

april 2011

rapport 1317.N.10

Naar een zwavelbemestingsadvies voor maïsland

**dr. ir. D.W. Bussink
ing. H. van der Draai
dr. ir. L. van Schöll**

nutriënten management instituut nmi bv
postbus 250
6700 ag wageningen
agro business park 10
6708 pw wageningen
tel. (0317) 46 77 00
fax (088) 876 12 81
e-mail nmi@nmi-agro.nl
internet www.nmi-agro.nl

© 2011 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.

Verspreiding

Productschap Zuivel	2x
K+S Nitrogen	2x
BLGG AgroXpertus	2x
Yara	2x
K+S Benelux	2x
Rosier Nederland	2x
Hendrix UTD	2x
Agrifirm Plant	2x
OCI Agro	2x

Inhoud

	pagina
Samenvatting en conclusies	3
1 Inleiding	7
1.1 Achtergrond	7
1.2 Doelstelling	8
2 Materiaal en methoden	9
2.1 Opzet globaal	9
2.2 Details uitvoering 2009	9
2.3 Details uitvoering 2010	11
2.4 Statistische analyseresultaten; REML variantie componenten analyse en niet lineaire analyse	13
3 Resultaten	15
3.1 Kenmerken proeflocaties	15
3.2 Weergegevens	16
3.3 Drogstofopbrengst 2009 en 2010	17
3.4 Het N- en S-gehalte en de N- en S-opbrengst	19
3.5 NS-ratio en aminozuursamenstelling	21
4 Statistische analyse van de resultaten	23
4.1 REML variantie componenten analyse 2009	23
4.1.1 Drogstofopbrengst 2009	23
4.1.2 S-opbrengst 2009	24
4.1.3 S-gehalte snijmaïs 2009	25
4.1.4 N-opbrengst snijmaïs 2009	26
4.1.5 N-gehalte snijmaïs 2009	27
4.2 Statistische analyseresultaten 2009 en 2010, REML-analyse	28
4.3 Analyse resultaten 2009 plus 2010: Niet-lineaire multiple regressie	30
5 Discussie	35
5.1 Een mogelijk bemestingsadvies	35
5.2 De praktijk	36
5.3 De N- en S-benutting	37
6 Conclusies	39
7 Referenties	41

Samenvatting en conclusies

Op basis van een bureaustudie is vastgesteld dat op ruim 50 procent van de snijmaïspcelen op zand- en lössgrond de zwavelvoorziening te laag zou kunnen zijn voor een optimale opbrengst. Via depositie van zwavel (S), nalevering van S door de bodem en aanvoer via mest wordt minder aangevoerd dan snijmaïs nodig heeft voor een optimale groei en opbrengst. Er is daarom tweearig onderzoek gestart op proeflocaties in de praktijk om vast te stellen wanneer en hoeveel S-bemesting nodig is en of er verschillen tussen S-meststoffen te verwachten zijn. Daartoe zijn miniproeven op een groot aantal locaties in de praktijk uitgevoerd. De daaruit te verkrijgen informatie dient de basis te vormen voor een S-bemestingsadvies voor snijmaïs. Het onderzoek is tot stand gekomen door subsidie vanuit Productschap Zuivel en het bedrijfsleven te weten K+S Nitrogen, BLGG AgroXpertus, Yara, K+S Benelux, Rosier Nederland, Hendrix UTD, Agrifirm Plant (voorheen Agerland), OCI Agro (voorheen DSM Agro).

Op praktijkpercelen zijn in 2009 en 2010 op diverse grondsoorten (waarvan ongeveer 80% op zand en de rest op klei en löss) en in diverse regio's eenvoudige S-demo's aangelegd na een basisbemesting met dierlijke mest. In de proeven werd 0 kg S ha⁻¹ vergeleken met 2 S-bemestingsniveaus, van ongeveer 10 en 20 kg S ha⁻¹. Deze S werd zowel in de rij als breedwerpig toegediend. In 2009 was een groot aantal meststofsoorten opgenomen in de proef (zie onderstaande tabel). Hierdoor was het mogelijk om eventuele verschillen in werking tussen de meststofsoorten en de toedieningswijze (breedwerpig dan wel in de rij) te vergelijken. In 2010 is gewerkt met een beperkt aantal meststoffen, omdat er in 2009 geen significante verschillen tussen S-meststoffen bleken voor te komen.

Type	Meststof	N, %	P ₂ O ₅ , %	S, %	MgO, %	K ₂ O, %	Gebruikt in 2009	Gebruikt in 2010
Referentie	KAS	27					X	X
	NP	20-27	10-20				X	X
Rijenbemesting	KAS-S	24		6			X	X
	ASS/ASN	26		14			X	
	ENTEC	26		14			X	X
	ENTEC P	25	5	9				
	MAS-S	22		9	3		X	
	Humifirst 17-15	17	15	12			X	
	Novamais	26	7	4			X	X
Breedwerpig	Korn-Kali®			5	6	40	X	
	ESTA® Kieserit gran.			20	25		X	X

De basisbemesting bedroeg 30-45 m³ dunne rundermest per ha. In 2009 en 2010 hebben respectievelijk 31 en 21 melkveebedrijven meegedaan met in totaal 57 en 39 percelen. Per perceel waren 4 behandelingen gepland. In totaal zijn er 376 experimentele eenheden gerealiseerd. Van alle veldjes is kort voor de eindogst de opbrengst direct in het veld bepaald. Aansluitend werd een submonster genomen om het gehalte aan droge stof, N en S te bepalen. De resultaten van beide jaren zijn statistisch geanalyseerd om vast te stellen in hoeverre S-bemesting en de soort meststof van invloed is op de maïsoopbrengst.

Uit de analyse van de gegevens van 2009 bleek dat het type S-meststof geen significant effect heeft op de drogestofopbrengst ($p=0,598$). Hoewel sommige meststoffen bijna 1 ton meeropbrengst lijken te geven ten opzichte van KAS zijn de effecten niet significant. Breedwerpige toediening van ESTA®-Kieserit en Korn-Kali® heeft niet geleid tot een andere werking van de S dan toediening van S via rijenbemesting. Ook waren er geen significante verschillen in N-opbrengst tussen de verschillende meststoffen. Wel was er een significant verschil in S-gehalte van de maïs tussen de S-meststoffen. Omdat het type S-meststof niet van invloed was op de drogestofopbrengst zijn in 2010 minder typen S-meststoffen meegenomen.

De drogestofopbrengst bedroeg gemiddeld $16,32 \text{ ton ds ha}^{-1}$ over beide jaren ($17,12 \text{ ton ds ha}^{-1}$ in 2009 en $15,23 \text{ ton ds ha}^{-1}$ in 2010). Tussen locaties zijn er grote verschillen in opbrengst, variërend tussen 11 en $23 \text{ ton ds ha}^{-1}$. Ogenscheinlijk was er tussen wel of geen S-bemesting geen verschil in opbrengst. Dit wordt veroorzaakt door verstrengeling met andere effecten, zoals de fosfaatbemesting zo blijkt uit de statistische analyse. Het S-gehalte, de S-opbrengst en de N-opbrengst bedroegen gemiddeld $0,98 \text{ g kg}^{-1}$ ds, $16,03 \text{ kg S ha}^{-1}$ en 208 kg N ha^{-1} .

De drogestof-, N- en S-opbrengst over 2009 en 2010 zijn geanalyseerd met niet lineaire regressie waarbij een dubbel exponentieel model is gebruikt. Eerst wordt de potentiële productiecapaciteit geschat van een locatie (deze kan sterk verschillen bijvoorbeeld door een verschil in vochtvoorziening, maïsras, structuurschade, etc.). Het niveau van de bodem- en bemestingsparameters bepaalt in hoeverre deze potentiële productie gerealiseerd kan worden. Bij hoge waarden wordt de dervingsfactor F sterk negatief en wordt de potentiële productie benaderd. In formule:

$$DS_{ACT_locatie,y} = DS_{POT_Locatie,y} \times (1 - e^F)$$

Met:

DS_{POT} = potentiële productiecapaciteit

DS_{ACT} = actuele productiecapaciteit

F = dervingsfactor, welke is opgebouwd uit bodemeigenschappen en kunstmestgift

$$= (-e^a \times A - e^b \times B - \dots - e^i \times I)$$

Daarbij wordt $DS_{POT_Locatie,y}$ geschat voor alle combinaties van locatie en jaar.

Naast het zwavelleverend vermogen (SLV) en de S-bemesting bleken vooral de P- en K-toestand van de grond en de N- en P-kunstmestgift van belang voor het verklaren van de drogestofopbrengst, N-opbrengst en S-opbrengst. Andere parameters als de hoeveelheid N, P en K gegeven met dierlijke mest hadden geen significant effect op de opbrengst.

Het effect van zwavelbemesting op de opbrengst is beperkt. In onderstaande tabel is weergegeven wat de meeropbrengst is bij snijmaïs (kg ds ha^{-1}) bij een S-bemesting van 20 kg S ha^{-1} voor drie situaties van bodemvruchtbaarheid voor SLV, K-PAE en P-PAE en een potentiële drogestofproductie van 21 ton ha^{-1} (komt gemiddeld overeen met een gemiddelde productie van $16 \text{ ton ds ha}^{-1}$).

SLV	Bodemtoestand		
	laag	middel	hoog
	(P-PAE = 1,1 g kg ⁻¹) (K-PAE =34 g kg ⁻¹)	(P-PAE = 2,7 g kg ⁻¹) (K-PAE =60 g kg ⁻¹)	(P-PAE = 5,3 g kg ⁻¹) (K-PAE =95 g kg ⁻¹)
laag (4,7 kg S ha ⁻¹)	148	296	427
middel (7 kg S ha ⁻¹)	133	265	383
hoog (13 kg S ha ⁻¹)	111	222	321

Afhankelijk van de bodemtoestand voor SLV, K-PAE en P-PAE wordt een meeropbrengst van 100 tot ruim 400 kg ds ha⁻¹ verkregen. Daarbij neemt de respons op S-bemesting af bij een stijgende SLV en toe bij een stijgende P- en K-toestand van de bodem. Een hoge SLV geeft een hogere productie. De SLV is echter slechts beperkt te beïnvloeden.

Bij de hogere bodemtoestanden neemt de N-, en S-benutting met enkele procenten toe ten opzichte van geen S-bemesting. Dit is vooral het gevolg van een hogere opbrengst.

Op basis van het statistische model voor de drogestofopbrengst is nagegaan wat de optimale S-bemesting kan zijn. In onderstaande tabel is weergegeven wat de optimale gift is voor de situatie dat de laatste kg S van de te geven gift respectievelijk minimaal 10 of 5 kg meeropbrengst aan droge stof per ha moet geven om economisch rendabel te zijn .

Bodemtoestand P en K	SLV, kg S ha ⁻¹	Laatste kg S geeft minimaal 10 kg meeropbrengst		Laatste kg S geeft minimaal 5 kg meeropbrengst	
		optimale S-gift, kg S ha ⁻¹	meeropbrengst, kg ds ha ⁻¹	optimale S-gift, kg S ha ⁻¹	meeropbrengst, kg ds ha ⁻¹
		laag	4,7	5	71
(P-PAE = 1,1 g kg ⁻¹)	7	5	59	10	93
(K-PAE =34 g kg ⁻¹)	13	4	42	8	71
medium	4,7	10	211	21	282
(P-PAE = 2,7 g kg ⁻¹)	7	9	180	19	244
(K-PAE = 60 g kg ⁻¹)	13	8	138	16	192
hoog	4,7	14	354	29	450
(P-PAE = 5,3 g kg ⁻¹)	7	13	305	26	392
(K-PAE = 95 g kg ⁻¹)	13	11	238	22	311

Op zandgrond en kleigrond hebben respectievelijk 55% en 25% van de percelen een SLV van 10 of lager. In veel gevallen is aanvulling met zwavel dus gewenst. Er zijn veel meststoffen waarmee het mogelijk is om zwavel te verstrekken, waarbij het volgende schema zou kunnen worden aangehouden na een basisgift dierlijke mest.

Situatie	Advies
Er is alleen N-bemesting in de rij nodig	Gebruik een NS-meststof in de rij
Er is N- en P-bemesting nodig	Gebruik een NPS-meststof in de rij
Er is N- en K-bemesting nodig	Gebruik een NS-meststof in de rij en strooi Kali60 Gebruik een N-meststof in de rij en strooi Korn-Kali®
Er is N-, P- en K-bemesting nodig	Gebruik een NPK-meststof in de rij Gebruik een NP-meststof in de rij en strooi Korn-Kali®
Er is Mg-bemesting nodig naast een N- (P- en K-) bemesting	Gebruik ESTA® Kieserit en gebruik verder meststoffen zonder zwavel voor de rijenbemesting
Mestplaatsing* in de rij	Waarschijnlijk geen aanvulling nodig

* een systeem in opkomst. Niet duidelijk is of de zwavelvoorziening daarmee is gedekt, omdat de S uit mest slechts langzaam in minerale vorm beschikbaar komt.

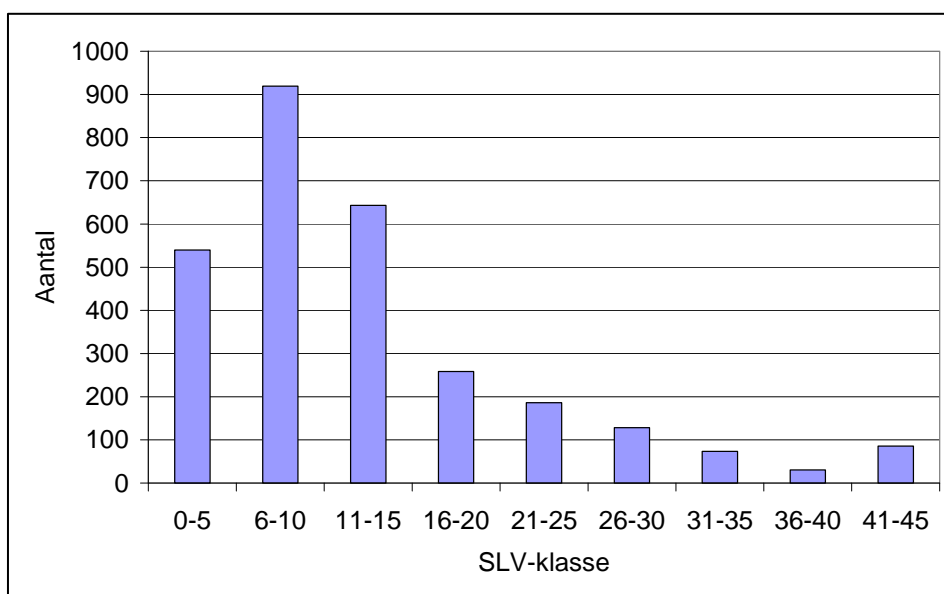
De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

- S-bemesting is relevant voor de drogestofopbrengst van snijmaïs. Een S-gift tussen de 8 en 30 kg ha⁻¹ kan een meeropbrengst van 0,1 tot 0,45 ton ds ha⁻¹ geven.
- Er zijn geen significante verschillen in S-werking aangetoond tussen de gebruikte S-meststoffen.
- De SLV heeft een significant positief effect op de drogestofproductie. Deze parameter is echter nauwelijks te beïnvloeden. Bij een stijgende SLV daalt de respons op S-bemesting.
- De reactie op S-bemesting is afhankelijk van de P- en K-toestand van de grond, de P-rijenbemesting, SLV, en het productiepotentieel van de locatie. Deze laatste wordt onder andere sterk bepaald door de vochtvoorziening van het perceel.
- S-bemesting gaf een geringe verhoging van de N-benutting door het gewas.
- De invulling van de S-bemesting door de praktijk wordt vooral bepaald door de resterende behoefte aan P en K na een basisgift dierlijke mest. Er zijn voldoende soorten S-meststof beschikbaar om een S-bemesting, een NS-bemesting of een NPS-bemesting uit te voeren in één werkgang.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Halverwege de jaren 90 kwamen er meer en meer aanwijzingen dat bemesting van grasland met zwavel (S) nodig kon zijn vanwege de continu dalende S-depositie. Eind 90-er jaren is daarom onderzoek naar de S-bemesting van grasland gestart. Dit leidde in 2002 tot een zwavelbemestingsadvies voor grasland (Bussink et al., 2002). Naast gras worden inmiddels ook andere gewassen regelmatig bemest met zwavel (bijvoorbeeld koolzaad, granen). Voor maïs is er tot nu toe geen S-bemestingsadvies. Dit omdat de S-behoefte van maïs beduidend lager is dan die van gras, waardoor minder snel tekort situaties ontstaan. Echter sinds halverwege de jaren 90 is de S-depositie continu verder gedaald en is ook de bemesting met dierlijke mest gedaald. De aanvoer van S naar maïspcelen is daardoor sterk afgenomen. Daarop is in 2006 een eerste studie gestart naar de S-voorziening van maïs. De in opdracht van de Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen (CBGV) uitgevoerde bureaustudie (Den Boer et al., 2007) leerde dat op meer dan de helft van de zand- en lösspercelen er minder S via depositie, mest en S-nalevering door de bodem (SLV, Figuur 1.1) wordt aangevoerd dan maïs nodig heeft voor een optimale groei en opbrengst. Er was een duidelijk positief verband tussen het S-gehalte en het RE-gehalte van de maïs. Een lager S-gehalte ging gepaard met een lager RE-gehalte. Op basis van dit onderzoek adviseerde de CBGV dat het gewenst was om een bemestingsadvies voor S op snijmaïs te ontwikkelen.



Figuur 1.1 *Frequentieverdeling SLV bij continueelt op zand, gemiddeld over 2003-2007. Ruim 50% heeft een SLV <10. Voor deze situaties is de aanvoer van S op het perceel kleiner dan de afvoer via het gewas.*

Ook vanuit de praktijk kwamen er meer en meer vragen of S-bemesting op maïs nodig is, temeer daar een hoge maïsoopbrengst gewenst is op bedrijven met een beperkt aandeel maïs in verband met derogatie. Verder leidt een optimale voorziening met S mogelijk tot een betere kwaliteit van de maïs en een hogere N-benutting door het gewas.

Indien zwavelbemesting nodig is dan is er een breed palet aan meststoffen beschikbaar. Niet duidelijk is of er verschillen te verwachten zijn tussen meststofsoorten. Er is daarom tweejarig onderzoek gestart op proeflocaties in de praktijk om vast te stellen wanneer zwavelbemesting nodig is en of er verschillen tussen zwavelmeststoffen te verwachten zijn. Daartoe zijn miniproeven op een groot aantal locaties in de praktijk uitgevoerd. De daaruit te verkrijgen informatie dient de basis te vormen voor een S-bemestingsadvies voor snijmaïs.

Het onderzoek is tot stand gekomen door subsidie vanuit Productschap Zuivel en het bedrijfsleven te weten K+S Nitrogen, BLGG AgroXpertus, Yara, K+S Benelux, Rosier Nederland, Hendrix UTD, Agrifirm Plant (voorheen Agerland), OCI Agro (voorheen DSM Agro).

1.2 Doelstelling

Het doel van de studie is vast te stellen:

- wanneer S-tekorten in snijmaïs optreden; en
- welke aanvullende S-bemesting nodig is om een adequate S-voorziening te waarborgen.

Een afgeleide vraag was daarnaast:

- zijn er verschillen in werking tussen diverse S-meststoffen.

2 Materiaal en methoden

2.1 Opzet globaal

Op maïspcelen uit de praktijk zijn in 2009 en 2010 op diverse grondsoorten (waarvan ongeveer 80% op zand en de rest op klei en löss) en in diverse regio's eenvoudige S-demo's aangelegd waarin 0 kg S ha⁻¹ vergeleken wordt met 2 S-bemestingsniveaus, van ongeveer 10 en 20 kg S ha⁻¹. Deze S werd zowel in de rij als breedwerpig toegediend.

In 2009 was een groot aantal meststofsoorten opgenomen in de proef. Hierdoor was het mogelijk om eventuele verschillen in werking tussen de meststofsoorten en de toedieningwijze (breedwerpig dan wel in de rij) te vergelijken. In 2010 is gewerkt met een beperkt aantal meststoffen.

Van alle veldjes is kort voor de eind oogst in september de opbrengst bepaald. De verse opbrengst werd direct in het veld bepaald. Vervolgens werd een submonster uitgevoerd om het gehalte aan droge stof, N en S te bepalen. De resultaten van beide jaren zijn statistisch geanalyseerd om vast te stellen in hoeverre S-bemesting en de soort meststof van invloed is op de maïsoopbrengst.

2.2 Details uitvoering 2009

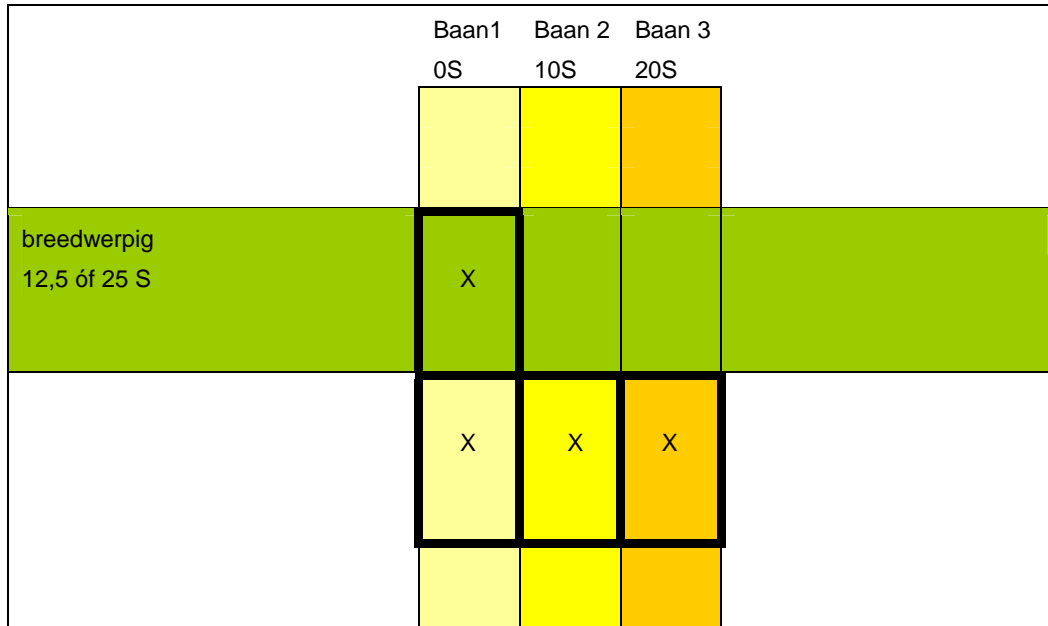
Aan de proef in 2009 hebben 31 melkveebedrijven meegedaan met in totaal 57 percelen. Per perceel waren 4 behandelingen gepland, zodat er 228 experimentele eenheden waren.¹ Tijdens de uitvoering zijn 8 experimentele eenheden weggevallen, waardoor er 220 overbleven. Met dit aantal kan een beeld worden verkregen of S-tekorten optreden en of een aanvullende S-bemesting zinvol is.

Er zijn zowel S-rijenmeststoffen als breedwerpig te strooien S-meststoffen in de proef meegenomen. Voor de rijenbemesting werd naast de controle strook met 0S op twee stroken een S-gift in de rij toegepast met een NS (of NPS)-meststof, met als streefniveau 10 of 20 kg S ha⁻¹. Aanvullend is dwars op de rij een strook breedwerpig bemest, met zwavel op niveaus van 12,5 of 25 kg S ha⁻¹ (hierbij werd verondersteld dat de effectiviteit van S in de rij ten opzichte van S breedwerpig vergelijkbaar is met die van N-meststoffen in de rij (+25%) ten opzichte N-breedwerpig). De variant met 0S in de rij plus breedwerpig gegeven S is in de proef gevolgd. In totaal levert dit 6 experimentele eenheden, waarvan er uiteindelijk 4 zijn meegenomen op niveaus van: 0, 10 of 20 kg S ha⁻¹ (zie Schema 2.1).

De percelen zijn voorafgaand aan de bemesting bemonsterd. Het grondmonster werd regulier onderzocht met daarnaast aanvullend onderzoek op de S-beschikbaarheid (S_{min} en Sorg). Alle percelen kregen een basisbemesting met 30-45 m³ dunne rundermest per ha. De samenstelling van de dierlijke mest is geanalyseerd. De percelen kregen daarbij een N (of een NP)-rijenbemesting, om zo een optimale N- en P-voorziening te realiseren.

¹ In eerste instantie was uitgegaan van 168 veldjes. Doordat er uiteindelijk veel verschillende S-meststoffen meeliepen in de proef is het aantal veldjes uitgebreid tot 228.

Schema 2.1 Bemestings- en bemonsteringschema van demo's 2009. De 4 gemarkeerde deelstukken zijn geogst.



Voor zowel de rijenbemesting als de breedwerpige bemesting zijn verschillende S-meststoffen gebruikt. Een overzicht van de gebruikte meststoffen en het aantal veldjes waarop de meststoffen zijn toegepast is gegeven in Tabel 2.1. Uiteindelijk zijn er 69 referentie objecten ontstaan (32 Kas en 37 NP) in plaats van de geplande 57. Dit komt omdat bij de uitvoering van de bemesting soms verschillende referentierijenbemestingen naast elkaar zijn gelegd in plaats van een S-rijenbemesting. Ook de uiteindelijk gerealiseerde S-bemestingsniveaus waren niet altijd gelijk aan de proefopzet. Bij de statistische bewerking is hier rekening mee gehouden door uit te gaan van de daadwerkelijk gerealiseerde bemesting in plaats van de geplande niveaus.

De meststoffen hadden uiteenlopende samenstellingen, waarbij naast het S-gehalte ook verschillende gehalten aan N-P-K en Mg aanwezig waren. Een overzicht van de samenstelling van de verschillende meststoffen is gegeven in Tabel 2.2.

Tabel 2.1. Aantal stroken per meststoftype 2009.

Type	Meststof	Gerealiseerd aantal 2009	Beoogd aantal 2009
Referentiemeststof	KAS	32	42
	NP	37	0
Rijenbemesting	KAS-S	23	24
	ASS/ASN	26	24
	ENTEC	13	12
	MAS-S	15	12
	Humifirst	10	12
	Novamais (NPS)	7	0
Breedwerpig	Korn-Kali®	18	18
	ESTA® Kieserit gran.	39	24
Totaal		220	168

Tabel 2.2. Gehaltes N-P-K-S-Mg in de gebruikte meststoffen.

Type	Meststof	N	P ₂ O ₅	S	MgO	K ₂ O
Referentie	KAS	27				
	NP	20-27	10-20			
Rijenbemesting	KAS-S	24		6		
	ASS/ASN	26		14		
	ENTEC	26		14		
	MAS-S	22		9	3	
	Humifirst 17-15	17	15	12		
	Novamais	26	7	4		
Breedwerpig	Korn-Kali®			5	6	40
	ESTA® Kieserit gran.			20	25	

Voor het aanbreken van het oogstmoment (september) is de opbrengst vastgesteld van 4 veldjes: 0S, 0S plus S-breedwerpig en van de twee S-rijenstroken. De veldjes werden handmatig geoogst tussen 24 augustus en 22 september. Daarbij werden van elk veldje van twee verschillende rijen over een lengte van precies 3 meter alle planten geoogst. Bij de veldjes met de breedwerpige bemesting werd er voor gezorgd om niet in maar naast het rijspoor te oogsten. De planten uit de afzonderlijke rijen werden geteld en gewogen met behulp van een driepoot en een unster. Vervolgens werden de planten van beide rijen samengenomen en gehakseld in een takkensnipperaar. Het gehakselde materiaal werd opgevangen op zeil en vervolgens overgebracht in een cementkuip. Hieruit werd met een boor een gewasmonster van 1 kg gestoken. Dit gewasmonster werd door BLGG AgroXpertus geanalyseerd op gehalten aan droge stof en aan N, P en S. De aanleg en uitvoering van de werkzaamheden zijn vooral door NMI uitgevoerd met medewerking van de ondernemers.

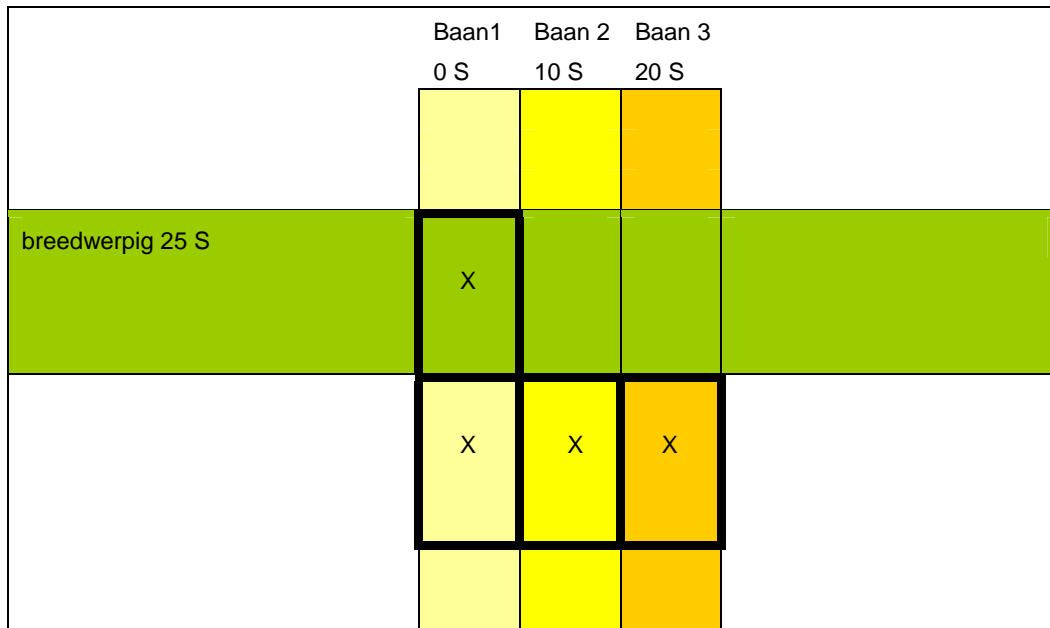
2.3 Details uitvoering 2010

In 2010 is de proef in gewijzigde (eenvoudiger) opzet herhaald. Omdat er in 2009 was gebleken dat er geen significant verschil was tussen meststoffen zijn er minder typen S-meststoffen gebruikt. Daardoor kon met minder locaties worden volstaan. Aan de proef in 2010 hebben 21 melkveebedrijven meegedaan met in totaal 39 percelen. Per perceel waren 4 behandelingen gepland, met in totaal 156 experimentele eenheden. Grotendeels bestonden de demo's uit dezelfde locaties en percelen als in 2010, maar deels deden ook nieuwe bedrijven of percelen mee. Er werd naar gestreefd op elk perceel meerdere S-bemestingsniveaus aan te leggen, opdat nauwkeuriger een optimum voor de S-bemesting kon worden vastgesteld. Omdat met een enkele S-meststof niet alle niveaus aan te leggen waren zonder ook de N- en P-bemesting sterk te beïnvloeden, is er gebruik gemaakt van twee proefschema's (Schema 2.2 en Schema 2.3).

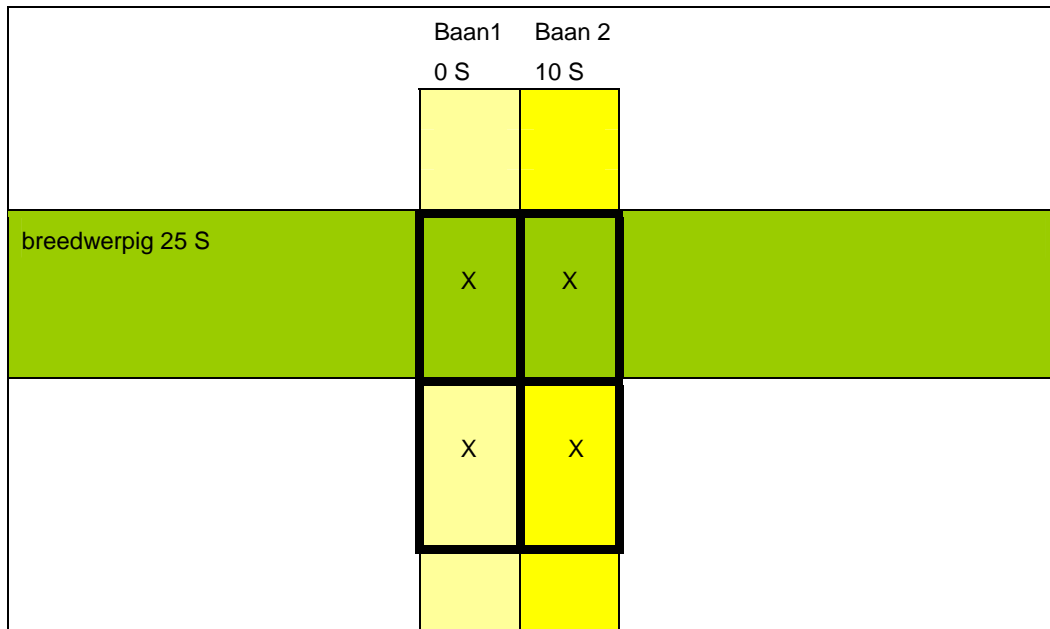
Tabel 2.3. Gebruikte meststoffen in 2010.

Type	Meststof	N	P ₂ O ₅	S	MgO
Referentiemeststof	KAS	27			
	NP	20-27	10-20		
Rijenbemesting	ENTEC	26		14	
	ENTEC P	25	5	9	
	KAS-S	26		6	
	Novamais (NPS)	26	7	4	
Breedwerpig	ESTA® Kieserit gran.	22		20	25

Schema 2.2 Bemestings- en bemonsteringschema van demo's 2010, opzet 1. De 4 gemarkeerde deelstukken zijn geoogst.



Schema 2.3 Bemestings- en bemonsteringschema van demo's 2010, opzet 2. De 4 gemarkeerde deelstukken zijn geoogst.



Opgemerkt moet worden dat op sommige locaties de uiteindelijke opzet afweek van het voorgelegde proefschema. Ook de uiteindelijk gerealiseerde S-bemestingsniveaus waren niet altijd gelijk aan de proefopzet. Bij de statistische bewerking is hier rekening mee gehouden door uit te gaan van de daadwerkelijk gerealiseerde bemesting in plaats van de geplande niveaus.

2.4 Statistische analysesresultaten; REML variantie componenten analyse en niet lineaire analyse

REML variantie componenten analyse

Voor de statistische analyse van de data is in eerste instantie gebruik gemaakt van de REML-procedure in het statistische software pakket GenStat 12.1 (REsidual Maximum Likelihood, Genstat 5 comitee, 1993). REML is een analysetechniek waarmee de behandelingseffecten en de variantiecomponenten in een lineair gemengd model geschat kunnen worden. Hiertoe wordt een model opgesteld met zowel vaste (fixed) factoren als willekeurige (random) factoren. Vaste factoren zijn factoren die direct en sterk van invloed zijn en die in verschillende niveaus aangelegd (S-bemestingsniveaus) of gemeten zijn (bijvoorbeeld SLV). Willekeurige factoren zijn factoren die wél van invloed zijn, maar die níet van te voren beïnvloedbaar zijn óf die binnen het onderzoek onvoldoende gekwantificeerd (kunnen) worden. Voorbeelden van random factoren zijn proefjaar (vanwege weersinvloeden onvoorspelbaar), percelen op verschillende locaties die onderling verschillen in meerdere bodemeigenschappen, vochtvoorziening, zaaidatum of oogsttijdstip, etc. Binnen de REML-procedure worden deze factoren als één of enkele verzamelterm(en) meegewogen als random factor. Hiermee wordt een deel van de ruis (variatie) in de data verklaard zonder dat het model aan kracht inboet, wat wel het geval zou zijn als de random factoren allemaal afzonderlijk meegenomen zouden moeten worden (verlies aan vrijheidsgraden).

Nagegaan is welke bodem- en bemestingsfactoren van invloed zijn op de opbrengst, de S-opbrengst en de N-opbrengst. Er zijn daartoe naast de SLV en de S-bemesting diverse andere bodemparameters meegenomen, omdat met name de fosfaattoestand maar ook de K- en Mg-toestand van invloed kunnen zijn op de opbrengst. Dat geldt ook voor de fosfaat-, de stikstof en de kaliumgift. Bij de oogst zijn stroken van 2,5 meter geogst. Plantaantallen per strook kunnen soms verschillen over deze afstand (er zijn bijvoorbeeld planten weggevallen). In de REML variantie componenten analyse zijn daartoe een groot

Tabel 2.4. Parameters die zijn meegenomen in de statistische analyse.

Modelparameter	Toelichting	Eenheid
• Skm	S-gift kunstmest	(kg S ha ⁻¹)
• Meststofftype	S-meststofftype	(KAS,KASS, ENTEC, MAS-S, NP, Humifirst, Novamais, Esta [®] Kieserit, Korn-Kali [®])
• SLV	zwavelleverend vermogen	(kg S ha ⁻¹)
• NLV	stikstofleverend vermogen	(kg N ha ⁻¹)
• P-PAE	fosfaat intensiteit	(mg P per kg grond)
• P-AL	fosfaat capaciteit	(mg P ₂ O ₅ per 100 gram grond)
• OS	= OS-gehalte	(%)
• pH		
• K-PAE	kalium beschikbaarheid	(mg K per kg grond)
• Mg-PAE	magnesium beschikbaarheid	(mg Mg per kg grond)
• Pkm	P-kunstmest rij	(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 rij	(kgN ha ⁻¹)
• Kkm	K-kunstmest	(kg K ₂ O ha ⁻¹)
• Kdm	K-dierlijke mest	(kg K ₂ O ha ⁻¹)
• cumplant	aantal geogste planten	
• c2	cumplant**2	

aantal bodem- en bemestingsparameters meegenomen en getoetst (Tabel 2.4). Ook interacties tussen parameters zijn meegenomen (voor zover relevant).

De continue parameters hadden vaak een groot bereik (van laag naar hoog) . 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 “ln” voorafgaand aan de parameter.

In 2009 is een breed palet aan meststoffen meegenomen. Daarom zijn de resultaten van 2009 eerst separaat statistisch geanalyseerd, waarbij het type S-meststof als factor is meegenomen in de analyse.

Als Random factoren zijn voor alleen 2009 en voor 2009 en 2010 samen mee opgenomen:

- Locatie
- Locatie/perceel (per locatie deden 2-4 percelen mee)
- Jaar.Grondsoort (alleen voor 2009 en 2010 samen)

Niet lineaire regressie

Bij de overall analyse van 2009 en 2010 zijn modellen met veel termen verkregen. Nadere uitwerking in spreadsheets (niet getoond) om na te gaan hoe sterk het effect van S-bemesting op de opbrengst was, om zo een advies voor S-bemesting af te leiden, gaf een aantal bijzonderheden aan. De gemodelleerde opbrengsten waren hoger dan de gemeten opbrengsten. Ook was het effect van fosfaat niet eenduidig. Naarmate de P-toestand hoger was nam de respons op fosfaatbemesting toe. Mogelijk komt dit doordat op maar een klein deel van de locaties P-bemesting plaatsvond en/of door de grote opbrengstverschillen tussen locaties. Daarom is er overgestapt op niet-lineaire multiple regressie voor de analyse van de drogestofopbrengsten van 2009 plus 2010. Het voordeel van deze benadering is dat er expliciet rekening gehouden kan worden met verschillen in productiepotentieel tussen verschillende locaties.

Bij de niet-lineaire multiple regressie is een dubbel exponentieel model gebruikt. Eerst wordt de potentiële productiecapaciteit geschat van een locatie (deze kan sterk verschillen bijvoorbeeld door een verschil in vochtvoorziening, maïsras, structuurschade, etc). Het niveau van de bodem- en bemestingsparameters bepaalt in hoeverre deze potentiële productie gerealiseerd kan worden. Bij hoge waarden wordt de dervingsfactor F sterk negatief en wordt de potentiële productie benaderd. In formule:

$$DS_{ACT_locatie_y} = DS_{POT_Locatie_y} \times (1 - e^F)$$

Met:

DS_{POT} = potentiële productiecapaciteit

DS_{ACT} = actuele productiecapaciteit

F = dervingsfactor, welke is opgebouwd uit bodemeigenschappen en kunstmestgift
 = $(-e^a \times A - e^b \times B - \dots - e^i \times I)$

Daarbij wordt $DS_{POT_Locatie_y}$ geschat voor alle combinaties van locatie en jaar.

Meststofftype is een factor die niet getalsmatig geanalyseerd kan worden in deze aanpak. Uit de REML variantie componenten analyse bleek echter dat meststofftype niet significant van invloed was op de drogestofproductie en daarom ook niet hoeft te worden meegenomen in de analyse.

3 Resultaten

3.1 Kenmerken proeflocaties

Tabel 3.1. Overzicht van de proeflocaties 2009 en 2010.

Parameter	Grondsoort	Aantal	Gem.	Minimum	Maximum	25perc	75,0perc	Mediaan
SLV (kg S ha ⁻¹)	Dekzand	295	7,6	2	18	5	9	7
	Löss	21	8,3	6	10	6	10	9
	Rivierklei	14	8,5	7	10	7	10	9
	Zeeklei	38	13,3	6	26	10	15	12
PPAE mg P kg ⁻¹ grond	Dekzand	295	3,2	0,4	13,5	1,7	4,5	3,0
	Löss	21	2,4	2,1	2,7	2,1	2,7	2,4
	Rivierklei	14	6,1	1,1	17,0	2,1	1,7	2,1
	Zeeklei	38	2,4	0,5	3,7	2,3	3,1	2,5
PAL mg P ₂ O ₅ /100g	Dekzand	295	51	26	117	39	61	48
	Löss	21	46	41	55	41	55	41
	Rivierklei	14	88	30	232	30	232	31
	Zeeklei	38	44	18	57	44	54	49
MgPAE mg Mg kg ⁻¹ grond	Dekzand	295	82	18	174	53	100	82
	Löss	21	82	76	89	76	89	82
	Rivierklei	14	252	201	286	232	286	259
	Zeeklei	38	156	64	344	76	200	104
pH	Dekzand	295	5	4,4	6,5	4,8	5,3	5,1
	Löss	21	6	6,3	6,6	6,3	6,6	6,4
	Rivierklei	14	6	5,5	6,0	5,6	6,0	5,6
	Zeeklei	38	7	5,9	7,4	6,2	7,0	6,3
KPAE mg K kg ⁻¹ grond	Dekzand	295	57	7	118	41	63	54,5
	Löss	21	83	79	92	79	92	79
	Rivierklei	14	160	95	297	95	297	111,5
	Zeeklei	38	81	54	109	63	95	87
K-bemesting kg K ₂ O ha ⁻¹	Dekzand	299	274	24	621	238	308	268
	Löss	21	257	232	261	261	261	261
	Rivierklei	14	188	120	284	120	284	169
	Zeeklei	38	195	0	314	176	306	176
N-bemesting kg N ha ⁻¹	Dekzand	299	187	2	422	143	223	174
	Löss	21	177	125	205	146	205	205
	Rivierklei	14	164	133	187	161	183	164
	Zeeklei	38	188	33	358	130	226	195
Ptot kg P ₂ O ₅ kg ⁻¹	Dekzand	299	89	42	378	65	91	75
	Löss	21	64	58	65	65	65	65
	Rivierklei	14	81	56	108	64	98	85
	Zeeklei	38	102	0	239	70	107	83
Pkm kg P ₂ O ₅ kg ⁻¹	Dekzand	299	6,9	0,0	34,0	0,0	13,2	0,0
	Löss	21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Rivierklei	14	2,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0
	Zeeklei	38	8,5	0,0	40,0	0,0	13,2	0,0

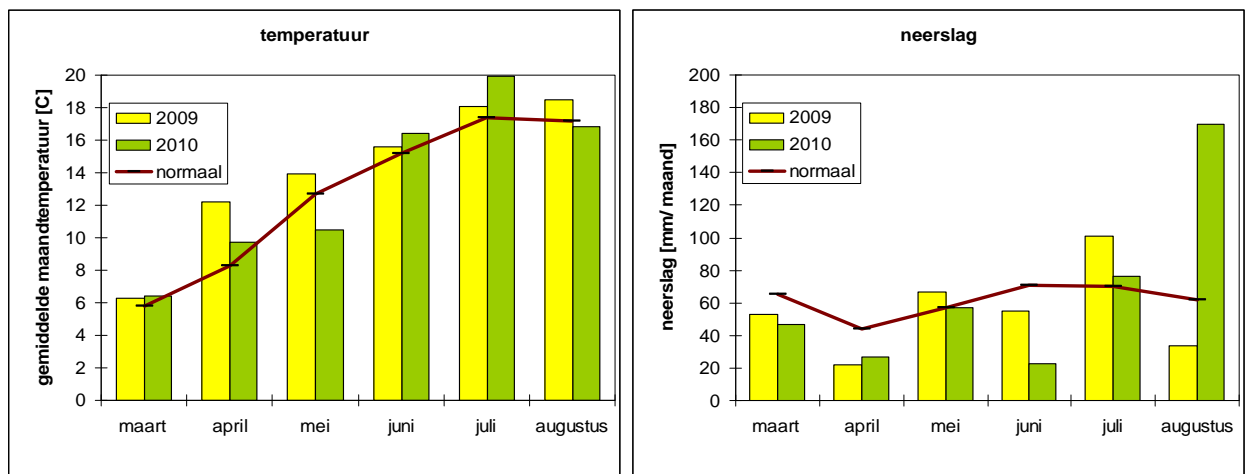
Ongeveer 75% van de proeven zijn uitgevoerd op zandgrond. De gegevens laten zien dat er grote verschillen zijn in de fosfaattoestand van percelen. Gemiddeld bedroeg de fosfaatbemesting bijna 90 kg ha⁻¹, waarvan ruim 90% afkomstig uit dierlijke mest. Op meer dan de helft van de locaties is geen fosfaat gegeven met kunstmest (de mediaan bij P_{km} is 0). De pH is op een deel van de percelen aan de lage kant. Dat geldt ook voor de K-toestand op zand. De kalibemesting bevond zich op een goed niveau met ruim 270 kg op dekzand, met grote verschillen tussen percelen. De stikstofbemesting was gemiddeld gesproken goed. Tussen locaties waren er wel verschillen; op een kwart van de percelen is minder dan 150 kg N ha⁻¹ gegeven.

3.2 Weergegevens

De gewasgroei wordt in belangrijke mate bepaald door het weersverloop gedurende het groeiseizoen. Uit de weersgegevens van het KNMI (www.knmi.nl) blijkt dat zowel 2009 als 2010 een droog groeiseizoen lieten zien, waarbij augustus 2010 extreem nat was. De gemiddelde maandtemperaturen waren gemiddeld hoger dan normaal, waarbij vooral het voorjaar 2009 erg warm was. In 2010 was mei daarentegen juist koel. In 2010 is op een aantal locaties enige droogteschade opgetreden.

Het voorjaar van 2009 was zeer zacht, zeer zonnig en gemiddeld over het hele land droog, en is volgens de KNMI de op een na zachtste lente in de afgelopen eeuw. Maart was warm en droog, in april was het zeer warm vergeleken met normaal in april en droog. Er kon dus vroeg tijd gezaaid worden. Mei was ook warmer dan normaal met een hogere hoeveelheid neerslag dan normaal, wat gunstig is voor de gewasgroei en mineralisatie van N en S. Opvallend waren vooral de zeer zware onweersbuien (gemiddeld 25 mm) met stormstoten eind mei (25-26 mei), die lokaal veel gewasschade veroorzaakten. De zomer van 2009 was warm, zonnig en gemiddeld vrij droog. Alleen in juli viel er meer dan de normale hoeveelheid regen. Daarbij was er een sterk wisselend weerbeeld, met warme droge tijdsvlakken en natte koelere tijdsvakken.

De lente van 2010 was zeer zonnig en droog, met gemiddeld normale temperatuur. Maart en april waren zacht, iets warmer dan normaal en droog. Er kon dus vroeg gezaaid worden. In mei was het zeer koel, ongunstig voor mineralisatie en gewasgroei, met een neerslaghoeveelheid gelijk aan normaal. De zomer



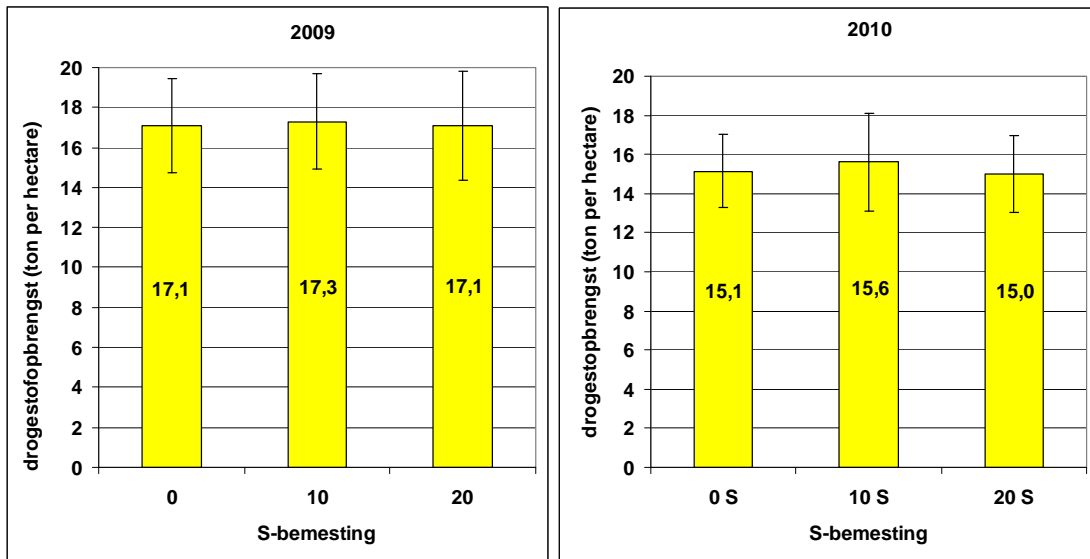
Figuur 3.1. Gemiddelde maandtemperaturen en maandelijks neerslaghoeveelheden gedurende de groeiseizoenen van 2009 en 2010, vergeleken met 'normaal'. 'Normaal' = langjarig gemiddelde 1971-2000.

Bron gegevens: www.KNMI.nl.

van 2010 was warm en zonnig maar ook nat. Juni was warm en zeer droog, juli was zeer warm met precies de normale hoeveelheid neerslag. Augustus was zeer koel en nat. De hoeveelheid neerslag was bijna drie maal zo hoog als normaal, waarmee augustus de op een na natste augustus sinds 1901 werd.

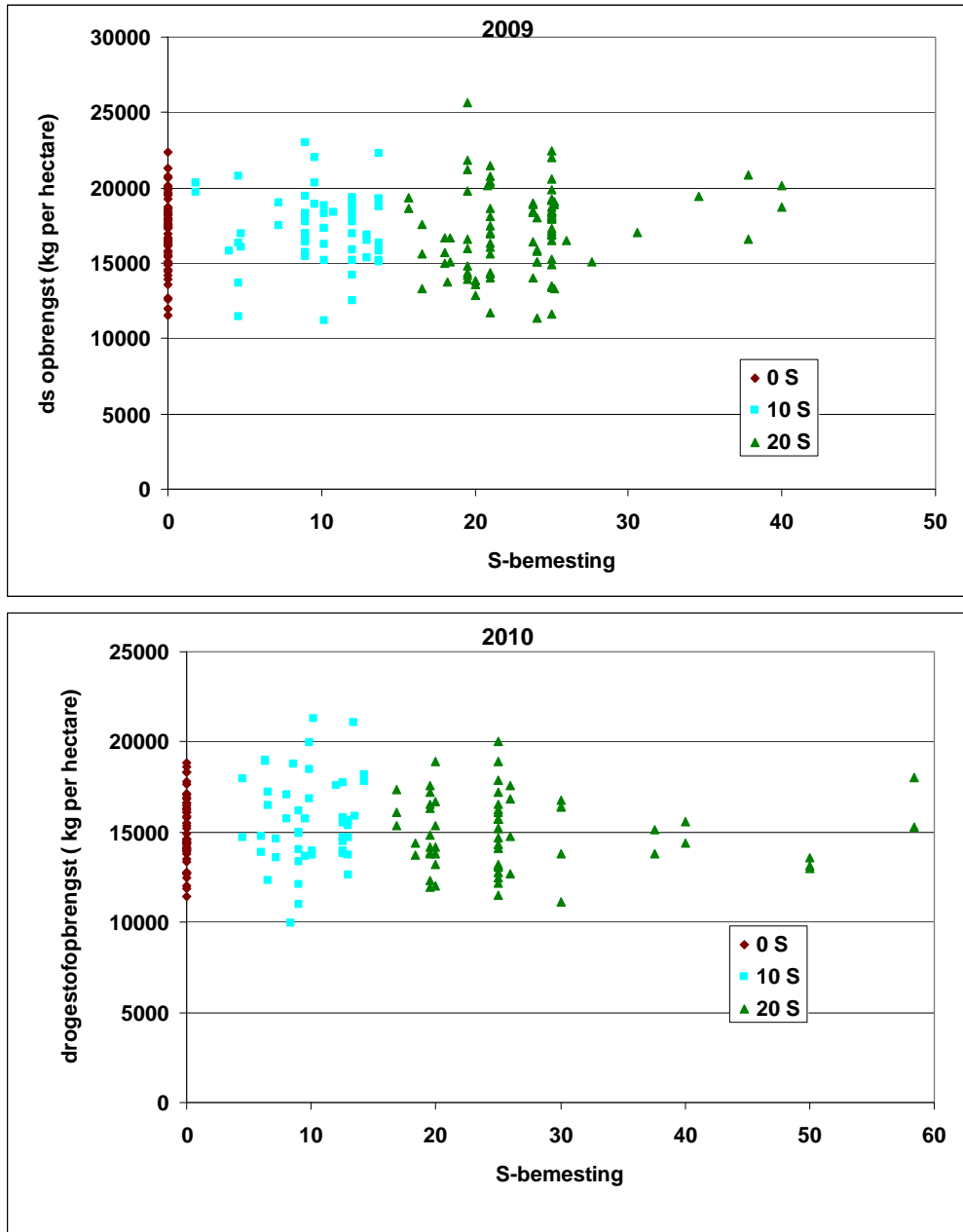
3.3 Drogestofopbrengst 2009 en 2010

De drogestofopbrengst bedroeg gemiddeld 16,32 ton ds ha⁻¹. De opbrengsten per bemestingsniveau zijn voor 2009 en 2010 uitgezet in Figuur 3.2. De gemiddelde opbrengsten lagen in 2010 gemiddeld 2 ton ds ha⁻¹ lager dan in 2009 (17,12 om 15,23 ton ds ha⁻¹). Dit kan verklaard worden uit het weersverloop over het groeiseizoen, waarbij 2009 warm en enigszins droog, en 2010 droger en vooral in mei koeler was. In beide jaren zijn de verschillen tussen de bemestingsniveaus klein, terwijl de variatie binnen de bemestingsniveaus groot is. Dit komt tot uitdrukking in de standaardvariatie in Figuur 3.2. Bij een eerste globale vergelijking lijkt er ogenschijnlijk geen effect van S-bemesting op de drogestofopbrengst te zijn. Dat is er overigens wel zo blijkt uit de analyse (zie pagina 21 en verder), nadat rekening is gehouden met verschillen in o.a. fosfaat- en kaliumbodenvruchtbaarheid.



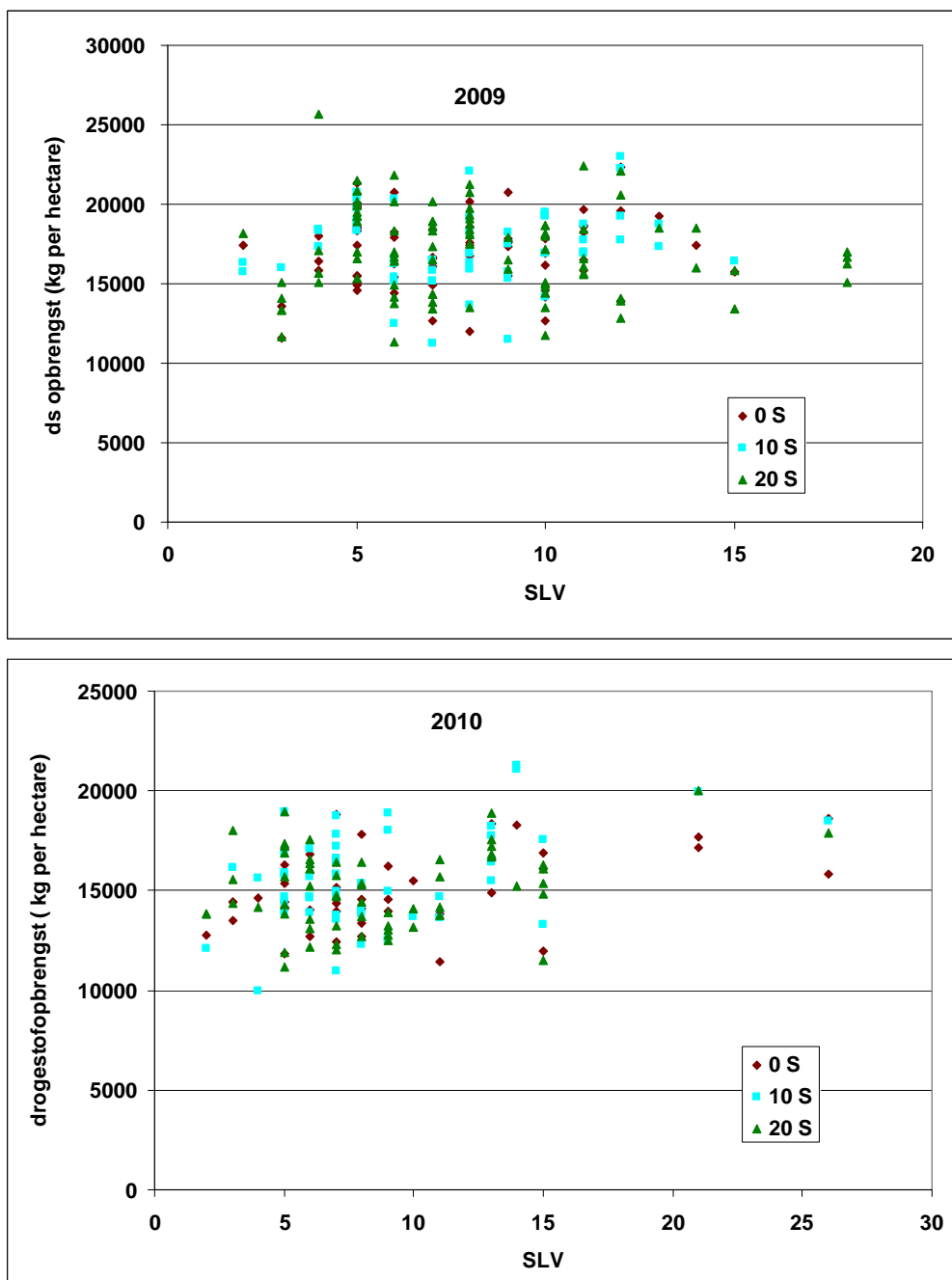
Figuur 3.2. Drogestofopbrengst van de S-bemestingsproef in snijmais, weergegeven per S-bemestingsniveau en proefjaar, met standaardvariatie weergegeven als staafjes.

De daadwerkelijk gerealiseerde S-giften op de praktijkpercelen weken af van de oorspronkelijk geplande giften, vooral bij de rijenmeststoffen. Zowel hogere als lagere giften kwamen voor. Een vergelijking van de daadwerkelijk gerealiseerde giften met de drogestofopbrengsten leverde echter geen duidelijker verband, zoals blijkt uit Figuur 3.3 en Figuur 3.4. Te zien valt verder dat er een zeer grote spreiding rond het gemiddelde optreedt. De drogestofopbrengst verschilde sterk tussen de locaties. Het verschil tussen de locatie met de laagste en de locatie met de hoogste maïsoopbrengst bedroeg een factor twee. Oorzaak van deze brede ruis en het ontbreken van een duidelijk effect van S-bemesting (Figuur 3.4) is dat de drogestofopbrengst ook beïnvloed wordt door andere factoren, zoals de fosfaat- en kalitoestand en de vochtvoorziening.



Figuur 3.3. Drogestofopbrengst van de S-bemestingsproeven in snijmais, weergegeven gerealiseerde S-bemesting. Markeringstekens geven de geplande S-bemesting weer.

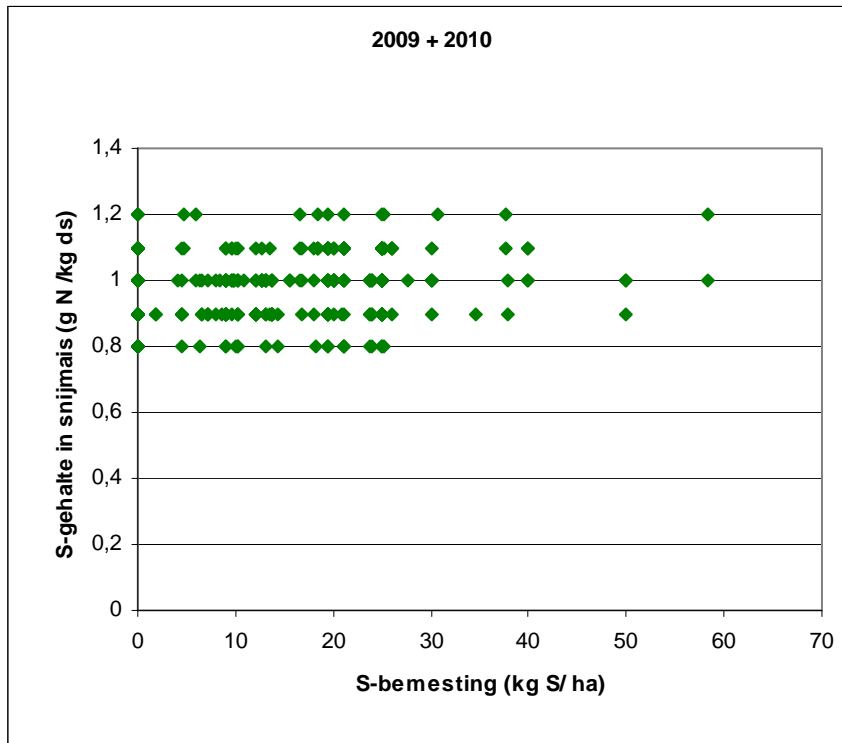
Verwacht werd dat de respons op S-bemesting mede afhankelijk zou zijn van het zwavelleverend vermogen (SLV) van de bodem. Uit Figuur 3.4 blijkt dat niet duidelijk. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door verstrengeling met andere effecten bij de S-bemesting. In paragraaf 4.1 en 4.3. Wordt hier nader op ingegaan.



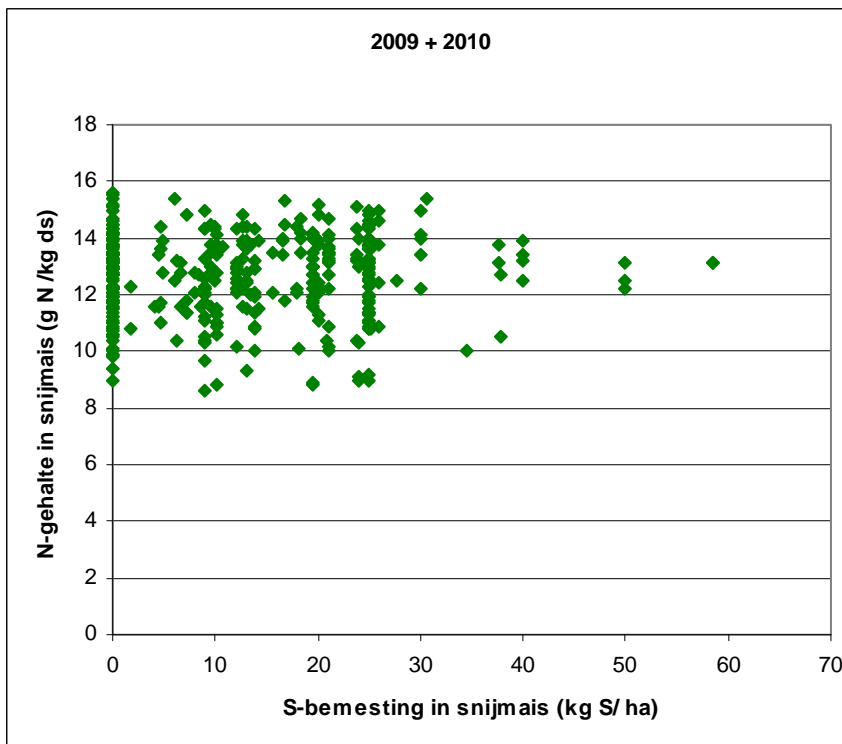
Figuur 3.4. Drogestofopbrengst van de S-bemestingsproeven in snijmaïs in 2009 en 2010 weergegeven voor SLV van de grond. Markeringstekens geven de geplande S-bemesting weer.

3.4 Het N- en S-gehalte en de N- en S-opbrengst

Uit Figuur 3.4 blijkt dat het S-gehalte in snijmaïs ongeveer $1 \text{ g (0,983) ha}^{-1} \text{ ds}$ bedraagt. De minimum en maximum waarden bedragen respectievelijk $0,8$ en $1,2 \text{ g ha}^{-1} \text{ ds}$. Dit is een kleine bandbreedte. Bij gras kan het S-gehalte minder dan 2 maar ook meer dan $4 \text{ g ha}^{-1} \text{ ds}$ bedragen. Een verband tussen de S-bemesting en het S-gehalte lijkt niet aanwezig te zijn (Figuur 3.5, Tabel 3.2). Ook is er niet direct een verband zichtbaar tussen de S-bemesting en het N-gehalte (Figuur 3.6, Tabel 3.2). Het N-gehalte bedroeg gemiddeld $12,67 \text{ g N ha}^{-1} \text{ ds}$.

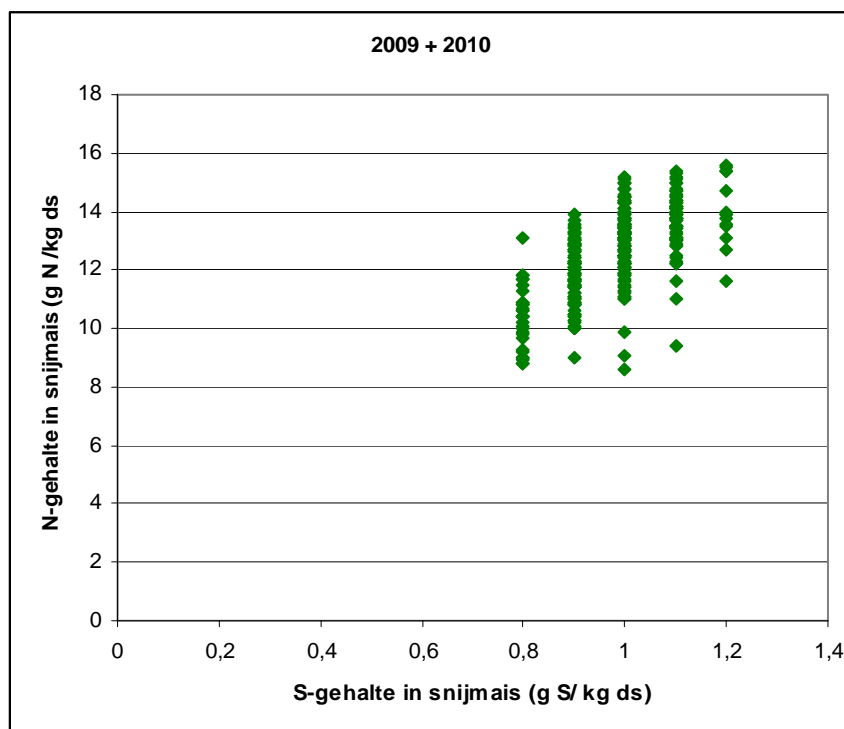


Figuur 3.5. De relatie tussen de S-bemesting en het S-gehalte in snijmaïs.



Figuur 3.6. Het verband tussen de gerealiseerde S-bemesting en N-gehalte in snijmaïs 2009 en 2010.

Wel is er een duidelijk relatie tussen het S-gehalte en het N-gehalte (Figuur 3.7). Een lager S-gehalte gaat gepaard met een lager N-gehalte. Dit is ook te verwachten daar S een onderdeel is van aminozuren en daarmee van het eiwit in snijmaïs. Ook Den Boer et al., 2007 toonden in een eerdere studie een positief verband aan tussen het S-gehalte en het ruweiwitgehalte van de maïs.



Figuur 3.7. Het verband tussen de gerealiseerde S-bemesting en N-gehalte in snijmaïs 2009 en 2010.

De N-opbrengst bedroeg ongeveer 207 kg N ha^{-1} , waarbij er geen verschillen lijken te zijn tussen wel en geen S-bemesting (Tabel 3.2). De S-opbrengst bedroeg ongeveer 16 kg S ha^{-1} , waarbij er geen verschillen lijken te zijn tussen wel en geen S-bemesting (Tabel 3.2).

Tabel 3.2. Het N- en S-gehalte en de N- en S-opbrengst bij geen of wel bemesting met zwavel, gemiddeld over 2009 en 2010.

S-bemesting	N-gehalte, $\text{g N kg}^{-1} \text{ ds}$	S-gehalte, $\text{g S kg}^{-1} \text{ ds}$	N-opbrengst, kg N ha^{-1}	S-opbrengst, kg S ha^{-1}
Geen	12,71	0,979	208,7	16,02
Wel	12,65	0,985	205,9	15,96

3.5 NS-ratio en aminozuursamenstelling

De NS-ratio wordt vaak als criterium gebruikt voor de voorziening met S. Bij gras is er boven NS-ratios van 15 een kans op opbrengstderving door zwaveltekorten (Tabel 3.3). Slechts 1,6 procent van de monsters heeft een waarde boven de 15. Niet duidelijk is of voor maïs dezelfde indeling mag worden gehanteerd als voor gras.

Daar S een onderdeel is van aminozuren en daarmee van het eiwit in snijmaïs geeft een analyse van de aminozuursamenstelling mogelijk aanvullende informatie. Indicatief zijn twee monsters geanalyseerd. Er zijn vrijwel geen verschillen in aminozuursamenstelling. Op basis van aanvullende informatie (pers. med. Taube) zijn bij NS-ratios boven de 18 duidelijke verschillen te verwachten. Het gehalte Asparaginezuur stijgt dan sterk terwijl Methionine en Cysteïne vrijwel niet veranderen. Gegeven de gemeten NS-ratios in deze proef zijn in 2010 geen verdere monsters genomen voor analyse op aminozuursamenstelling.

Tabel 3.3. De waardering van de NS-ratio van vers gras (* naar Taube et al., 2000) en de frequentieverdeling van de NS-ratios in snijmaïs.

N/S-ratio	Waardering*	Percentage snijmaïsmonsters
<12	geen S-tekort	20,5
12-15	kans op S-tekort	77,9
15-20	S-tekort, 10% opbrengstderving	1,6
>20	S-tekort, 20% opbrengstderving	0

Tabel 3.4. De aminozuursamenstelling van twee maïsmonsters uit 2009 met een relatief lage (11,6) en een hoge NS-ratio (14,8). Alle eenheden zijn uitgedrukt in g ha⁻¹ ds.

Component	Gehalte monster 1	Gehalte monster 2
S-gehalte	0,8	1,2
N-gehalte	11,8	14
Cysteïne	0,8	0,9
Methionine	1,3	1,2
Asparaginezuur	4,6	4,3
Threonine	2,4	2,3
Serine	2,6	2,6
Glutaminezuur	8,5	9,0
Glycine	3,0	2,8
Alanine	4,6	4,6
Valine	3,2	3,1
Iso-Leucine	2,4	2,3
Leucine	6,3	6,6
Phenylalanine	3,0	3,0
Histidine	1,7	1,7
Lysine	2,0	1,8
Arginine	2,2	1,9

4 Statistische analyse van de resultaten

In 2009 is een breed palet aan meststoffen meegenomen. Daarom worden de resultaten van 2009 eerst separaat statistisch geanalyseerd om behalve het effect van S-bemesting ook het effect van S-meststof type vast te stellen.

4.1 REML variantie componenten analyse 2009

4.1.1 Drogestofopbrengst 2009

Uit Figuur 3.2 en Figuur 3.3 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 benoemd op pagina 11 getoetst. Dit resulteerde uiteindelijk in Model 1. De random factoren (Locatie + Locatie.perceel) verklaarden ongeveer 71% van de variantie. De modelfactoren verklaarden 15% van de resterende variantie. Dit is nog als redelijk te beschouwen gezien de grote bijdrage van de random factoren.

De (bijna) significanties van de modelparameters zijn in Tabel 4.1 weergegeven. Op basis van de REML-analyse werd een zwak significant effect van zwavelbemesting gevonden, waarbij het effect van S-bemesting afhankelijk lijkt te zijn van het niveau van de stikstofbemesting uit kunstmest in de rij ($p = 0,078$ voor de interactieterm tussen S-gift en N-gift), Tabel 4.1. Er was geen significante interactie tussen zwaveltoestand (SLV) en zwavelbemesting. Dat zou dus betekenen dat het effect van S-bemesting onafhankelijk is van de S-toestand van de grond.

Model 1: Drogestofopbrengst 2009

Response variabele:	Dsopbrengst
Fixed model:	Constant + InSk _m + InNk _m + InSk _m .InNk _m + InPk _m + InNLV + InPk _m .InNLV + InSLV + InPk _m .InSLV + InMgPAE + InKPAE + InPPAE + cumplant + c2
Random model	locatie + locatie.perceel

Tabel 4.1. Bodem- en bemestingsfactoren die een (bijna) significant effect hebben op de drogestofopbrengst van 2009 op basis van het telkens weglaten van 1 term uit het volledige model.

Variabelen	p
InMgPAE	0,002
InKPAE	0,069
InPPAE	0,001
Cumplant	0,003
(Cumplant)**2	0,016
InPk _m .InSLV	0,018
InSk _m .InNk _m	0,078
InPk _m .InNLV	0,018

* het hoofdeffect van ISLV, IPk_m, INk_m en INLV is niet weergegeven, omdat bij deze parameters de interactietermen significant zijn.

Naast het effect van S-kunstmestgift en SLV was er een effect van P-toestand en P-bemesting. Dit komt mede doordat de P-giften in de oorspronkelijke opzet en de daadwerkelijk gerealiseerde P-giften in de praktijk niet overeen kwamen. Zo werd voor het referentieobject 0S vooral beoogd om KAS in de rij te geven. Op veel percelen is daadwerkelijk KAS gebruikt, maar op andere percelen is NP gebruikt als 0S-referentieobject. De P-gift in de rij met 0S was daardoor uiteindelijk hoger dan die in de rijen met 10-20S. Indien de P-toestand relatief laag is kan de P-bemesting een positief resultaat hebben op de opbrengst. Ook de K-PAE, de snel voor de plant beschikbare K in de bodem, en de Mg-PAE, bleken een significante invloed te hebben. Een aanname bij het proefontwerp was dat de K-behoefte voldoende gedekt zou zijn door de K uit de dierlijke mest, waardoor de K-toestand niet van invloed zou zijn. In de praktijk bleek de K-voorziening niet overal voldoende, waardoor er wel een effect was van de K-toestand van de bodem op de drogestofopbrengst.

Voor het toetsen van het effect van meststoftype is Model 1 uitgebreid met de factor Meststof. Uit de analyse (Tabel 4.2) bleek dat het type S-meststof geen significant effect heeft op de drogestofopbrengst ($p=0,598$). Hoewel sommige meststoffen bijna 1 ton meeropbrengst lijken te geven ten opzichte van KAS zijn de effecten niet significant. Twee meststoffen, ESTA-Kieserit en Korn-Kali, zijn breedwerpig toegediend. Dit heeft niet geleid tot een andere werking ten opzichte van rijenbemesting met zwavel zoals blijkt uit Tabel 4.2, waarin alleen het effect van meststoftype is opgenomen.

Tabel 4.2. Het berekende effect (REML Model 1 + meststof) van meststof op de drogestofopbrengst 2009 ($p= 0,598$) ten opzichte van KAS (16,54 ton ds ha⁻¹). Cijfers gevolgd door dezelfde letter zijn niet significant verschillend.

Meststof	Meeropbrengst ten opzichte van KAS, ton ds ha ⁻¹	Significantie $p<0,05$
KAS	0	a
NP	0,396	a
KASS	0,810	a
ASS	0,538	a
ENTEC	1,004	a
MASS	0,468	a
Humifirst	0,110	a
Novamais	0,314	a
Esta Kieserit	0,949	a
Korn Kali	0,477	a

4.1.2 S-opbrengst 2009

Voor de verklaring van de S-opbrengst blijken slechts een beperkt aantal bodem- en bemestingsparameters significant te zijn zoals blijkt uit Model 2. De random factoren (Locatie + Locatie.perceel) verklaarden ongeveer 63% van de variantie. De modelfactoren verklaarden 5% van de resterende variantie. Dit is laag en kan mede veroorzaakt zijn door de beperkte variatie in S-gehalte in snijmaïs (Figuur 3.6) en de beperkte opbrengsteffecten door S-bemesting (Figuur 3.2.). De S-opbrengst (Safvoer) met het gewas bleek beïnvloed te worden door de SLV, P-kunstmestgift, P-intensiteit (P-PAE), zoals te zien uit Model 2 en Tabel 4.3. Uit de analyse (Tabel 4.3) bleek dat het type S-meststof een zwak effect heeft op de S-opbrengst $p=0,115$). Tussen meststoftypen zijn er wel verschillen (Tabel 4.4). Gemiddeld bedroeg de afvoer 16,6 kg S ha⁻¹. Dat de NP-meststof een hogere S-opbrengst geeft dan KAS laat zich verklaren uit het feit dat door de P-bemesting een hogere drogestofopbrengst wordt

gerealiseerd. Dat betekent tegelijk een hogere S-opname. Kieserit geeft een significant hogere S-opbrengst dan KAS. Het effect blijft beperkt tot minder dan 8% in vergelijking tot KAS. Een duidelijke verklaring voor veel van de andere gevonden verschillen is er niet. Zo is niet duidelijk waarom Kieserit een significant hogere S-afvoer geeft dan Kornkali.

Model 2: S-afvoer 2009

Response variabele: Safvoer
 Fixed model: Constant + lnPkm + lnSLV + lnMgPAE + lnPPAE + Meststof + lnPkm.lnSLV
 Random model locatie + locatie.perceel

Tabel 4.3. Bodem- en bemestingsfactoren die een (bijna) significant effect hebben op de zwavelafvoer 2009 op basis van het telkens weglaten van 1 term uit het volledige Model 2.

Variabelen	<i>p</i>
lnPkm.lnSLV	0,033
lnMgPAE	0,006
lnPPAE	0,026
Meststof	0,115

Tabel 4.4. Het berekende effect (REML Model 2) van meststof op de meerafvoer van zwavel in 2009 ($p=0,115$) ten opzichte van KAS (16,37 kg S ha). Cijfers gevolgd door dezelfde letter zijn niet significant verschillend.

Meststof	S-meeropbrengst ten opzichte van KAS, kg S ha ⁻¹	Significantie $p < 0,05$
KAS	0	ab
NP	0,808	bc
KASS	-0,041	ab
ASS	0,188	abc
ENTEC	0,323	abc
MASS	-0,170	ab
Humi	-0,602	a
NOVA	0,587	abc
Kies	1,276	c
Korn	0,018	ab

4.1.3 S-gehalte snijmaïs 2009

Voor de verklaring van de verschillen in S-gehalte blijken slechts een beperkt aantal bodem- en bemestingsparameters significant te zijn zoals blijkt uit Model 3. De random factoren (Locatie + Locatie.perceel) verklaarden ongeveer 57% van de variantie. De modelfactoren verklaarden 11 % van de resterende variantie. Dit is vrij laag en kan mede veroorzaakt zijn door de beperkte variatie in S-gehalte en de relatief grote stappen in het gemeten S-gehalte (1 decimaal bij waarden rond de 1 gram ha⁻¹ ds). Het S-gehalte in het gewas bleek beïnvloed te worden door de SLV, P-kunstmestgift, NLV en meststof, zoals weergegeven in Model 3 en Tabel 4.5. De hoogte van de S-bemesting was niet significant van invloed. Gemiddeld bedroeg het S-gehalte 0,98 g S ha⁻¹ ds. Het effect van meststof

op het S-gehalte is beperkt (Tabel 4.6). Bij Kieserit en Nova was het gehalte 5% hoger dan bij KAS. Dit zijn kleine verschillen, bijvoorbeeld in vergelijking tot gras, waar het S-gehalte een stuk hoger is en veel meer variatie kent.

Model 3: S-gehalte snijmaïs 2009

Response variate:	Zwavel
Fixed model:	Constant + lnPkm + lnNLV + lnSLV + lnPkm.lnSLV + cumplant + c2 + Meststoftype
Random model	locatie + locatie.perceel

Tabel 4.5. Bodem- en bemestingsfactoren die een (bijna) significant effect hebben op het zwavelgehalte snijmaïs van 2009 op basis van het telkens weglaten van 1 term uit het volledige Model 3.

Variabelen	p
lnPkm.lnSLV	0,059
lnNLV	0,022
Meststoftype	0,014
cumplant	0,036
c2	0,040

Tabel 4.6. Het berekende effect ($p=0,014$) van meststoftype (REML Model 3 2009) op het S-gehalte ten opzichte van dat van KAS, $0,98 \text{ g S kg}^{-1} \text{ ds}$. Cijfers gevolgd door dezelfde letter zijn niet significant verschillend.

Meststof	S-gehalte verandering ten opzichte van KAS, $\text{g S kg}^{-1} \text{ ds}$	Significantie $p < 0,05$
KAS	0	abc
NP	0,0244	bc
KASS	-0,0341	a
ASS	-0,0083	abc
ENTEC	-0,0247	ab
MASS	-0,0363	a
Humi	-0,0206	ab
NOVA	0,0538	c
Kies	0,0423	c
Korn	-0,0069	abc

4.1.4 N-opbrengst snijmaïs 2009

Voor de verklaring van de N-opbrengst zijn een redelijk aantal bodem- en bemestingsparameters significant, zoals blijkt uit Model 4. De random factoren (Locatie + Locatie.perceel) verklaarden ongeveer 70% van de variantie. De modelfactoren verklaarden maar 2% van de resterende variantie. Dit is zeer weinig. De N-opbrengst (Nafvoer) met het gewas bleek op basis van de REML analyse 2009 beïnvloed te worden door de S-kunstmestgift, SLV, N-kunstmestgift, NLV, P-kunstmestgift, P-intensiteit (P-PAE) en Mg-toestand (Model 4 en Tabel 4.7). Het model voor N-opbrengst komt daarmee grotendeels overeen met dat van de drogestofopbrengst. Het meststoftype heeft geen significant effect op de N-opbrengst

($p=0,406$). Ook tussen meststoftypen zijn geen significante verschillen aanwezig (Tabel 4.8) hoewel Humifirst en MAS+S een duidelijk lagere N-opbrengst lijken te geven.

Gemiddeld bedroeg de N-afvoer $211,5 \text{ kg N ha}^{-1}$. De werkzame N uit mest en kunstmest bedroeg gemiddeld 160 kg N ha^{-1} . De NLV bedroeg gemiddeld 57 kg N ha^{-1} . Tezamen met een beperkte hoeveelheid Nmin bij de start en N-mineralisatie uit de ondergewerkte groenbemester is de N-bemesting daarmee voldoende geweest voor de N-behoefte van het gewas.

Model 4: N-afvoer 2009

Response variate:	Nopbrengst
Fixed model:	Constant + InSkM + InNkm + InSkM.InNkm + InPkm + InNLV + InPkm.InNLV + InSLV + InPkm.InSLV + InMgPAE + InPPAE + Meststofype
Random model	locatie + locatie.perceel

Tabel 4.7. Bodem- en bemestingsfactoren die een (bijna) significant effect bleken te hebben op de N-afvoer van 2009 op basis van het telkens weglaten van 1 term uit het volledige Model 4.

Variabelen	p
InSkM.InNkm	0,068
InPkm.InNLV	0,071
InPkm.InSLV	0,05
InMgPAE	0,007
InPPAE	0,001

Tabel 4.8. Het berekende effect ($p=0,406$) van meststofype (REML Model 4 2009) op de N-afvoer ten opzichte van dat van KAS, $217,5 \text{ kg N ha}^{-1}$. Cijfers gevolgd door dezelfde letter zijn niet significant verschillend.

Meststof	N-opbrengst verandering ten opzichte van KAS, g N ha^{-1}	Significantie $p < 0,05$
KAS	0	a
NP	2,918	a
KASS	-11,701	a
ASS	-7,877	a
ENTEC	-8,12	a
MASS	-16,381	a
Humi	-18,206	a
NOVA	6,493	a
Kies	0,768	a
Korn	-7,177	a

4.1.5 N-gehalte snijmaïs 2009

Voor de verklaring van de N-gehalte is een beperkt aantal bodem- en bemestingsparameters significant zoals blijkt uit Model 5 en Tabel 4.9. De random factoren verklaarden ongeveer 74% van de variantie. De modelfactoren verklaarden 13,5% van de resterende variantie. Dit is vrij laag. Tussen meststofypen zijn er kleine verschillen (Tabel 4.10) die veelal statistisch niet significant verschillend bleken. NOVA had een significant hoger N-gehalte dan veel andere meststoffen. Mogelijk kan een groter aanbod aan S (in

de vorm van sulfaat) leiden tot anioncompetitie, waardoor bij een hoger aanbod sulfaat wat minder nitraat wordt opgenomen. Gemiddeld bedroeg het N-gehalte $12,38 \text{ g N kg}^{-1} \text{ ds}$.

Model 5: N-gehalte snijmaïs 2009

Response variate:	N-gehalte
Fixed model:	Constant + InSkM + InSLV + InSkM.InSLV + Ngift + InPPAE + InNLV + cumplant + c2 + Meststoftype
Random model	locatie + locatie.perceel

Tabel 4.9. Bodem- en bemestingsfactoren die een (bijna) significant effect hebben op de N-afvoer van 2009 op basis van het telkens weglaten van 1 term uit het volledige Model 5.

Variabelen	p
InSkM.InSLV	0,056
Ngift	0,117
InNLV	0,054
InPPAE	0,022
cumplant	0,099
c2	0,109
Meststoftype	0,001

Tabel 4.10. Het berekende effect ($p=0,001$) van meststoftype (REML Model 5 2009) op het N-gehalte ten opzichte van dat van KAS, $12,98 \text{ g N kg}^{-1} \text{ ds}$. Cijfers gevolgd door dezelfde letter zijn niet significant verschillend.

Meststof	N-gehalte verandering ten opzichte van KAS, $\text{g N kg}^{-1} \text{ ds}$	Significantie $p < 0,05$
KAS	0	ab
NP	-0,2197	ab
KASS	-1,0844	a
ASS	-0,5156	ab
ENTEC	-0,9327	a
MASS	-1,2053	a
Humi	-1,0592	a
NOVA	0,2318	b
Kies	-0,4987	ab
Korn	-0,6463	a

4.2 Statistische analyseresultaten 2009 en 2010, REML-analyse

Op basis van de resultaten van 2009 bleek dat Meststoftype geen invloed had op de drogestof-opbrengst. Bij de overall analyse van 2009 en 2010 is meststoftype daarom niet meegenomen.

Voor de overall analyse is het random model uitgebreid:

- Jaar.grondsoort
- Locatie

- Locatie.perceel

Voor de verklaring van de drogestofopbrengst zijn de parameters benoemd op pagina 11 getoetst. Dit resulteerde in Model 6. De random factoren (Locatie + Locatie.perceel) verklaarden bijna 78% van de variantie. De modelfactoren verklaarden 14,4% van de resterende variantie. Dit is nog als redelijk te beschouwen gezien de grote bijdrage van de random factoren.

De (bijna) significanties van de modelparameters zijn in Tabel 4.11 weergegeven. Op basis van de REML-analyse werd een zwak significant effect van zwavelbemesting gevonden, waarbij het effect van S-bemesting afhankelijk lijkt te zijn van het niveau van de fosfaattoestand ($p = 0,024$ voor de interactieterm tussen S-gift en PPAE (Tabel 4.11)). Er was geen significante interactie tussen zwaveltoestand (SLV) en zwavelbemesting. Dat zou dus betekenen dat het effect van S-bemesting onafhankelijk is van de S-toestand van de grond. Meststoftype was niet significant.

Model 6: Drogestofopbrengst 2009 + 2010

Response variabele:	Dsopbrengst
Fixed model:	Constant + lnSkm + lnSLV + lnPkm + lnMgPAE + lnPPAE + lnratio + Incumplant + ISLV.IPkm + lnPkm.lnratio + lnSkm.lnPPAE + lnSLV.lnMgPAE +lnSLV.lnratio
Random model:	Jaar.Grondsoort + Locatie + Locatie.perceel

Tabel 4.11. Bodem- en bemestingsfactoren die een (bijna) significant effect bleken te hebben op de drogestofopbrengst van 2009 + 2010 op basis van het telkens weglaten van 1 term uit het volledige model.

Variabelen	p
Incumplant	<0,001
lnSLV.lnPkm	0,014
lnPkm.lnratio	0,001
lnSkm.lnPPAE	0,024
lnSLV.lnMg	0,007
lnSLV.lnratio	0,044

* het hoofdeffect van lnSLV, lnPkm, lnNkm en lnNLV is niet weergegeven, omdat bij deze parameters de interactietermen significant zijn.

De modelcoëfficiënten van Model 6 zijn in Bijlage 1 weergegeven. Deze coëfficiënten zijn in een spreadsheet uitgewerkt. Berekeningen met deze spreadsheet gaven aan dat 20 kg S ha⁻¹ ruim 800 kg meeropbrengst per ha gaf. Echter uit de spreadsheet viel een aantal bijzonderheden af te leiden. De gemodelleerde opbrengsten op basis van Model 6 waren hoger dan de gemeten opbrengsten en de fosfaatbemesting werkte negatief op de opbrengst. Mogelijk wordt dit veroorzaakt doordat op maar een klein deel van de locaties P-bemesting plaatsvond en of doordat er grote opbrengstverschillen tussen locaties zijn die niet goed gecorrigeerd kunnen. Mogelijk is het een gevolg van overfitten, waarbij een effect van S-bemesting statistisch gecompenseerd wordt door P-bemesting. Verder bleek het plantaantal van het geogste oppervlak een sterke invloed te hebben op de drogestofopbrengst. Aanpassingen in Model 6 door weglating en of toevoeging van termen leidde niet tot een wezenlijke verbetering. Daarom is er overgestapt op niet-lineaire multiple regressie voor de analyse van de drogestofopbrengsten van

2009 plus 2010 (paragraaf 4.3). Het voordeel van deze benadering is dat er expliciet rekening gehouden kan worden met verschillen in productiepotentieel tussen verschillende locaties.

In Bijlage 1 zijn volledigheidshalve nog de resultaten met betrekking tot het N- en S-gehalte en de N- en S-opbrengst weergegeven.

4.3 Analyse resultaten 2009 plus 2010: Niet-lineaire multiple regressie

Bij het opstellen van het niet-lineaire multiple regressie model is uitgegaan van de factoren die in de REML-analyse als significant of bijna significant naar voren kwamen voor drogestofopbrengst, N-opbrengst en S-opbrengst.

Drogestofopbrengst

Bij de niet-lineaire multiple regressie is een dubbel exponentieel model ontwikkeld, waarbij de drogestofopbrengst verklaard wordt uit een aantal bodem- en bemestingsparameters. Hierbij wordt rekening gehouden met potentiële productiecapaciteit van een perceel. Deze verschilt namelijk sterk tussen locaties. Het uiteindelijke model (Model 7) zag er als volgt uit:

$$DS_{ACT_locatie_y} = DS_{POT_Locatie_y} \times (1 - e^F)$$

Met:

DS_{POT} = potentiële productiecapaciteit

DS_{ACT} = actuele productiecapaciteit

F = dervingsfactor, welke is opgebouwd uit bodemeigenschappen en kunstmestgift
 $= -e^a \times PPAE - e^b \times \ln(Pkm+1) \times PPAE - e^c \times \ln(Skm+1) \times PPAE$
 $- e^d \times \ln(SLV) - e^e \times \ln(KPAE) - e^f \times \ln(Nkm)$

Daarbij wordt $DS_{POT_Locatie_y}$ geschat voor alle combinaties van locatie en jaar (in totaal 51 combinaties). Omdat in de dervingsfactor F , Pkm en Sk_m 0 kunnen zijn wordt er 1 bij opgeteld (de natuurlijke logaritme van 0 kan niet). Er waren 2 uitbijters waardoor het aantal records 360 bedroeg. Het model zonder de term $(1 - e^F)$ verklaarde 61,9% van de variantie en met de term $(1 - e^F)$ werd 66,4% (R^2_{adj}) van de variantie verklaard. Dit is een beperkte verbetering, maar wel sterk significant (op basis van het Akaike criterium, Genstat, 1993). De waarden van de modelconstanten zijn weergegeven in Tabel 4.12. Naast SLV en S -bemesting bleken de P - en K -toestand en de P - en N - kunstmestgift van belang voor het verklaren van de drogestofopbrengst. Andere parameters als de hoeveelheid N , P en K gegeven met dierlijke mest hadden geen significant effect op de opbrengst.

Het dubbel exponentiële model is uitgewerkt in een spreadsheet, waarbij het effect van zwavelbemesting op de drogestofopbrengst is berekend voor verschillende situaties. In Figuur 4.1 is vervolgens het berekende effect op de drogestofopbrengst van snijmaïs weergegeven, bij drie niveaus van SLV en P - en K -toestand. Hierbij is uitgegaan van de 10%, 50% *(mediaan) en 90% percentiel waarden van de dataset 2009 + 2010. Deze waarden zijn weergegeven in Tabel 4.13. Voor de potentiële drogestofproductie is uitgegaan van 21 ton $ds\ ha^{-1}$, waarbij de P -kunstmestgift op 0 $kg\ P\ ha^{-1}$ is gesteld. Bij deze potentiële opbrengst wordt gemiddelde over deze drie percentielen een opbrengst van ongeveer 16,3 ton berekend, hetgeen de opbrengst is die gemiddeld is gemeten in deze proef. In Figuur 4.1 is te zien dat de respons op S -bemesting het hoogste is bij de eerste kilogrammen S -meststof, om bij hogere giften af te zwakken (dit is het duidelijkste te zien bij de hoge

bodemvoorziening). Verder is bij een lage bodemtoestand voor fosfaat de respons op S-bemesting lager dan bij de hoge bodemtoestand voor fosfaat (zie ook de interactieterm in Tabel 4.12). Dit is te verklaren uit het feit dat snijmaïs redelijk sterk op fosfaat reageert. De fosfaatvoorziening moet kennelijk goed zijn wil het effect van zwavelbemesting tot uiting komen. Verder geeft een lage SLV een hogere respons op zwavelbemesting, hetgeen ook verwacht mag worden.

Tabel 4.12. De drogestofopbrengst van 2009 en 2010 verklaard via niet lineaire regressie met een dubbel exponentieel model ($R^2_{adj}=66,6\%$).

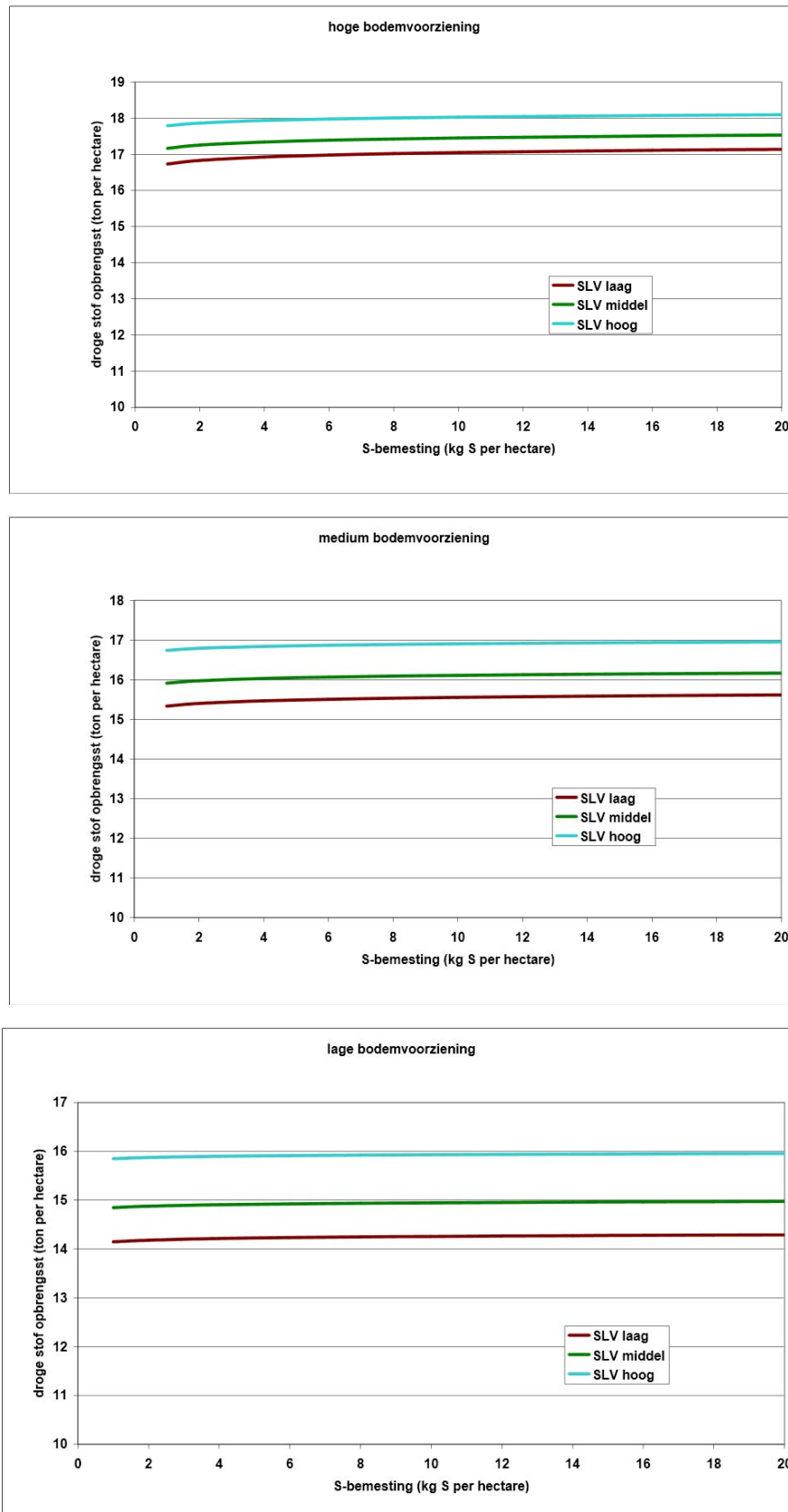
Parameter	Constante	Waarde	s.e.
lnPPAE	a	-2,318	0,462
ln(Pkm+1)×lnPPAE	b	-4,185	0,539
ln(Skm+1)×lnPPAE	c	-5,064	0,812
lnSLV	d	-1,147	0,345
lnKPAE	e	-2,849	0,921
lnNkm	f	-2,592	0,516

Tabel 4.13. De waarden voor SLV, P-PAE PAL en K_PAE die door 10%, 50% en 90% van de percelen in de proeven 2009 en 2010 niet werd bereikt.

	P-PAE	P-AL	K-PAE	SLV
10% percentielwaarde	1,1	33	34	4,7
mediaan	2,7	47	60	7
90% percentielwaarde	5,3	67	95	13

Daarnaast is het SLV van de bodem van invloed op de te behalen drogestofopbrengst. Dit kan slechts ten dele gecompenseerd worden met S-bemesting. Een mogelijke verklaring is dat de S uit kunstmest zich vooral bevindt in de toplaag van de bodem. Doordat er gedurende het groeiseizoen een neerslagtekort is, verplaatst deze S zich gedurende het groeiseizoen niet naar diepere lagen. De S die beschikbaar komt uit de bodemvoorraad komt geleidelijk beschikbaar bij de afbraak van organische stof, ook in diepere lagen. Afhankelijk van het weersverloop dat deze afbraak beïnvloedt, is dit daarmee veelal beter afgestemd op de gewasgroei en de S-behoefte gedurende het groeiseizoen.

In Tabel 4.14 is de meeropbrengst gegeven die bereikt wordt bij een S-bemesting van 20 kg S ha^{-1} , en waarden van de bodemtoestand zoals gebruikt in Figuur 4.1. Een S-bemesting van 20 kg ha^{-1} kan dus een meeropbrengst geven van 100 tot $450 \text{ kg ds ha}^{-1}$. De meeropbrengst neemt toe met een hogere voorziening vanuit de bodem met K en P (bodemtoestand laag, mediaan en hoog). Bij een hoge SLV is de meeropbrengst bij een gelijke S-bemesting evenwel lager. Dit kan zoals hiervoor is aangegeven verklaard worden vanuit de hogere S-levering vanuit de bodem. De uiteindelijk totale drogestofopbrengst is bij de hoge SLV's wel hoger dan bij de lage SLV (Figuur 4.1).



Figuur 4.1. Het berekende effect van S-bemesting op de drogestofproductie van snijmaïs, bij verschillende SLV en bij lage (10% percentielwaarde), medium (mediaan) en hoge (90% percentielwaarde) waarden voor de K- en P-voorziening, uitgaande van een potentiële drogestofopbrengst van 21 ton ds ha⁻¹.

Tabel 4.14. De meeropbrengst bij snijmaïs (kg ds ha⁻¹) bij een S-bemesting van 20 kg S ha⁻¹ voor de situaties van een lage (10% percentiel), de mediaan en een hoge (90% percentiel) waarde voor SLV, K-PAE en P-PAE en een potentiële drogestofproductie van 21 ton ds ha⁻¹.

SLV	Bodemtoestand K en P		
	laag	middel	hoog
laag	148	296	427
middel	133	265	383
hoog	111	222	321

N-opbrengst

Voor de N-opbrengst is een dubbel exponentieel model ontwikkeld met als dervingsfactor F (Model 8):

$$-e^a \times \text{PPAE} - e^b \times \ln(\text{Pkm}+1) \times \text{PPAE} - e^c \times \ln(\text{Skm}+1) \times \text{PPAE} - e^d \times \ln(\text{SLV}) - e^f \times \ln(\text{Nkm})$$

Het model zonder de term $(1-e^F)$ verklaarde 54,5% van de variantie en met de term $(1-e^F)$ werd 62,2% (R^2_{adj}) van de variantie verklaard. Dit is een beperkte verbetering, maar deze is wel sterk significant (op basis van het Akaike criterium, Genstat, 2003).

Tabel 4.15. De drogestofopbrengst van 2009 en 2010 verklaard via niet lineaire regressie met een dubbel exponentieel model ($R^2_{\text{adj}}=66,6\%$).

Parameter	Constante	Waarde	s.e.
lnPPAE	a	-2,716	0,349
ln(Pkm+1)×lnPPAE	b	-5,063	0,560
ln(Skm+1)×lnPPAE	c	-5,985	0,991
lnSLV	d	-1,397	0,269
lnNkm	f	-3,469	0,563

S-opbrengst

Voor de N-opbrengst is een dubbel exponentieel model ontwikkeld met als dervingsfactor F (Model 9):

$$-e^a \times \text{PPAE} - e^b \times \ln(\text{Pkm}+1) \times \text{PPAE} - e^c \times \ln(\text{Skm}+1) - e^d \times \ln(\text{SLV}) - e^f \times \ln(\text{Nkm})$$

Het model zonder de term $(1-e^F)$ verklaarde 55,9% van de variantie en met de term $(1-e^F)$ werd 50,4% (R^2_{adj}) van de variantie verklaard. Dit is een beperkte verbetering en eveneens sterk significant (op basis van het Akaike criterium, Genstat, 2003).

Tabel 4.16. De drogestofopbrengst van 2009 en 2010 verklaard via niet lineaire regressie met een dubbel exponentieel model ($R^2_{\text{adj}}=66,6\%$).

Parameter	Constante	Waarde	s.e.
lnPPAE	a	-2,121	0,324
ln(Pkm+1)×lnPPAE	b	-4,712	0,751
ln(Skm+1)	c	-4,054	0,747
lnSLV	d	-0,953	0,234
lnNkm	f	-3,152	0,825

5 Discussie

5.1 Een mogelijk bemestingsadvies

In de deskstudie van Den Boer et al. (2007) is op basis van een balansbenadering geconcludeerd dat op 50% van de zandgronden er een kans is op zwaveltekorten. Daarom is in 2009 en 2010 veldonderzoek uitgevoerd om te verifiëren of er zwaveltekorten optreden en zo ja in welke mate S-bemesting nodig is om een opbrengstderiving door S-tekorten te voorkomen. In 2009 en 2010 zijn daartoe op 96 percelen kleine proeven uitgevoerd. In 2009 zijn bovendien verschillende zwavelhoudende meststoffen meegenomen in de proeven om na te gaan of het type zwavelmeststof van invloed is. Uit de statistische analyse over 2009 is gebleken dat de soort zwavelmeststof niet van invloed is op de drogestofopbrengst. Dit is ook niet direct te verwachten daar in alle gebruikte meststoffen de zwavel in de vorm van sulfaat aanwezig was. In 2010 zijn daarom minder soorten zwavelmeststof meegenomen in de proef.

De gemeten resultaten over 2009 en 2010 (Figuur 3.2 en Figuur 3.3) laten niet direct een effect van S-bemesting zien op de drogestofopbrengst. De reden hiervan kan zijn dat er geen S-effect is of dat het S-effect versluierd wordt door andere parameters. Het laatste blijkt het geval te zijn zoals blijkt uit de statistische analyse die in eerste instantie is uitgevoerd op basis van variantie componenten analyse via REML (Genstat 1993), waarbij de drogestofopbrengst is getracht te verklaren uit bodem- en bemestingsparameters. Bij de analyse is rekening gehouden met verschillen tussen locaties en tussen percelen binnen locaties. Bij het uitwerken van de statistische gegevens in een spreadsheet bleek dat de gemodelleerde opbrengsten op basis van Model 6 hoger waren dan de gemeten opbrengsten en dat de fosfaatbemesting negatief werkte op de opbrengst. Daarom is er overgestapt op niet-lineaire multiple regressie voor de analyse van de drogestofopbrengsten. Uit deze analyse blijkt dat er een zwak effect is van S-bemesting. Naarmate de SLV hoger wordt neemt het effect van S-bemesting af. Naarmate de P- en K-toestand hoger is neemt het effect van S-bemesting toe. Fosfaat en kalium zijn van groot belang voor een goede maïsopbrengst. Indien de voorzieningsgraad met deze elementen goed is komt het effect van zwavel op de opbrengst sterker tot uiting.

De vraag is nu wat dit betekent voor de zwavelbemestingsadvisering. Door Model 7 uit te werken in een spreadsheet kan het effect van S-bemesting op de opbrengst zichtbaar worden gemaakt (Figuur 4.1, Tabel 4.14). Om een advies te kunnen geven met betrekking tot de S-bemesting dient te worden vastgesteld wat de prijs van zwavel is in meststoffen in relatie tot de waarde van snijmaïs. Verondersteld is dat de laatste kg S van de te geven gift minimaal 5 kg meeropbrengst aan droge stof moet geven om economisch rendabel te zijn. Daarbij is verondersteld dat strooikosten niet hoeven te worden meegerekend, omdat er toch al bemesting met kunstmeststikstof of –kali plaatsvindt. In Tabel 5.1 is weergegeven welke S-gift voor een aantal situaties optimaal is. De gift varieert tussen de 8 en 29 kg S ha⁻¹, waarbij de meeropbrengst varieert van 0,1 tot 0,43 ton ds ha⁻¹. Indien de laatste kg S minimaal 10 kg meeropbrengst moet geven dan varieert de economisch optimale gift tussen 5 en 15 kg S ha⁻¹ (Tabel 5.2).

Tabel 5.1. Berekende meeropbrengst bij de economisch optimale S-bemesting (waarbij de laatste kg S van de te geven gift minimaal 5 kg meeropbrengst aan droge stof dient te geven), bij drie niveaus van SLV en bodemtoestand K en P (10%, mediaan en 90% percentiel van gehele dataset 2009-2010) bij een potentiële opbrengst van 21 ton ds ha⁻¹.

Bodemtoestand K en P	SLV kg S ha ⁻¹	S-gift kg S ha ⁻¹	Meeropbrengst door S-bemesting, kg ds ha ⁻¹	Opbrengst ton ds ha ⁻¹
Laag	4,7	11	108	14,262
	7	10	93	14,945
	13	8	71	15,925
Medium	4,7	21	282	15,623
	7	19	244	16,164
	13	16	192	16,939
Hoog	4,7	29	450	17,186
	7	26	392	17,564
	13	22	311	18,107

Tabel 5.2. Berekende meeropbrengst bij economisch optimale S-bemesting (waarbij de laatste kg S van de te geven gift minimaal 10 kg meeropbrengst aan droge stof dient te geven), bij drie niveaus van SLV en bodemtoestand K en P (10%, mediaan en 90% percentiel van gehele dataset 2009-2010) bij een potentiële opbrengst van 21 ton ds ha⁻¹.

Bodemtoestand K en P	SLV kg S ha ⁻¹	S-gift kg S ha ⁻¹	Meeropbrengst door S-bemesting, kg ds ha ⁻¹	Opbrengst ton ds ha ⁻¹
Laag	4,7	5	71	14,229
	7	5	59	14,916
	13	4	42	15,901
Medium	4,7	10	211	15,558
	7	9	180	16,105
	13	8	138	16,891
Hoog	4,7	14	354	17,095
	7	13	305	17,482
	13	11	238	18,039

5.2 De praktijk

Op zandgrond en kleigrond hebben respectievelijk 55% en 25% van de percelen een SLV van 10 of lager (Den Boer et al., 2007). In veel gevallen is aanvulling met zwavel dus gewenst. Er zijn veel meststoffen waarmee het mogelijk is om zwavel te verstrekken. In Tabel 5.3 is weergegeven welke S-houdende meststoffen in de proeven zijn gebruikt. Daarnaast zijn er nog andere meststoffen (Databank meststoffen www.nmi-agro.nl). Aanvullend op een basisgift dierlijke mest bepaalt de resterende bemestingsbehoefte aan P en K welke S-houdende meststof het beste past. Een aantal situaties zijn daarbij te onderscheiden en deze zijn in Tabel 5.4 weergegeven.

Voor die situaties waarbij de mest in de rij wordt geplaatst is waarschijnlijk geen aanvulling met een S-houdende meststof nodig, maar dat is niet zeker. De hoeveelheid minerale zwavel in mest die direct tot werking kan komen is laag evenals de hoeveelheid die via mineralisatie beschikbaar komt. Zo hebben Den Boer et al. (2007) afgeleid dat bij toedienen van 30 m³ mest 3,6 kg S, bij 40 m³ 4,8 en bij 50 m³ 6 kg

S ha⁻¹ beschikbaar komt door mineralisatie. De verwachting is dat de mestgift op maïsland vanwege het mestbeleid zich veelal zal gaan bewegen tussen 30 en 40 m³ ha⁻¹.

Tabel 5.3. Gehaltes N-P-K-S-Mg in de gebruikte meststoffen.

Type	Meststof	N	P ₂ O ₅	S	MgO	K ₂ O
Rijenbemesting	KAS-S	24		6		
	ASS/ASN	26		14		
	ENTEC	26		14		
	ENTEC P	25		9		
	MAS-S	22		9	3	
	Humifirst 17-15	17	15	12		
	Novamais	26	7	4		
Breedwerpig	Korn-Kali [®]			5	6	40
	ESTA [®] Kieserit gran.			20	25	

Tabel 5.4. Hoe te bemesten met zwavel in relatie tot de bemestingsbehoefte aan N, P en K. Er is verondersteld dat de basisgift breedwerpig gegeven dierlijke mest is.

Situatie	Advies
Er is alleen N-bemesting in de rij nodig	Gebruik een NS-meststof in de rij
Er is N- en P-bemesting nodig	Gebruik een NPS-meststof in de rij
Er is N- en K-bemesting nodig	Gebruik een NS-meststof in de rij en strooi Kali60 Gebruik een N-meststof in de rij en strooi Korn-Kali [®]
Er is N-, P- en K-bemesting nodig	Gebruik een NPK-meststof in de rij Gebruik een NP-meststof in de rij en strooi Korn-Kali [®]
Er is Mg-bemesting nodig naast een N- (P- en K-) bemesting	Gebruik ESTA [®] Kieserit en gebruik verder meststoffen zonder zwavel voor de rijenbemesting
Mestplaatsing* in de rij	Waarschijnlijk geen aanvulling nodig

* een systeem in opkomst. Niet duidelijk is of de zwavelvoorziening daarmee is gedekt, omdat de S uit mest slechts langzaam in minerale vorm beschikbaar komt.

5.3 De N- en S-benutting

Voor de groei van snijmaïs zijn vooral stikstof, fosfaat en kalium bepalend. Zwavel heeft pas een duidelijke invloed op de opbrengst als de voorziening met stikstof, fosfaat en kalium goed is. Uit Figuur 3.7 blijkt dat als het N-gehalte stijgt, het S-gehalte in snijmaïs ook stijgt. De vraag is in welke mate de N-benutting verbetert door S-bemesting. Dit is nagegaan op basis van Model 8 voor dezelfde situaties als die beschreven zijn in paragraaf 5.1, er vanuitgaande dat de laatste kg S van de te geven gift minimaal 5 kg meeropbrengst aan droge stof moet geven om economisch rendabel te zijn. Bij de hogere bodemtoestanden kan de N-benutting met enkele procenten toenemen ten opzichte van geen S-bemesting (Tabel 5.5). Belangrijker nog is de bodemtoestand zelf. Bij een hoge bodemtoestand is de gewasopbrengst hoger en daarmee ook de N-benutting.

Tabel 5.5. Berekende meeropbrengst aan N bij de economisch optimale S-bemesting (waarbij de laatste kg S van de te geven gift minimaal 5 kg meeropbrengst aan droge stof dient te geven), bij drie niveaus van SLV en bodemtoestand K en P (10%, mediaan en 90% percentiel van gehele dataset 2009-2010) bij een potentiële N-opbrengst van 360 kg ha⁻¹.

Bodemtoestand K en P	SLV, kg S ha ⁻¹	S-gift, kg S ha ⁻¹	Meeropbrengst aan N door S-bemesting, kg ha ⁻¹	N-opbrengst, kg ha ⁻¹
Laag	4,7	11	1,2	165,5
	7	10	1,1	181,1
	13	8	0,9	204,2
Medium	4,7	21	3,5	187,5
	7	19	3,1	201,3
	13	16	2,6	221,6
Hoog	4,7	29	6,4	218,2
	7	26	5,7	229,4
	13	22	4,7	246,1

Het effect van S-bemesting op de S-opbrengst is nagegaan met Model 9 voor dezelfde situaties als die beschreven zijn in paragraaf 5.1, ervan uitgaande dat de laatste kg S van de te geven gift minimaal 5 kg meeropbrengst aan droge stof moet geven om economisch rendabel te zijn. Bij de hogere bodemtoestanden neemt de S-benutting met enkele procenten toe ten opzichte van geen S-bemesting (Tabel 5.5). Dit is vooral het gevolg van een hogere opbrengst en is nauwelijks het gevolg van een hoger S-gehalte. Belangrijker nog is de bodemtoestand zelf. Bij een hoge bodemtoestand is de gewasopbrengst hoger en daarmee ook de S-benutting.

Tabel 5.6. Berekende S-meeropbrengst bij economisch optimale S-bemesting (waarbij de laatste kg S van de te geven gift minimaal 10 kg meeropbrengst aan droge stof dient te geven), bij drie niveaus van SLV en bodemtoestand K en P (10%, mediaan en 90% percentiel van gehele dataset 2009-2010) bij een potentiële opbrengst van 21,6 kg S ha⁻¹.

Bodemtoestand K en P	SLV kg S ha ⁻¹	S-gift kg S ha ⁻¹	Meeropbrengst aan S door S-bemesting, kg ha ⁻¹	S-opbrengst kg ha ⁻¹
Laag	4,7	5	0,327	13,6
	7	5	0,273	14,5
	13	4	0,201	15,9
Medium	4,7	10	0,349	15,0
	7	9	0,296	15,8
	13	8	0,224	16,9
Hoog	4,7	14	0,284	16,8
	7	13	0,241	17,4
	13	11	0,184	18,2

Samengevat heeft S-bemesting een beperkt effect op de verbetering van de N-benutting.

6 Conclusies

De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

- S-bemesting is relevant voor de drogestofopbrengst van snijmaïs. Een S-gift tussen de 8 en 30 kg ha⁻¹ kan een meeropbrengst van 0,1 tot 0,45 ton ds ha⁻¹ geven.
- Er zijn geen significante verschillen in S-werking aangetoond tussen de gebruikte S-meststoffen.
- De SLV heeft een significant positief effect op de drogestofproductie. Deze parameter is echter nauwelijks te beïnvloeden. Bij een stijgende SLV daalt de respons op S-bemesting.
- De reactie op S-bemesting is afhankelijk van de P- en K-toestand van de grond, de P-rijenbemesting, SLV, en het productiepotentieel van de locatie. Deze laatste wordt onder andere sterk bepaald door de vochtvoorziening van het perceel.
- S-bemesting gaf een geringe verhoging van de N-benutting door het gewas.
- De invulling van de S-bemesting door de praktijk wordt vooral bepaald door de resterende behoefte aan P en K na een basisgift dierlijke mest. Er zijn voldoende soorten S-meststof beschikbaar om een S-bemesting, een NS-bemesting of een NPS-bemesting uit te voeren in één werkgang.

7 Referenties

- Bussink DW & Postma R (2002) Achtergronden bij het zwavelbemestingsadvies voor grasland. NMI-Rapport 2-3-99-1.
- Den Boer DJ, Bussink DW & Van der Draai H (2007) Zwavelvoorziening van snijmaïs. NMI-rapport 1252.N.07.
- Genstat Committee (1993) Genstat 5 Release 3 Reference Manual. Oxford Science Publications, Clarendon Press, Oxford, 796 pp
- Taube F, Jahns U, Wulfes R & Südekum KH (2000). Einfluss der Schwefelversorgung auf Ertrag und Inhaltsstoffe von Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne* L.). Pflanzenbauwissenschaften, 4 (1), 42 - 51.

ANNEX 1. REML variantie componenten analyse 2009 en 2010

Drogestofopbrengst snijmaïs 2009 en 2010

Voor het verklaren van de drogestofopbrengst is het navolgende model gebruikt. De random factoren (Locatie + Locatie.perceel) verklaarden 60% van de variantie. De modelfactoren verklaarden 20,2% van de resterende variantie.

Model 6a: Drogestofopbrengst 2009 + 2010	
Response variabele:	Dsopbrengst
Fixed model:	Constant + InSkm +InSLV + InPkm + InMgPAE + PPAEkm + Inratio + Incumplant + InPkm.Inratio + InSkm.PPAE + InSLV.InMgPAE +InSLV. Inratio
Random model:	Jaar.Grondsoort + Locatie + Locatie.perceel

Op basis van de REML-analyse werd een zwak significant effect van zwavelbemesting gevonden, waarbij het effect van S-bemesting afhankelijk lijkt te zijn de P-PAE ($p=0,105$ voor de interactieterm tussen S-gift en P-PAE).

Er was geen significante interactie tussen zwaveltoestand (SLV) en zwavelbemesting. Dat zou dus betekenen dat het effect van S-bemesting onafhankelijk is van de S-toestand van de grond.

Tabel a. Bodem- en bemestingsfactoren die een (bijna) significant effect bleken te hebben op de drogestofopbrengst van 2009 + 2010 op basis van het telkens weglaten van 1 term uit het volledige model.

Variabelen	<i>p</i>
Incumplant	<0,001
InSLV.InPkm	0,002
InPkm.Inratio	0,001
InSkm.InPPAE	0,035
InSLV.InMg	0,024
InSLV.Inratio	0,097

Tabel b. De richtingscoëfficiënt van de bodem- en bemestingsfactoren.

Parameter	Richtingscoëfficiënt
Constante	15,53
InSkm	0,01758
InSLV	-0,009077
InPkm	0,05066
InMgPAE	1,440
InPPAE	1,218
Inratio	-0,615
Incumplant	7,301
InSLV.InPkm	-0,4506
InPkm.Inratio	-0,5234
InSkm.InPPAE	0,2490
InSLV.InMgPAE	1,811
InSLV.Inratio	-1,584

S-afvoer snijmaïs 2009 + 2010

Voor het verklaren van de drogestofopbrengst van 2009 + 2010 is het navolgende model gebruikt . De random factoren (Locatie + Locatie.perceel) verklaarden 55% van de variantie. De modelfactoren verklaarden 14,5% van de resterende variantie.

Model 7: Zwavelopbrengst 2009 + 2010

Response variate:	S-opbrengst
Fixed model:	Constant + lnPkm + IPPAE + lnSkM + lnPPAE.lnSkM + lnSLV + lnPkm.lnSLV + lnMg + Meststofstotype + lnK + Ktot + lnK.Ktot + Incum
Random model:	Jaar.Grondsoort + Locatie + Locatie.perceel

Op basis van de REML-analyse werd een zwak significant effect van zwavelbemesting gevonden, waarbij het effect van S-bemesting niet afhankelijk lijkt te zijn van de P-PAE ($p=0.237$ voor de interactieterm tussen S-gift en P-PAE), Tabel c.

Tabel c. Bodem- en bemestingsfactoren die een (bijna) significant effect bleken te hebben op de zwavelopbrengst van 2009 + 2010 op basis van het telkens weglaten van 1 term uit het volledige model.

Variabelen	p
$\ln(S_{\text{kunstmest}}). \ln \text{PPAE}$	0,237
$\ln(P_{\text{kunstmest}}). \ln(\text{SLV})$	0,015
$\ln(\text{MgPAE})$	<0,001
meststofstotype	0,062
$\ln(\text{KPAE}). \text{Ktot}$	0,023
$\ln(\text{cumplant})$	<0,001

* de hoofdeffecten van $\ln(S_{\text{kunstmest}})$, PPAE, $\ln(P_{\text{kunstmest}})$, $\ln(\text{SLV})$ en Ktot zijn niet weergegeven omdat bij deze parameters de interactieterm aanwezig is.

S-gehalte snijmaïs 2009 + 2010

Voor het verklaren van het zwavelgehalte in het gewas van 2009 + 2010 is het navolgende model gebruikt. De random factoren (Locatie + Locatie.perceel) verklaarden bijna 46% van de variantie. De modelfactoren verklaarden 3,8% van de resterende variantie.

Model 8: Zwavelgehalte snijmaïs 2009 + 2010

Response variate:	Zwavel
Fixed model:	Constant + lnSLV + lnPkm + lnNkm + lnSkM + Meststofstotype + pH + lnSkM.Meststofstotype + lnSkM.pH
Random model:	Jaar.Grondsoort + Locatie + Locatie.perceel

Op basis van de REML-analyse werd een zwak significant effect van zwavelbemesting gevonden, waarbij het effect van S-bemesting niet afhankelijk lijkt te zijn van meststofstotype ($p=0,180$ voor de

interactieterm tussen S-gift en meststofstotype).

Tabel d. Bodem- en bemestingsfactoren die een (bijna) significant effect bleken te hebben op de zwavelopbrengst van 2009 + 2010 op basis van het telkens weglaten van 1 term uit het volledige model. De "ln" geeft aan dat voor de analyse het natuurlijk logaritme is gebruikt.

Variabelen	<i>p</i>
ln(SLV)	0,071
ln(P _{kunstmest})	0,085
ln(N _{kunstmest})	0,092
ln(S _{kunstmest}).meststofstotype	0,180
ln(S _{kunstmest}).pH	0,064

* de hoofdeffecten van ln(S_{kunstmest}), meststofstotype en pH zijn niet weergegeven omdat bij deze parameters de interactieterm aanwezig is.

N-opbrengst snijmaïs 2009+ 2010

Voor het verklaren van de stikstofopbrengst van 2009 + 2010 is het navolgende model gebruikt. De random factoren (Locatie + Locatie.perceel) verklaarden 56% van de variantie. De modelfactoren verklaarden 10,3% van de resterende variantie.

Model 9: Stikstofopbrengst snijmaïs 2009 + 2010

Response variate:	N-opbrengst
Fixed model:	Constant + lnPkm + lnNLV + lnPkm.lnNLV + lnSLV + lnPkm.lnSLV + lnMg + lnPPAE + lnK + Ktot + lnK.Ktot + Incum
Random model:	Jaar.Grondsoort + Locatie + Locatie.perceel

Op basis van de REML-analyse werd geen significant effect van zwavelbemesting gevonden. Er was geen significante interactie tussen zwaveltoestand (SLV) en zwavelbemesting.

Tabel e. Bodem- en bemestingsfactoren die een (bijna) significant effect bleken te hebben op de zwavelopbrengst van 2009 + 2010 op basis van het telkens weglaten van 1 term uit het volledige model.

Variabelen	<i>p</i>
ln(P _{kunstmest}).ln(NLV)	0,122
ln(P _{kunstmest}).ln(SLV)	0,004
ln(Mg-PAE)	0,001
ln(PPAE)	<0,001
ln(KPAE).Ktot	0,070
Incumplant	<0,001

N-gehalte snijmaïs 2009 + 2010

In Figuur 3.7 zijn de N-gehalten in snijmaïs van 2009 en 2010 in afhankelijkheid van de S-bemesting weergegeven. Hieruit komt geen duidelijk verband naar voren en uit Model 10 valt op te maken dat er

ook nauwelijks een significant effect is.

Voor het verklaren van de stikstofgehalte in het gewas van 2009 + 2010 is het navolgende model gebruikt. De random factoren (Locatie + Locatie.perceel) verklaarden bijna 59% van de variantie. De modelfactoren verklaarden 7,2% van de resterende variantie.

Model 10: Stikstofopbrengst 2009 + 2010

Response variate:	N-gehalte snijmais 2009 +2010
Fixed model:	Constant + InSk _m + InSLV + InSk _m .InSLV + Ngift + InPPAE + InNLV + Meststof _{type}
Random model:	Jaar.Grondsoort + Locatie + Locatie.perceel

Op basis van de REML-analyse werd geen significant effect van zwavelbemesting gevonden.

Tabel f. Bodem- en bemestingsfactoren die een (bijna) significant effect bleken te hebben op de zwavelopbrengst van 2009 + 2010 op basis van het telkens weglaten van 1 term uit het volledige model.

Variabelen	<i>p</i>
In(S _{kunstmest}). In(NLV)	0,264
In(N _{kunstmest})	<0,001
In(PPAE)	<0,001
In(NLV)	0,006
meststof _{type}	0,203

* de hoofdeffecten van In(S_{kunstmest}) en In(NLV) zijn niet weergegeven omdat bij deze parameters de interactieterm aanwezig is.