kg K ₂ O/ha)			
	0	60	120	180
Zand				
0	1,47	0,99	0,80	0,70
60	1,82	1,17	0,91	0,75
120	2,33	1,38	1,04	0,89
Klei				
0	0,53	0,51	0,54	0,51
60	0,57	0,51	0,53	0,50
120	0,64	0,56	0,60	0,53
Veen				
0	1,48	1,13	1,08	0,96
60	1,65	1,18	1,01	0,90
120	2,24	1,36	1,17	1,02

Tabel 5.11. Gemiddelde N/K-verhouding < 1,3 in de overige sneden bij de uitgevoerde N- en kalibemesting.

N-bemesting (kg N/ha)	Kalibemesting (kg K ₂ O/ha)			
	0	60	120	180
Zand				
0	1,39	0,89	0,80	0,76
20	2,78	1,25	0,97	1,05
40	2,41	1,33	0,96	0,89
80	2,49	1,52	1,09	0,98
Klei				
0	0,59	0,57	0,60	0,59
20	0,59	0,55	0,54	0,52
40	0,53	0,51	0,50	0,49
80	0,56	0,54	0,53	0,52
Veen				
0	1,46	0,95	0,79	0,83
20	2,13	1,28	0,92	0,75
40	2,01	1,18	0,97	0,84
80	1,89	1,35	1,13	1,00

Tabel 5.12. Gemiddelde kali-onttrekking in overige sneden per N-bemesting en per grondsoort.

N-bemesting (kg N/ha)	Gemiddelde kali-onttrekking (kg K ₂ O/ha)		
	Zand	Klei	Veen
Zand			
0	32,1	30,1	72,0
20	41,9	56,0	76,7
40	56,8	94,1	83,2
80	75,3	153,8	87,4

Conclusie: De grasopbrengst is het hoogst als de kaligift verdeeld wordt over het groeiseizoen. Een gift ter grootte van de onttrekking is naar verwachting ruim voldoende. In situaties waar echter geen kali nodig blijkt te zijn voor de eerste snede, kan mogelijk in alle sneden kali-bemesting achterwege blijven. Echter, een exacte grens is op basis van de studie niet te geven.

Invloed beweiding op kalibemestingsadvies in de overige sneden

In het verleden was het kali-bemestingsadvies voor weidesneden: onttrekking gecorrigeerd voor de hoeveelheid K die de dieren weer uitscheiden op het perceel, vnl. in urine. Het is echter zo dat deze uitscheiding niet netjes verdeeld wordt over het perceel met als gevolg dat niet alle gras van deze kali kan profiteren.

Een benadering van de oppervlakte die de kali ontvangt is:

In een proef met beweiding (Van Middelkoop et al., 2004) worden 24 dierdagen gerealiseerd op een oppervlakte van 355 m² bij 3-4 sneden weiden en 2 sneden maaien. Een koe urineert ongeveer 12 maal per dag, een urineplek is ongeveer 0,25 m² groot.

$$24 \text{ dierdagen} \times 12 \text{ urineringsen} \times 0,25 \text{ m}^2 = 72 \text{ m}^2$$

Met de poisson verdeling

$$P_t(r) = \frac{e^{-Dt} \times (Dt)^r}{r!}; \quad r=0,1,2,\dots,N_t$$

$P_t(r)$ is het percentage oppervlakte met r urine plekken, e : grond getal van natuurlijke logaritme (2,7182818), r : aantal overlappende urine plekken, Dt : oppervlakte urineplekken/totale oppervlakte: $72/355 = 0,21$. Oppervlakte zonder urine plekken: 0,79

Omdat kali in de loop van de tijd (vooral in de winter) uitspoelt en niet zoals fosfaat beschikbaar blijft op die plekken en door jaar-op-jaar beweiding het oppervlakte onbedekt kleiner wordt, krijgt 79% van de oppervlakte geen kali door urineplekken.

In 1989 heeft NMI onderzoek gedaan naar het effect van kalibemesting in wel en niet beweide grasland om na te gaan of de kali die met urine wordt uitgescheiden, een kalibemesting overbodig maakt (Tjalma & Den Boer, 1991). Het bleek dat kalibemesting in beweide grasland een meeropbrengst gaf en dat de uitgescheiden kali slechts door een heel klein deel van het grasland werd benut. Het is daarom beter om het kalibemestingsadvies niet te corrigeren voor de kali die door het vee uitgescheiden wordt.

Najaarsgift K

In de praktijk leeft de gedachte dat een kleine K-gift in het najaar de grasgroei ten goede komt. Op basis van de proefopzet kunnen we daar moeilijk direct antwoord op geven maar het lijkt erop dat een K-bemesting voor iedere snede nog zin heeft in het traject K-CaCl₂ waar K-bemesting nodig is. Dus ook in het najaar. Dit is echter niet objectief aan te tonen met onze gegevens.

5.6 Advies voor overige sneden

Op basis van het vooraangaande wordt voor het advies uitgegaan een gift voor elke snede om de verwachte K₂O-onttrekking te compenseren en wel tot met een maximum van 75 kg K₂O/ha.

Rekening houdend met verdunning mogen gehalten verwacht worden van 30, 27,5 en 25 bij opbrengsten van 1700, 2500 en 3500 kg ds/ha bij een optimale gewasgroei. Deze hoeveelheid hoeft niet volledig

gecompenseerd te worden (3500 zou nl. 105 kg K₂O betekenen) door nalevering uit de bodem, eventuele nawerking van organische mest en het feit dat in de proeven een gift van 60 kg K₂O/ha optimaal was. Het voorstel voor het advies voor de overige sneden voor toestand laag, vrij laag en voldoende is in Tabel 5.13 weergegeven.

Tabel 5.13. Voorstel voor kalibemestingsadvies voor overige sneden.

Kg ds per ha (snedezwaarte)	Situaties waar eerste snede kalibemesting nodig heeft
1700	45
2000	55
2500	65
3000	70
3500	75

In geval van een hoge kalitoestand, waar geen kalibemesting geadviseerd wordt in de eerste snede, is het advies om maximaal de helft van de onttrekking te geven maar bij voorkeur geen kali (Dit is in lijn met het vigerende advies). Dit is echter voor veel bedrijven praktisch onmogelijk omdat er dierlijke mest gegeven wordt dat kali bevat.

Literatuur

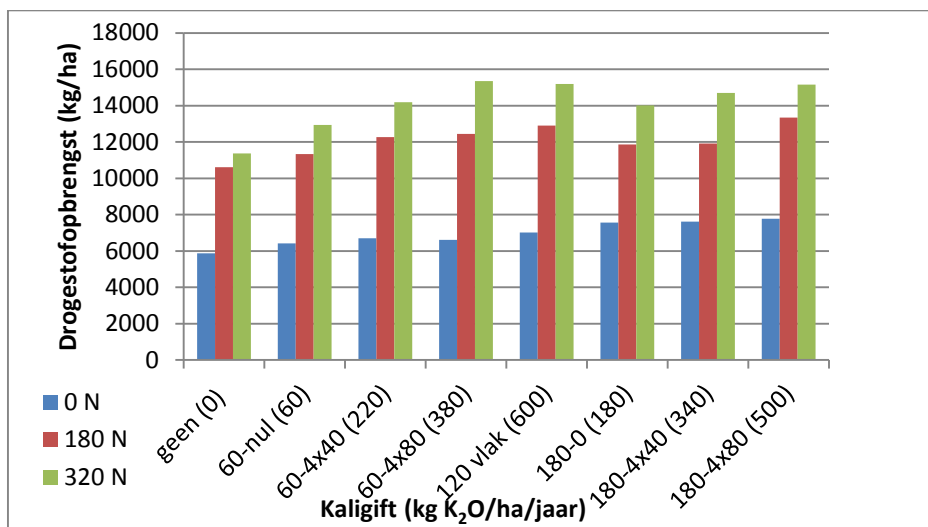
- Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen (2009). Adviesbasis bemesting grasland en voedergewassen. Lelystad. Internet: <http://www.bemestingsadvies.nl>
- CVB (2005). Handleiding Mineralenvoorziening Rundvee, Schapen, Geten. Commissie Onderzoek Minerale Voeding. Uitgave Centraal VeevoederBureau, Lelystad.
- CVB (2008). Tabellenboek Veevoeding 2008, Centraal VeevoederBureau, Lelystad.
- Den Boer DJ, Van Schöll L & Van Middelkoop JC (2009). Interacties van nutriënten op grasland. Studie uitgevoerd in het kader van de Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen. NMI rapport 1253.N.07, 24 pp.
- Den Boer DJ, Van Middelkoop JC & Van Schöll L (2010). Interactie tussen N en K op grasland. Herziening kali-advies gewenst? Gezamenlijke studie NMI en Livestock Research. Rapport 1347.N.09.
- Bussink DW, Den Boer DJ & Van Middelkoop (2011). Beschikbaarheid van kali op basis van multinuutriënt extractie; analyse van een database. Gezamenlijke studie NMI en Livestock Research. Rapport 1383.N.10.
- Bussink DW, Valk H, Bakker RB & Klop A (2009). Naar een nieuwe Na-behoefte norm voor melkvee en verantwoorde Na-bemesting op grasland. Gezamenlijke studie NMI en ASG. Rapport O896.05.
- Handboek voor de rundveehouderij (1988) Proefstation voor de rundveehouderij, schapenhouderij en paardenhouderij (PR), vijfde herziene druk, 376 pp.
- Houba VJG, Temminghoff EJM, Gaikhorst GA & Van Vark W (2000). Soil Analysis Procedures Using 0.01 M Calcium Chloride as Extraction Reagent. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 31, 1299-1396.
- Sluijsmans CMJ (1963). Bemesting van grasland met magnesium op basis van grondonderzoek. Landbouwwoorlichting 20, 198 – 205.
- Samal D, Kovar JL, Steingrobe B, Sadana US, Bhadoria PS & Claassen N (2010). Potassium uptake efficiency and dynamics in the rhizosphere of maize (*Zea mays* L.), wheat (*Triticum aestivum* L.), and sugar beet (*Beta vulgaris* L.) evaluated with a mechanistic model. Plant and Soil 2010, 332: 105-121.
- Tjalma S, & Den Boer DJ (1991) Effecten van wel en geen extra kalibemesting op beweide grasland, PR1937, 1989. NMI verslag C89.19, 23pp.
- Van Erp PJ (2002). The potentials of multi-nutrient soil extraction with 0,01 M CaCl₂ in nutrient management. Proefschrift Wageningen Universiteit, pp 237.
- Van Middelkoop JC, Van der Salm C, Den Boer DJ, Ter Horst MMS, Chardon WJ, Bakker RF, Schils RLM, Ehlert PAI & Schoumans OF (2004). Effecten van fosfaat- en stikstofoverschotten op grasland. Animal Sciences Group, Praktijkrapport Rundvee 48. 100p
- Van Rotterdam-Los AMD (2010). The potential of soils to supply phosphorus and potassium; processes and predictions. Proefschrift Wageningen Universiteit, pp 141.
- Whitehead DC (2000). Nutrient Elements in Grassland: Soil-Plant-Animal Relationships. CABI publishers. 369 pages

Bijlage 1. De grondanalyseresultaten van de individuele percelen van miniproef in 2011 en 2012.

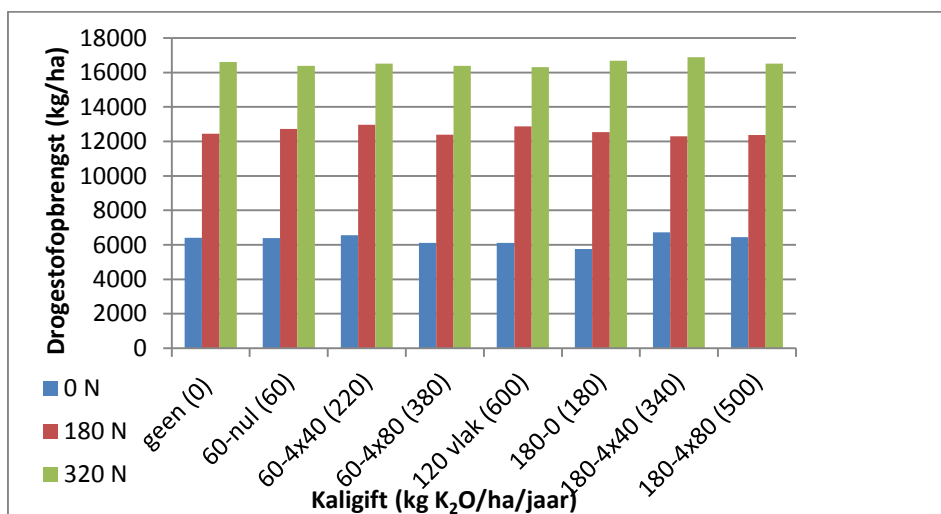
A, B betekent hetzelfde perceel op het deelnemende bedrijf in beide jaren: A, B niet hetzelfde perceel. De bepalingen met * zijn gemeten op basis van extractie met 0,01 M CaCl₂. (zie ook bijlage x voor meer data).

deeln		perc	grond		Lutum		OS		CEC		NLV		pH		K*		Mg*		Na*		PAL		P*		SLV		
					%	%			mmol+	kg					mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	kg	kg	
			2011	2012	2011	2012	2011	2012	kg ⁻¹	ha ⁻¹	2011	2012	2011	2012	kg ⁻¹	kg ⁻¹	kg ⁻¹	kg ⁻¹	kg ⁻¹	kg ⁻¹	/100g	2011	2012	2011	2012	kg ⁻¹	kg ⁻¹
1	A	20	20	30	36	12,4	14,8	331	386	231	250	6,2	5,9	176	217	417	490	48	56	33	29	3,8	3,9	18	23		
1	B	20	20	31	33	15,3	16	351	375	250	250	6	6,4	292	317	510	493	50	49	62	55	9,3	4,6	22	28		
2	A	10	10	2	3	6,3	6,3	73	80	146	150	5,2	5	96	80	190	183	26	21	35	38	1,2	1,2	8	10		
2	B	10	10		8	9,6	10,6	126	157	201	204	5,4	5,2	183	152	349	372	39	49	35	33	1,6	1	14	17		
3	A		60		5		13		168		250		4,9		67		461		32		32		2		23		
3	B		60		5		11,8		151		250		5,1		73		324		34		31		1,8		22		
4	A	60	60		40	22,9	19,2	418	416	250	250	5,8	5,4	104	85	444	450	67	90	30	36	1,1	1,2	22	27		
4	B	60	60		49	24,2	18,4	442	440	250	250	5,6	5,5	181	102	473	482	81	87	33	26	0,5	0,3	24	29		
5	A	40	10	11	10	4,3	4	110	106	103	145	5,6	6	145	92	196	185	19	14	61	59	3,3	2,7	7	12		
5	B	40	10	6	5	5,5	4,5	86	76	116	133	5,6	5,8	103	32	207	203	20	18	42	42	3,2	1,9	8	10		
6	A	20	20	12	12	4,5	2,9	154	135	105	79	7,2	7,3	54	64	80	62	20	14	20	40	0,4	1,5	12	20		
6	B	20	20	12	13	4,3	4,7	147	159	99	107	7,2	7	137	154	89	102	25	37	33	38	0,8	1,3	13	12		
7	A	10	10		1	5,5	4,8	71	49	137	130	5,6	5,4	117	91	180	143	18	14	63	116	1,3	6,3	7	9		
7	B	10	10		2	5,7	5,2	66	49	145	142	5,1	5,2	108	87	173	168	19	16	32	91	0,5	2,8	8	8		
8	A		40		34		5,8		273		130		6,7		48		205		44		35		0,5		15		
8	B		40		28		5,9		264		125		6,6		79		209		39		71		1,7		12		
9	A	60				5,5		133		250		7,1		129		112		15		45		1,5		9			
9	B	62		3		3,6		89		250		6,9		34		66		11		49		1,2		9			
10	A	10	10			25,7	25,7	275	275	230	230	5,1	5,1	119	119	388	388	41	41	17	17	0,7	0,7	28	28		
10	B	60	60			7,8	7,8	88	88	250	250	5,6	5,6	69	69	221	221	20	20	45	45	1,5	1,5	9	9		
11	A	10	10		2	7,4	5,9	93	84	134	141	5,1	5,3	85	51	243	218	26	20	43	43	2,4	2,4	8	10		
11	B	10	10		2	7,8	8,7	71	102	159	184	4,6	4,9	100	80	178	189	20	18	36	28	3,9	0,8	11	14		
12	A	60	60		41	21	17,4	328	348	250	250	5,5	5,6	274	240	463	435	62	51	33	30	1,1	1,1	27	32		
12	B	60	60		37	22,5	21,8	389	426	250	250	5,9	5,8	206	137	463	495	63	78	59	53	4,8	2,9	27	32		
13	A	20	20	17	4	5	1,9	211	72	85	65	7,2	7,2	69	83	95	46	15	5	67	73	1,8	3,9	12	11		
13	B	20	20	3	2	2,3	1,1	74	46	73	61	7	6,9	51	41	51	23	9	6	47	56	1,5	2,5	6	8		
14	A		10		4		12		170		203		5,2		79		329		35		36		2,7		16		
14	B		10		8		20,2		279		230		5,2		115		449		62		50		2,3		21		
gem					12,7	16,0	10,4	10,4	187,5	199,0	180,2	181,1	5,9	5,8	128,7	105,9	254,0	281,7	32,5	36,5	41,8	46,3	2,2	2,1	14,0	17,6	
min					2	1	2,3	1,1	66	46	73	61	4,6	4,9	34	32	51	23	9	5	17	17	0,4	0,3	6	8	
max					31	49	25,7	25,7	442	440	250	250	7,2	7,3	292	317	510	495	81	90	67	116	9,3	6,3	28	32	

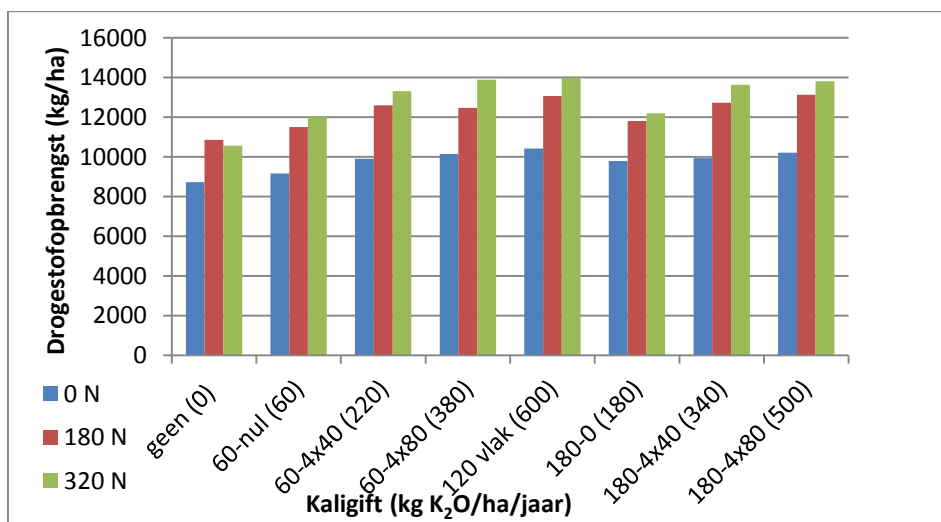
Bijlage 2. Drogestofopbrengsten per jaar op detailproeven



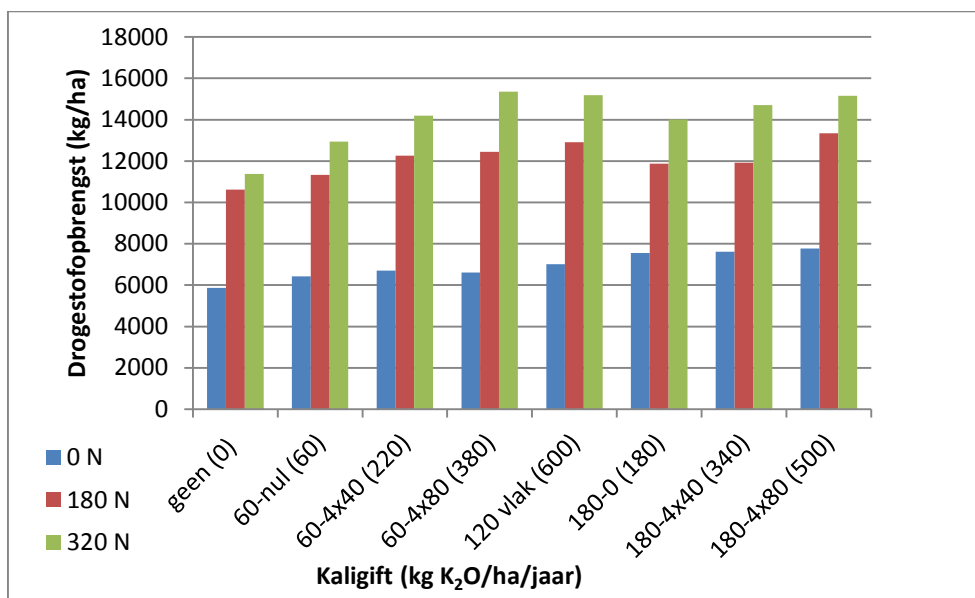
Figuur B1 Drogestofopbrengst per jaar (2011) op zandgrond (Heino) bij 8 K-niveaus en 3 N-niveaus



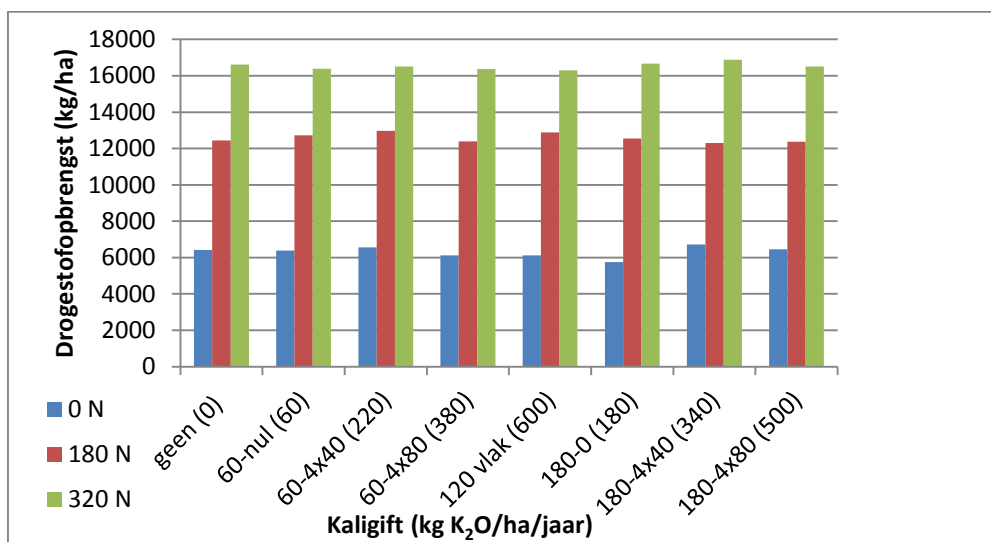
Figuur B2 Drogestofopbrengst per jaar (2011) op kleigrond (WBH) bij 8 K-niveaus en 3 N-niveaus



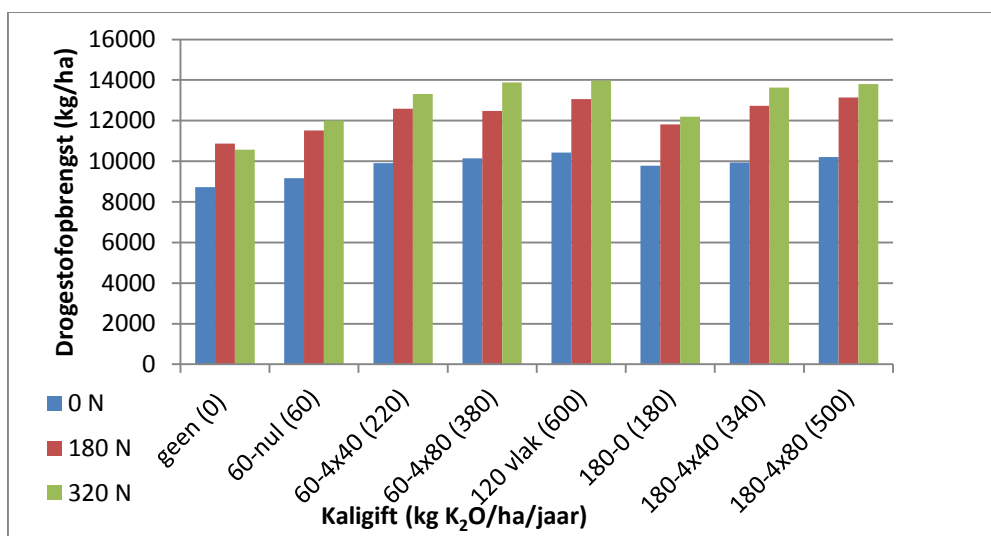
Figuur B3 Drogestofopbrengst per jaar (2011) op veengrond (ZV) bij 8 K-niveaus en 3 N-niveaus



Figuur B4 Drogstofopbrengst per jaar (2012) op zandgrond (Heino) bij 8 K-niveaus en 3 N-niveaus



Figuur B5 Drogstofopbrengst per jaar (2012) op kleigrond (WBH) bij 8 K-niveaus en 3 N-niveaus



Figuur B6 Drogstofopbrengst (2012) op veengrond (ZV) bij 8 K-niveaus en 3 N-niveaus

Bijlage 3. Concept kali bemestingsadvies voor grasland

Voorstel voor advies eerste snede en later sneden

2.1.4 Grasland zonder klaver: Kalium

Kalium in de bodem wordt gebufferd door het klei-humuscomplex. Deze wordt gemeten via de CEC-bepaling. Een hogere CEC betekent dat de bodem de aanwezige kali sterker bindt. Er is dan meer kali nodig om optimaal te bemesten. In het advies voor de eerste snede wordt hiermee rekening gehouden door het advies te baseren op direct beschikbaar en gebufferd kalium.

De CEC wordt nog niet gemeten door elk laboratorium. Daarom is er nog een tweede tabel waarbij in plaats van de CEC het organisch stof gehalte als bufferparameter wordt gebruikt. Bij benadering levert dit vergelijkbare resultaten.

De bemesting voor de eerste snede is niet alleen van belang voor de opbrengst van die snede maar voor de opbrengst van het hele jaar.

Tabel 2.13 en 2.14 geeft het advies voor de eerste sneden en Tabel 2.15 voor latere sneden.

Tabel 2.13 Advies voor de eerste maaisnede in kg K₂O per ha, afhankelijk van K-CaCl₂ en CEC

K-CaCl ₂ , mg K/kg	CEC, meq/100 g	Gebruik eerste snede	
		Weiden, 1700 kg ds/ha	Maaien, 3500 kg ds/ha
30	120	50	130
30	60	40	110
30	40	40	90
40	200	50	130
40	120	40	110
40	60	30	80
40	40	30	70
50	300	50	120
50	150	40	100
50	90	30	80
50	60	20	60
50	40	20	50
60	300	40	110
60	200	40	90
60	120	30	70
60	90	20	60
60	60	20	40
60	40	10	30
70	300	40	100
70	200	30	70
70	120	20	50
70	60	10	30
85	400	30	80
85	200	20	50
85	120	10	40
85	60	0	15
100	500	30	70
100	300	20	50
100	150	10	30
100	90	0	15
125	500	20	50
125	300	10	30
125	200	10	20
125	120	0	10
150	500	10	40
150	300	0	20
150	200	0	10
175	500	20	30
175	300	0	10
225	500	0	10
225	300	0	0

Het advies in formulevorm:

$$\text{K-gift} = \exp(-6,973 + 1,30572 \cdot \ln(\text{Dsopbrengst}) - 0,08551 \cdot \text{K-CaCl}_2 + 0,5264 \cdot \ln(\text{K-CaCl}_2) - 0,001607 \cdot \text{CEC} + 0,1275 \cdot \ln(\text{CEC}) + 0,010836 \cdot \text{K-CaCl}_2 \cdot \ln(\text{CEC}))$$

Tabel 2.14 Advies voor de eerste maaisnede in kg K₂O per ha, afhankelijk van K-CaCl₂ en organische stof (OS) en Lutum

		Zand (Lutum=5%)		Klei (Lutum=30%)	
		Gebruik eerste snede			
K-CaCl ₂ , mg K/kg	OS, %	Weiden, 3500 kg ds/ha	Maaien, 1700 kg ds/ha	Weiden, 3500 kg ds/ha	Maaien, 1700 kg ds/ha
30	6	150	60	120	50
30	4	130	50	110	40
30	2	100	40	80	30
40	9	140	60	120	50
40	6	120	50	100	40
40	4	100	40	80	30
40	2	70	30	50	20
50	12	130	50	110	40
50	9	120	50	90	40
50	6	100	40	70	30
50	4	80	30	60	20
50	3	70	30	50	20
60	15	120	50	100	40
60	12	110	40	90	30
60	9	100	40	70	30
60	6	80	30	60	20
60	4	60	30	40	20
60	2	60	20	30	10
70	20	120	50	100	40
70	12	90	40	70	30
70	6	60	20	40	20
70	4	50	20	30	10
85	30	110	50	90	40
85	20	100	40	70	30
85	12	70	30	50	20
85	6	40	20	20	10
100	30	100	40	70	30
100	20	80	30	50	20
100	12	50	20	30	10
100	6	30	10	10	10
125	40	80	30	60	20
125	25	60	20	40	20
125	20	50	20	30	10
125	12	30	10	20	10
150	40	60	30	40	20
150	25	40	20	20	10
150	12	20	10	10	0
175	40	50	20	30	10
175	20	20	10	10	0
200	40	40	10	20	10
225	40	30	10	10	10

Het advies in formulevorm:

Lutum=30%

$$K\text{-gift} = \exp(-6,892 + 1,30372 \cdot \ln(Dsopbrengst) - 0,06326 \cdot K\text{-}CaCl_2 + 0,6831 \cdot \ln(K\text{-}CaCl_2) - 0,02449 \cdot OS + 0,1675 \cdot \ln(OS) + 0,012038 \cdot K\text{-}CaCl_2 \cdot \ln(OS))$$

Lutum=5%

$$K\text{-gift} = \exp(-5,939 + 1,29002 \cdot \ln(Dsopbrengst) - 0,04243 \cdot K\text{-}CaCl_2 + 0,2903 \cdot \ln(K\text{-}CaCl_2) - 0,01843 \cdot OS + 0,2011 \cdot \ln(OS) + 0,008096 \cdot K\text{-}CaCl_2 \cdot \ln(OS))$$

Tabel 2.15. Advies voor latere sneden in kg K₂O per ha per snede

Kg ds per ha (snedezwaarte)	Advies per snede, K ₂ O/ha	
	eerste snede met bemestingsadvies ≥80 kg K ₂ O/ha	eerste snede met bemestingsadvies <80 kg K ₂ O/ha
1700	50	25
2000	60	30
2500	70	35
3000	80	40
3500	85	40



www.nmi-agro.nl

nutriënten management
instituut nmi bv
postbus 250
6700 ag wageningen
binnenhaven 5
6709 pd wageningen
tel. (088) 876 1280
internet www.nmi-agro.nl