



# Het belang van magnesium-, mangaan- en zwavelbemesting

In de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt

**J.G.M. Paauw**

© 2002  eningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Deze bureaustudie is uitgevoerd in opdracht van het Hoofd Productschap Akkerbouw en het Productschap Tuinbouw.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Sector AGV

s : Edelhertweg 1, Lelystad  
: Postbus 430, 8200 AK Lelystad  
Tel. : 0320 – 29 11 11  
Fax : 0320 - 23 04 79  
E-mail : [info@ppo.dlo.nl](mailto:info@ppo.dlo.nl)  
Internet : [www.ppo.dlo.nl](http://www.ppo.dlo.nl)

# Inhoudsopgave

pagina

Samenvatting .....	5
1. Inleiding .....	7
2. Magnesium .....	9
2.1 Belang voor de plant .....	9
2.2 Beschikbaarheid in de grond .....	9
2.3 Gebrekverschijnselen .....	9
2.3.1 Aardappel .....	10
2.3.2 Suikerbiet .....	10
2.3.3 Granen .....	10
2.3.4 Erwt en bonen .....	10
2.3.5 Maïs .....	10
2.3.6 Witlof .....	10
2.4 Aan- en afvoer .....	10
2.5 Opbrengstderving bij tekort .....	11
2.6 Resultaten van magnesiumproeven .....	12
2.6.1 Invloed van magnesiumbemesting op pootaardappelen .....	12
2.6.2 Invloed van magnesiumbladbemesting op consumptieaardappelen .....	13
2.6.3 Invloed van magnesiumbladbemesting op tulpen .....	13
2.6.4 Invloed van magnesiumbemesting op witlof .....	14
2.6.5 Onderzoek uit Engeland .....	14
2.7 Advies .....	14
2.7.1 Akkerbouw .....	15
2.7.2 Intensieve vollegrondsgroenteteelt .....	16
2.7.3 Bladonderzoek .....	17
3. Mangaan .....	19
3.1 Belang voor de plant .....	19
3.2 Beschikbaarheid in de grond .....	19
3.3 Gebrekverschijnselen .....	19
3.3.1 Aardappel .....	20
3.3.2 Suikerbiet .....	20
3.3.3 Granen .....	20
3.3.4 Erwt en bonen .....	20
3.3.5 Maïs .....	20
3.3.6 Witlof .....	20
3.4 Aan- en afvoer .....	20
3.5 Opbrengstderving bij tekort .....	21
3.6 Resultaten van mangaanproeven .....	21
3.6.1 Invloed van bespuiting met mangaansulfaat op droog te oogsten groene erwten ...	21
3.6.2 Mangaanbespuitingen op zomergerst .....	22
3.6.3 Invloed van bladbemesters mangaan op opbrengt en sortering van	

	consumptieaardappelen .....	22
3.7	Advies .....	23
3.7.1	Grondonderzoek.....	23
3.7.2	Bladonderzoek .....	23
4.	Zwavel.....	25
4.1	Belang voor de plant.....	25
4.2	Beschikbaarheid in de grond.....	25
4.3	Gebrekverschijnselen .....	25
4.4	Aan- en afvoer .....	26
4.5	Zwavelbehoefte van koolgewassen .....	28
4.6	Resultaten van zwavelproeven.....	29
4.6.1	Zwavelvoorziening van winterkoolzaad te Kollumerwaard in 1999 .....	29
4.6.2	Zwavelvoorziening van winterkoolzaad te Kollumerwaard in 2000 .....	30
4.6.3	Zwavelvoorziening van wintertarwe te Lauwerszijl.....	30
4.6.4	Zwavelvoorziening van wintertarwe te Valthermond .....	31
4.6.5	Zwavelvoorziening van wintertarwe te Wijnandsrade .....	32
4.6.6	Interpretatie van de resultaten .....	32
4.6.7	Conclusies wintertarwe .....	32
4.7	Advies .....	33
	Literatuurlijst .....	35

# Samenvatting

Naar aanleiding van de behoefte in de praktijk om meer duidelijkheid over de noodzaak van bemesting met secundaire en sporenelementen is voorliggende bureaustudie uitgevoerd. Hierbij is gekozen voor magnesium, mangaan en zwavel bij een selecte groep akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. Per voedingsstof is achtergrondinformatie gegeven over de functie ervan in de plant, beschikbaarheid in de bodem, gebreksziekten en bronnen van aan- en afvoer. Vervolgens zijn resultaten van veldproeven besproken van de laatste twee decennia en gereflecteerd aan de huidige bemestingsadviezen. Tenslotte is aangegeven in welke mate de huidige kennis voldoet om twijfels in de praktijk over bemesting met het betreffende element weg te kunnen nemen.

## **Magnesium**

De veldproeven hebben maar weinig magnesiumgebrek laten zien, ondanks vrij lage magnesiumtoestanden van de grond. Uit de resultaten kwam dan ook weinig tot geen effect van een magnesiumtoepassing naar voren, zowel na bodem- als bladbemesting.

In de praktijk wordt echter vaak genoeg magnesiumgebrek waargenomen, vooral in aardappelen. Uit het onderzoek is niet naar voren gekomen hoe daarop ingespeeld moet worden, terwijl zonder magnesiumbemesting bij veel aardappelrassen het risico van opbrengstderving groot is. Het huidige bemestingsadvies houdt geen rekening met deze rasverschillen. Welke aardappelrassen het meest gevoelig zijn voor magnesiumgebrek en hoe magnesiumbemesting het best uitgevoerd kan worden (bodem of bladbemesting en in welk stadium) is onvoldoende uitgezocht. Dit leidt ertoe dat er in de praktijk vaak preventief en onnodig met magnesium wordt bemest om geen risico te lopen op opbrengstderving.

## **Mangaan**

Mangaan levert in de praktijk minder problemen op. Er wordt nog wel mangaangebrek waargenomen, maar dit is goed te corrigeren met een gewasbespuiting. Veldproeven uitgevoerd in de laatste twee decennia geven geen aanleiding om de huidige richtlijnen voor bemesting te herzien.

Op diluviaal zand is de pH een goede maat om de kans op mangaangebrek te voorspellen. Op kleigrond kan grondonderzoek een aanwijzing zijn voor de kans op mangaangebrek, maar moet er wel regelmatig in het gewas gekeken worden. Bij mangaangebrek is een gewasbespuiting met mangaan het advies. Omdat mangaan niet mobiel is in de plant, kan het nodig zijn de bespuiting na enige dagen te herhalen. Als de ervaring heeft geleerd dat een beginnend gebrek vanzelf weer verdwijnt, dan is een bespuiting niet nodig.

## **Zwavel**

Door milieuhygiënische maatregelen neemt de zwaveldepositie af en zijn meststoffen zuiverder geworden. Hierdoor is een belangrijke aanvoerpost sterk afgenomen en zijn in zwavelbehoeftige gewassen de laatste jaren de eerste gebrekverschijnselen van zwavel waargenomen.

Er is geen formeel bemestingsadvies voor zwavel. Uit proeven met wintertarwe bleek een zwavelgift van 20 kg S per ha voldoende om een zwaveltekort te voorkomen. De zwavel moet dan bij de eerste stikstofgift gegeven worden. Het effect van een zwavelbemesting komt tot uiting op zwavelbehoeftige gronden. De zwavelbehoefte is het grootst op lichte gronden omdat zwavel daar gemakkelijk uitspoelt. Omdat in het noorden de zwaveldepositie het laagst is, is daar de kans op zwaveltekort het grootst. De zwavelbehoefte van een gewas kan goed met een zwavelhoudende kunstmest gedekt worden.



# 1. Inleiding

Gewassen hebben een groot aantal voedingselementen nodig voor een optimale productie en kwaliteit. Deze elementen zijn onder te verdelen in: structuurelementen (C,H,O), hoofdelementen (N,P,K), secundaire elementen (S, Ca, Mg) en sporen ofwel micro-elementen (Fe, Mn, B, Cu, Mo, Cl)<sup>1</sup>. Deze verdeling is hoofdzakelijk gebaseerd op de hoeveelheid die de plant hiervan nodig heeft. Zo verhouden de concentraties aan mangaan, magnesium en stikstof in de plant zich als 1 : 80 : 1000.

Het meeste onderzoek is verricht naar de voorziening van de hoofdelementen. Stikstof, fosfaat en kali zijn doorgaans in grote hoeveelheden nodig voor een goede opbrengst en kwaliteit. Hiervan is veel kennis en ervaring aanwezig op de bedrijven. Voor een deel van de secundaire- en sporenelementen (zoals ijzer en chloor) is de beschikbaarheid in de Nederlandse gronden zo goed dat een gebrek nagenoeg nooit voorkomt. Voor de meeste secundaire- en sporenelementen, waarvan de beschikbaarheid soms wel een probleem kan vormen, zijn in de adviesbasis voor bemesting (van Dijk, 1999) richtlijnen gegeven. Door de lage prioriteit, die aan deze voedingselementen is gegeven, is het onderzoek dat hieraan ten grondslag ligt vaak zeer beperkt en de kennis hierover gedateerd.

Aanleiding van deze bureaustudie is dat er in de praktijk veel onduidelijkheid is over de voorziening van secundaire- en sporenelementen. Enerzijds worden gebreksziekten onvoldoende herkend, anderzijds wordt met deze elementen bemest zonder noodzaak, leidend tot onnodige kosten. Door de leveranciers wordt hierop ingespeeld. Diverse middelen worden aangeboden en aanbevolen die een mogelijk gebrek aan deze elementen kunnen voorkomen.

Er bestaat behoefte aan objectieve en duidelijke richtlijnen voor bemesting met deze elementen, waarbij rekening wordt gehouden met de eisen van nieuwe rassen. Centrale vragen hierbij zijn: wanneer is bemesting met sporenelementen nodig; op welk tijdstip; hoe; hoeveel; en met welk middel? Naar aanleiding hiervan is in opdracht van het Hoofd Productschap Akkerbouw en het Productschap Tuinbouw voorliggende bureaustudie uitgevoerd.

Vanwege het groot aantal mogelijke element-gewascombinaties is een selectie gemaakt van die elementen en gewassen waar de genoemde problematiek in de praktijk het meest actueel is. Gekozen is voor de magnesium- en mangaanvoorziening van aardappelen, suikerbieten, granen, maïs, erwten, bonen en witlof; gewassen waar de laatste twee decennia in Nederland aanleiding bestond voor het uitvoeren van veldproeven. Daarnaast is gekozen voor de zwavelvoorziening van sluitkolen en wintertarwe en winterkoolzaad. Zwavel is gekozen omdat de depositie hiervan door milieumaatregelen de afgelopen decennia sterk is afgenomen en vanwege signalen uit de praktijk over zwavel gebrekverschijnselen in sluitkolen, tarwe en koolzaad.

In de volgende drie hoofdstukken zijn mangaan, magnesium en zwavel achtereenvolgens besproken. Per element is aangegeven wat de functie ervan is voor de plant, welke factoren het meest bepalend zijn voor de beschikbaarheid in de bodem en hoe een gebrek in het gewas wordt herkend. Vervolgens is een overzicht gegeven van de belangrijkste aan- en afvoerposten zoals afvoer via oogstproducten en uitspoeling, en aanvoer via de diverse anorganische en organische meststoffen. Daarna zijn de resultaten gepresenteerd en besproken van recente veldproeven. Elk hoofdstuk sluit af met een uiteenzetting over de huidige bemestingsadviezen van het betreffende element. Hierbij wordt ook aangegeven in welke mate de huidige kennis voldoet om twijfels over de noodzaak van bemesting met het betreffende element uit de praktijk weg te kunnen nemen.

---

<sup>1</sup> De symbolen staan voor: C – koolstof, H – waterstof, O – zuurstof, N – stikstof, P – fosfaat, K – kalium, S – zwavel, Ca – calcium, Mg – magnesium, Fe – ijzer, Mn – mangaan, B – borium, Cu – koper, Mo – molybdeen, Cl – chloor.





## 2. Magnesium

### 2.1 Belang voor de plant

Magnesium (Mg) is voor de plant onder andere van belang als bouwsteen van het bladgroen. Het bladgroen geeft het gewas de groene kleur. Daarnaast is magnesium van belang voor de ademhaling en gebruiken enzymen magnesium bij het omzetten van stikstof in eiwit (Bergman, 1992).

Magnesium is een voedingselement welke in de plant mobiel is. Bij gebrek verplaatst het magnesium uit de oudere bladeren naar de jongere (Jansen en Beusichem, 1991). De eerste verschijnselen van gebrek zijn dan ook in de oudere bladeren te vinden. Een tekort uit zich bij monocotylen in een vlekking (tijgering) van het bladoppervlak. Bij dicotylen kleurt het blad tussen de nerven licht groen tot geel, terwijl de nerven groen blijven.

Bij het grondonderzoek, de advisering en de afvoer door de gewassen worden de magnesiumhoeveelheden doorgaans uitgedrukt in kg magnesiumoxide (MgO) in plaats van Mg.

### 2.2 Beschikbaarheid in de grond

Magnesiumgebrek op zand-, dal- en veengrond treedt op bij een lage pH en een lage magnesiumtoestand<sup>2</sup> van de grond. De invloed van de pH is als volgt te verklaren (Vries en Dechering, 1960):

1. Bij een lage pH neemt de plant moeilijker magnesium op. Dit wordt o.a. veroorzaakt door competitie met de opname van mangaan en calcium bij een lage pH.
2. Bij een lage pH komt méér magnesium in oplossing, leidend tot grotere verliezen door uitspoeling waardoor de bodemvoorraad afneemt. Op bouwland op zand- en dalgrond kan er 20 kg MgO per ha per jaar uitspoelen.

Op kalkrijke zeekleigronden komt gebrek vaak door een lage magnesiumtoestand en/of een geringe beschikbaarheid bij een hoge pH.

De beschikbaarheid wordt niet alleen bepaald door de pH maar ook door de temperatuur en de vochttoestand van de grond. Bij koud en schraal weer is er minder magnesium beschikbaar in het bodemvocht. Bij koud weer is de magnesiumopname ook geringer omdat de plant dan minder vocht verdampt. Bij een ruime kaliumvoorziening treedt ook eerder magnesiumgebrek op omdat kalium en magnesium antagonisten zijn. De overmaat aan kalium gaat de opname van magnesium dan tegen. De grondsoort speelt ook een rol ten aanzien van de natuurlijke reserve. Kleigronden hebben een grotere reserve aan mineralen, waaronder magnesium. Bij verwerking van kleimineralen kan er magnesium beschikbaar komen voor opname door het gewas. Daarnaast binden kleigronden o.a. magnesium aan het kleihumus complex waardoor het niet uitspoelt. Zandgronden hebben bijna geen reserve. Alleen de organische stof kan wat magnesium leveren.

De reserve van een dalgrond zit dan ook vooral in de organische stof. De organische stof bevat en bindt magnesium. Hierdoor wordt het behoed voor uitspoeling. Op gronden met een hoog organische stofgehalte is dan ook minder magnesium nodig voor onderhoudsbemesting (zie paragraaf 2.7.1).

### 2.3 Gebrekverschijnselen

Als de plant onvoldoende magnesium uit de grond op kan nemen, wordt er magnesium uit de oudste bladeren getransporteerd naar de nieuwe. De gebrekverschijnselen moet dan gezocht worden in de oudste bladeren, ofwel onder in het gewas. Bij een ernstig gebrek kan magnesiumgebrek leiden tot opbrengstderving (zie paragraaf 2.5). De kenmerken van magnesiumgebrek verschillen per gewas (IKC,

---

<sup>2</sup> De magnesiumtoestand van de grond wordt bepaald door menging van 1 gewichtsdeel grond met 5 gewichtsdelen extractievloeistof (0,5 N NaCl) waaring de MgO-concentratie wordt bepaald d.m.v. atomaire absorptie spectrometrie.

1994).

### 2.3.1 Aardappel

De onderste bladeren krijgen in het begin een lichtgele verkleuring tussen de nerven. De bladrand blijft groen. Bij aardappelen lijkt het erop dat de opbrengstverliezen wat later optreden dan de gebrekverschijnselen. Ofwel, er mag een licht gebrek zichtbaar zijn zonder dat het opbrengst kost. Bij een beginnend magnesiumgebrek kan een bespuiting met magnesium dan opbrengstverlies voorkomen. Deze ervaring is voortgekomen uit onderzoek van lang geleden. Er werden toen andere rassen geteeld en het opbrengstniveau was toen veel lager. Het is niet bekend of de huidige rassen bij een licht gebrek opbrengst laten liggen. Onderzoek moet hierover duidelijkheid scheppen.

Bij een voortschrijdend gebrek ontstaan in de gele bladdelen bruine tot zwarte vlekken. Deze vlekken trekken niet meer weg als er met magnesium wordt gespoten. In dat stadium van gebrek treedt er opbrengstderving op.

Een ziekte die soms verward wordt met magnesiumgebrek is *Alternaria*. Bij *Alternaria* ontstaan er donkere vlekjes met concentrische groeiringen, soms begrensd door bladnerven. De grootte varieert van enkele millimeters tot 2 cm. (Zaag, 1994).

### 2.3.2 Suikerbiet

In de oudste bladeren ontstaan lichte geelverkleuringen tussen de nerven. De bladrand wordt bruin-zwart. Bij bieten kan er magnesiumtekort ontstaan zonder dat er gebrekverschijnselen zichtbaar zijn. Magnesiumgebrek en opbrengstverlies is te voorkomen door de magnesiumtoestand van de grond op peil te houden. Op veel grondsoorten wortelt een biet erg diep. Over een grote diepte kan de biet dan ook magnesium opnemen. Waarschijnlijk is dit de reden dat er weinig problemen zijn met magnesiumgebrek in bieten.

### 2.3.3 Granen

Een beginnend gebrek uit zich in donkergroene vlekjes (tijgering). Later wordt het blad geel en rolt het op. De nieuwe bladeren zijn veel smaller en hierdoor krijgt het gewas een grasachtig uiterlijk. Magnesiumgebrek veroorzaakt een slechte uitstoeling en verlaat de afrijping.

Bij graan heeft een lichte tijgering, welke later weer verdwijnt door een magnesiumbespuiting of door gunstig weer, geen gevolgen voor de opbrengst. Een bont gewas, wat nog wel groen is, zit op de grens van opbrengstderving. Zet het gebrek door, dan kan er bij graan een flinke opbrengstderving ontstaan. Rogge is echter minder gevoelig voor een tekort aan magnesium dan de overige granen.

### 2.3.4 Erwt en bonen

De oudere bladeren laten een geelgroene verkleuring zien tussen de nerven, terwijl de bladranden nog groen blijven. De geelgroene vlekjes kleuren later dofbruin, waardoor deze bladeren eerder afsterven.

### 2.3.5 Maïs

In de oudste bladeren ontstaan tussen de nerven geelgroene strepen. Later gaan deze over in aaneengesloten plekken dood weefsel, terwijl de nerven groen blijven (Jansen en Beusichem, 1991). Bij ernstig gebrek blijven de planten klein, zijn de kolven klein en rijpen de korrels slecht af.

### 2.3.6 Witlof

De oudere bladeren vertonen een vrij grove rood-bruine tekening van het bladmoes tussen de nerven.

## 2.4 Aan- en afvoer

Via de oogstproducten voeren de gewassen veel minder magnesium af dan de hoofdelementen stikstof, fosfaat en kalium. Van een aantal gewassen zijn gemiddelde afvoercijfers bekend:

- granen circa 15 kg MgO per ha

- aardappelen circa 20 kg MgO per ha
- suikerbieten nemen verreweg de meeste MgO op. In blad en wortel is de opname ruim 80 kg MgO per ha. De MgO in het blad komt na de oogst weer terug op het land.
- spruiten nemen een hoeveelheid MgO op die afhankelijk is van de planttijd: 29 kg per ha bij vroeg planten en 16 kg bij laat planten. De afvoer is dan 11 respectievelijk 7 kg per ha.

Afvoer van magnesium is te compenseren door:

1. strooien van magnesiumhoudende kunstmeststoffen (zoals kieseriet, bitterzout en magnesamon);
2. toedienen van organische meststoffen (zie tabel 1);
3. spuiten met magnesiumhoudende bladmeststoffen (zoals magnisal-Mg, hydromag en bitterzout).

De magnesium in dierlijke mest is in het eerste jaar na toediening voor 100% werkzaam. Bij toediening van de mest in het najaar kan een deel van de magnesium uitspoelen en/of gebonden worden aan de grond, waardoor de werking afneemt. De werkelijke magnesiumgehalten van organische meststoffen kunnen sterk afwijken van de in de tabel vermelde gemiddelden. Dit hangt o.a. samen met verschillen in rantsoen, watergebruik en mate van menging.

Tabel 1. **Gemiddelde MgO-gehalten van organische meststoffen.**

<b>Mestsoort</b>	<b>MgO-gehalte (kg/ton)</b>
<b><i>Vloeibare mest</i></b>	
Rundveedrijfmest	1,3
Vleeskalverendrijfmest	1,0
Vleesvarkensdrijfmest	1,8
Zeugendrijfmest	1,1
Kippendrijfmest	2,2
Rundveegier	0,2
Varkensgier	0,2
Zeugengier	0,2
<b><i>Vaste mest</i></b>	
Vaste rundveemest	2,1
Vaste varkensmest	2,5
Droge hennenmest	4,9
Kippenstrooiselmest	5,3
Vleeskuikenmest	6,5
Kalkoenenmest	6,3
Eendenmest	5,7
Konijnenmest	5,7
Paardenmest	1,8
Schapenmest	2,8
Nertsenmest	2,2
Vossenmest	2,2
Vaste geitenmest	3,5
Champost	2,4
GFT-compost	2,7

Bron: Nutrinorm, 2001.

## 2.5 Opbrengstderving bij tekort

Gewassen reageren verschillend op een tekort aan magnesium. Tabel 2 geeft aan hoe aardappelen, suikerbieten en haver reageren op verschillende MgO-gehalten van de grond.

Tabel 2. **Verband tussen het MgO-gehalte van de grond en de opbrengstverhoging die nog mogelijk is door magnesiumbemesting.**

MgO-gehalte grond (mg/kg)	20	30	40	50	60	70	80	90
<b>Aardappelen (%)</b>	5,5	3,6	3,0	2,4	1,8	1,2	0,7	0
<b>Suikerbieten (ton/ha)</b>	4,0	3,3	2,6	1,9	1,2	0,6	0,1	0
<b>Haver (ton/ha)</b>	0,1	0,04	0,03	0,02	0,01	0	0	0

Bij aardappelen lijkt een MgO-gehalte van de grond van 90 voldoende voor een goede opbrengst. Uit de literatuur was niet af te leiden welk ras in dit onderzoek was opgenomen. In de praktijk blijken de aardappellrassen duidelijk te verschillen in gevoeligheid voor magnesium. Afgaan op alleen de magnesiumtoestand van de grond is niet verstandig. Verschillende rassen laten namelijk al in een vroeg stadium een gebrek zien, ongeacht de magnesiumtoestand van de grond. Er is niet onderzocht hoe deze rassen het beste kunnen worden voorzien met magnesium. De vraag rijst of er moet worden gewacht op de eerste gebrekverschijnselen, of dat er preventief magnesium moet worden gegeven (via de bodem of het blad).

Bieten hebben voldoende aan 80 mg MgO per kg grond. Omdat bij bieten al sprake is van opbrengstderving, zonder dat de gebrekverschijnselen al zichtbaar zijn, is het goed deze toestand in de gaten te houden.

Haver reageert nauwelijks op magnesiumbemesting. Bij andere granen kan er wel sprake zijn van opbrengstderving als het gebrek zich doorzet.

## 2.6 Resultaten van magnesiumproeven

De afgelopen jaren is er in een aantal gewassen onderzoek uitgevoerd met magnesium. Deze proeven zijn in het kort besproken om een indruk te geven van de effecten van toediening van magnesium op de opbrengst en kwaliteit van de gewassen.

### 2.6.1 Invloed van magnesiumbemesting op pootaardappelen

De proef is in 1998 aangelegd op ROC Kollumerwaard. De grond had 23% lutum en een MgO getal van 60. Beneden de 60 neemt met name op lichtere kalkrijke kleigrond de kans op gebrekverschijnselen toe. De proefopzet is weergegeven in tabel 3 (SPNA,1998).

Tabel 3. **Proefopzet magnesiumbemesting in Desirée pootaardappelen.**

Object	Behandeling	gr. MgO/ha	Tijdstip
<b>A</b>	20 kg/ha bitterzout	3200	Knopstadium bloei
<b>B</b>	20 kg/ha bitterzout + 20 kg/ha bitterzout	6400	Knopstadium + volle bloei
<b>C</b>	4 keer 10 kg/ha bitterzout	6400	Knopstadium + telkens na 1 week
<b>D</b>	525 kg/ha Optimag <sup>1</sup>	52000	Vlak na het poten
<b>E</b>	165 kg/ha Sulfomag <sup>2</sup>	57750	Vlak na het poten
<b>O</b>	Onbehandeld	0	-

<sup>1</sup> 20 % N + 10 % MgO + 10 % SO<sub>3</sub>: volumegewicht: 1,14 kg/L

<sup>2</sup> 35 % MgO + 36,8 % SO<sub>3</sub>

### Bespreking resultaten

Tijdens de groei is alleen in het object onbehandeld een lichte vorm van magnesiumgebrek geconstateerd. De overige objecten zijn vrij gebleven, mede door de toegediende magnesium. In tabel 4 zijn de resultaten weergegeven per sortering en totaal.

Tabel 4. **Opbrengst en sortering van Desirée pootaardappelen door magnesiumbemesting (ton/ha).**

Object	<28	28/35	35/45	45/55	>55	28/55	Totaal
<b>A</b>	0,7	3,0	15,4	17,1	2,8	35,5	39,0
<b>B</b>	0,6	3,2	13,8	16,6	3,4	33,6	37,6
<b>C</b>	0,8	3,1	15,4	15,0	3,2	33,5	37,4
<b>D</b>	0,6	3,2	14,3	17,3	2,9	34,8	38,3
<b>E</b>	0,6	3,0	15,9	16,1	2,7	35,1	38,4
<b>O</b>	0,6	3,3	16,4	14,6	2,5	34,3	37,4
<b>LSD</b>	0,2	0,7	1,5	2,3	1,2	2,2	2,2

LSD: verschillen zijn voor 95% betrouwbaar als deze groter zijn dan de vermelde LSD-waarde.

Uit tabel 4 blijkt dat er nauwelijks significante verschillen in opbrengst zijn opgetreden door een Mg-bemesting vlak na het poten of een Mg-bespuiting tijdens de groei. In de maat 35/45 en 45/55 zijn er een paar significante verschillen. In de maat 28/55 en totaal zijn er geen significante verschillen gemeten. Op deze grond, bij een MgO-gehalte van 60 mg, heeft een Mg-toepassing geen opbrengstverhoging opgeleverd. Dit sluit aan bij de mate van gebrekverschijnselen zoals die in de proef zijn waargenomen.

### 2.6.2 Invloed van magnesiumbladbemesting op consumptieaardappelen

In 1999 lag er op de Kollumerwaard een proef met Mg bladbemesters in Asterix consumptieaardappelen (S PNA, 1999). De magnesiumtoestand van de grond was 98 mg MgO. De volgende bladmeststoffen zijn ingezet:

- Bitterzout microtop
- Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>
- Mg-suspensie
- Bitterzout + ureum
- Onbehandeld

Uit de resultaten kwam naar voren dat er bij de afzonderlijke maten wel significante verschillen waren, maar bij de totaalopbrengst niet.

### 2.6.3 Invloed van magnesiumbladbemesting op tulpen

In 1993 heeft er op ROC De Waag een proef gelegen waar in tulpen de invloed van bladbespuitingen met magnesium is onderzocht (Anonymus, 1995). De grond had 4% lutum en 1,5% organische stof. Het magnesiumgehalte was 32 mg MgO/kg grond. Bij dit gehalte is er op deze grond een grote kans op magnesiumgebrek.

In de proef is gespoten met suspensies van Wuxal no. 1 en 2. In deze suspensies zit naast magnesium ook mangaan, borium en stikstof. De proefopzet was als volgt:

- Onbehandeld
- Vanaf maart tot de bloei tweewekelijks spuiten met 5 L/ha Wuxal no.1
- Vanaf maart tot de bloei tweewekelijks spuiten met 5 L/ha Wuxal no.1 + vanaf begin bloei tot rooien tweewekelijks 5 L/ha Wuxal no. 2

Per keer werd met Wuxal no. 1 1,5 kg N, 0,3 kg MgO, 1,5 g borium (B) en 3,75 g mangaan (Mn) gespoten. Voor Wuxal no. 2 was dit 0,8 kg N, 0,15 kg MgO, 4 g Borium en 8 g mangaan.

Tijdens de groei zijn er geen verschillen in stand waargenomen. Bij het rooien was het onbehandelde iets meer afgestorven. Er konden geen verschillen in opbrengst worden aangetoond. Per object is een monster bollen uit de maat 11/12 geanalyseerd op N, Mg, B en Mn. De analyseresultaten vertoonden nauwelijks verschillen. Ondanks de lage magnesiumtoestand van de grond heeft magnesium geen invloed gehad op de opbrengst.

#### 2.6.4 Invloed van magnesiumbemesting op witlof

Op klei en alluviaal zand wordt geen magnesiumbemesting geadviseerd op basis van grondonderzoek. Op een dergelijke grond is het beter te wachten op een beginnend gebrek en dan een preventieve bespuiting uit te voeren. In een proef op ROC De Waag (1990 t/m 1992) is onderzocht wat de invloed was van een basisbemesting en/of bladbespuiting op de lofopbrengst en de lofkwiteit (Anonymus, 1995). Het betrof een grond met ca. 6% lutum en 1,7% organische stof. In de proefjaren varieerde het MgO-getal van 31 tot 58, afhankelijk van het perceel waar de proef lag. De proefopzet is beschreven in tabel 5.

Tabel 5. **Proefopzet magnesiumtoepassing in witlof (1990-1992).**

Object	Basisbemesting	Bladbespuitingen			
	Kg MgO/ha	Bladmeststof	Dosering per ha	Kg MgO per keer	Kg MgO totaal
A	0	geen	-	-	-
B	0	Bitterzout	15 kg	2,4	7,2
C	0	Mg-chelaat	5 L	0,25	0,75
D	0	Wuxal	5 L	0,3	0,9
E	260	geen	-	-	-
F	260	Bitterzout	15 kg	2,4	7,2
G	260	Mg-chelaat	5 L	0,25	0,75

Het onderzoek is uitgevoerd in de rassen Flash (in 1990 en 1991) en Bea (in 1992). Met de bladmeststoffen is drie keer gespoten: eind juli, half augustus en eind augustus. Tijdens de groei zijn er geen verschillen in stand waargenomen. Bladvuur en magnesium gebrekverschijnselen zijn in geen van de onderzoeksjaren gesignaleerd. Tussen de objecten zijn geen verschillen in opbrengst vastgesteld. In alle drie jaren hadden de basisbemesting en de verschillende bladbespuitingen geen invloed op de lofopbrengst en de lofkwiteit in de trek.

#### 2.6.5 Onderzoek uit Engeland

Tussen 1995 en 1999 is in Engeland in acht veldproeven het effect van magnesiummeststoffen onderzocht op de opbrengst van aardappelen (Allison, et. al, 2001). In deze proeven had magnesium geen invloed op de opbrengst ondanks de verschillen in beschikbare magnesium in de bodem. In zes andere veldproeven, waar ook gevarieerd werd in het stikstof-, kalium- en calciumaanbod, bleek dat bij hogere stikstofgiften de magnesiumconcentratie in blad en stengel toenam. Dit komt overeen met waarnemingen in Nederland dat de eerste tekenen van magnesiumgebrek in aardappelen vaak verdwijnen na een extra stikstof bijbemesting. Ofwel, bij een ruime stikstofvoorziening is de kans op magnesiumgebrek kleiner. Als dit algemeen bekend wordt, zal er op magnesiumgevoelige grond meer stikstof gestrooid gaan worden, wat uiteraard niet de bedoeling is. Onderzoek moet aangeven hoe met magnesiummeststoffen een gebrek aangepakt moet worden,

In het engelse onderzoek bleek de magnesiumopname door het aardappelgewas niet duidelijk beïnvloed te worden door de hoeveelheid beschikbare magnesium van de bodem en het aanbod van kalium en calcium.

## 2.7 Advies

Het magnesiumadvies, zoals beschreven in de "Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen" (van Dijk, 1999) is al tientallen jaren oud (Bakker, 1981). Tegenwoordig zijn de opbrengsten veel hoger en is het rassenassortiment totaal vernieuwd. Dit magnesiumadvies is bovendien een bodemadvies terwijl er tegenwoordig veel magnesium bladmeststoffen beschikbaar zijn. De vraag rijst dan ook of het oude magnesiumadvies nog past in deze tijd van hoge opbrengsten, andere rassen en andere meststoffen.

Op grond van de beschreven van magnesiumveldproeven (paragraaf 2.6) kan geconcludeerd worden dat magnesium geen invloed heeft gehad op de opbrengst en kwaliteit van de gewassen. Dit ondanks lage magnesiumtoestanden van de grond tijdens het onderzoek. Dat zou betekenen dat het huidige magnesiumadvies hoog genoeg is.

In de praktijk zien we tegenwoordig in verschillende aardappelrassen al vroeg een magnesiumgebrek optreden. Zonder magnesiumbemesting zullen deze rassen vroegtijdig afsterven. Het huidige bemestingsadvies houdt geen rekening met de verschillen in magnesiumbehoefte tussen de aardappelrassen die in de praktijk zijn waargenomen. Wat voor rassen het meest gevoelig zijn voor magnesiumgebrek, hoe magnesiumbemesting het best uitgevoerd kan worden (bodem of bladbemesting en in welk stadium), is nog onvoldoende onderzocht. Dit leidt ertoe dat in de praktijk vaak preventief met magnesium wordt bemest om geen risico te lopen op opbrengstderving. Meer duidelijkheid hierover door experimenteel veldonderzoek kan voorkómen dat minder vaak onnodig met magnesium wordt bemest dan nu het geval is.

De bemestingsrichtlijnen van de “Adviesbasis voor de akkerbouw- en de vollegrondsgroentegewassen” zijn hieronder beschreven. Dit advies is op enkele punten uitgebreid, op basis van ervaringen vanuit de praktijk. Hierbij komen ook de bladmeststoffen aan de orde.

## 2.7.1 Akkerbouw

### **Kleigrond en alluviaal zand**

Kleigrond en alluviale zandgronden zijn gronden welke zijn ontstaan als zee- of rivierafzetting. Op deze grondsoorten wordt geen magnesiumadvies gegeven op basis van grondonderzoek. De bodemvoorraad van deze grond is namelijk geen goede maat voor de beschikbaarheid van magnesium in het groeiseizoen. Op basis van het MgO-gehalte van de grond kan wel de kans op magnesiumgebrek worden ingeschat. Het streeftraject loopt van 60-120 mg MgO/kg grond. Beneden de 60 mg/kg neemt met name op lichtere, kalkrijke kleigrond de kans op gebrekverschijnselen toe.

Hoe moet worden omgegaan met magnesium op deze grond is afhankelijk van de kans op magnesiumgebrek. De kans op magnesiumgebrek is vooral gebaseerd op praktijkervaring op het eigen bedrijf, perceel, gewas en ras. Aan het advies ligt geen onderzoek ten grondslag. Het is dan ook niet bekend of er bij deze adviezen alsnog opbrengstderving optreedt. Onderzoek kan hier antwoord op geven.

#### **1. Kleine kans op gebrek:**

Is er in een gewas of ras slechts een kleine kans op magnesiumgebrek, wacht dan de eerste gebrekverschijnselen af. Controleer het gewas regelmatig op magnesiumgebrek. Zodra de eerste gebrekverschijnselen zichtbaar zijn, spuit dan met een magnesium bladmeststof. Houdt de volledige dosering aan volgens het advies.

#### **2. Grote kans op magnesiumgebrek**

Op sommige gronden, maar ook in sommige gewassen en rassen is elk jaar magnesiumgebrek te vinden. Soms is de magnesiumtoestand van de grond dan ook lager dan 60 mg MgO/kg grond, maar niet altijd. In deze situaties is het niet verstandig om op het eerste gebrek te wachten. Er zijn een tweetal mogelijkheden om op deze gronden magnesiumgebrek te voorkomen:

- a. Allereerst bestaat de mogelijkheid om in het vroege voorjaar een bodemmeststof te strooien b.v. kieseriet. Deze meststof heeft enige tijd nodig om tot werking te komen. Tijdens de groei moet nog wel gecontroleerd worden op magnesiumgebrek.
- b. Een andere mogelijkheid is om regelmatig lage doseringen magnesium te verspuiten, eventueel in combinatie met andere bespuitingen. Een 10-20% dosering van het volledige advies per keer spuiten is dan het advies. Zo wordt voorkomen dat er te laat wordt begonnen. Te laat beginnen kan de groei verstoren, wat kan leiden tot opbrengstderving.

### **Diluviaal zand, dalgrond en löss**

Diluviaal zand is een grond welke niet is ontstaan als zee- of rivierafzetting. Op deze grond kan er gemakkelijk magnesium uitspoelen. Met name het organische stofgehalte van de grond speelt hierbij een rol. In tabel 6 zijn normen weergegeven voor de compensatie van de afvoer en uitspoeling van magnesium.

Tabel 6. **Benodigde MgO (kg/ha per jaar) als compensatie voor de afvoer en uitspoeling van magnesium op zand, dalgrond en löss. (MgO in de vorm van MgSO<sub>4</sub>).**

Percentage organische stof	Bouwvoordikte (cm)		
	20	25	30
2,5	58	72	87
7,0	50	62	75
14,0	41	52	62

Voor de bovengenoemde grondsoorten is een bodemadvies opgesteld op basis van het magnesiumgehalte van de grond. Dit gehalte is een goede indicatie voor de kans op magnesiumgebrek tijdens de groei. De in tabel 6 vermelde adviezen hebben betrekking op MgO, toegediend in de vorm MgSO<sub>4</sub> of MgO uit dierlijke mest. Deze MgO werkt het eerste jaar voor 100%. MgO toegediend in de vorm van MgCO<sub>3</sub> ( o.a. in kalkmeststoffen) is bij najaarstoediening 50% en bij voorjaarstoediening 25% van de werking van MgSO<sub>4</sub>. Voor het MgO gehalte van deze grondsoorten geldt als streefgetal 75 mg MgO/kg grond. De in tabel 7 vermelde de adviesgiften zijn bodemgerichte adviezen. Hierbij is rekening gehouden met het MgO-gehalte en de uitspoeling. De adviezen zijn gebaseerd op onderzoek uit de 60-70-er jaren.

Tabel 7. **Waardering magnesiumtoestand en adviesgiften voor de akkerbouw op diluviaal zand, dalgrond en löss.**

Waardering	MgO-gehalte in mg /kg grond	Adviesgift <sup>1</sup> kg MgO/ha			
		1 <sup>e</sup> jaar	2 <sup>e</sup> jaar	3 <sup>e</sup> jaar	4 <sup>e</sup> jaar
Laag	0-75	1	2	2	2
Voldoende	75-109	0	2	2	2
Ruim voldoende	110-174	0	0	2	2
Hoog	175-300	0	0	0	2
Zeer hoog	> 300	0	0	0	0

1. berekening gift (kg MgO/ha)
  - 0: geen MgO bemesting nodig
  - 1: (75 – MgO-gehalte) x bouwvoordikte in dm x volumegewicht grond
  - 2: 20,7 x bouwvoordikte in dm x volumegewicht grond

Het volumegewicht van de grond kan worden berekend met de formule:

$$\frac{1}{0,02525 \times \text{humus \%} + 0,6541}$$

### 2.7.2 Intensieve vollegrondsgroenteteelt

De waardering en bijbehorende adviesgiften staan vermeld in tabel 8. Dit advies is vrij ruim en zwak onderbouwd. In tegenstelling tot de akkerbouw wordt hier rekening gehouden met de zwaarte van de grond. Het verschil in advisering tussen de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt kon niet achterhaald worden. Om de tabel goed af te kunnen lezen, is het goed de zwaarte van de grond én de MgO-gehalte van de grond te weten. Door in de tabel het MgO-gehalte van een grond op te zoeken in de kolom met het bijbehorende lutumpercentage, kan in de laatste kolom het advies afgelezen worden.



Tabel 8. **Waardering magnesiumtoestand<sup>1</sup> en adviesgiften voor de vollegrondsgroenteteelt.**

Waardering	MgO-gehalte (mg/kg grond)					Adviesgift <sup>2</sup> kg MgO/ha
	< 8% lutum	8-12% lutum	12-18% lutum	18-25% lutum	> 25% lutum	
Zeer laag	<49	<74	<74	<90	<124	250 <sup>3</sup>
Laag	50-74	75-99	75-124	100-149	125-199	200
Vrij laag	75-99	100-124	125-149	150-199	200-249	150
Goed	100-124	125-149	150-199	200-249	250-299	100
Vrij hoog	125-149	150-199	200-249	250-299	300-399	50
Hoog	150-199	200-249	250-299	300-399	400-499	0
Zeer hoog	>200	>250	>300	>400	>500	0

<sup>1</sup> voor waardering en advisering veengrond: zie > 25% lutum.

<sup>2</sup> indien de Mg-toestand "goed" of lager is en de K-toestand "hoog" of "zeer hoog", wordt de geadviseerde gift verhoogd met resp. 50 en 100 kg MgO per ha.

<sup>3</sup> Bij een lutumgehalte > 18% en een MgO gehalte < 49: 300 kg MgO per ha.

Bij een lutumgehalte > 25% en een MgO gehalte < 74: 300 kg MgO per ha.

### 2.7.3 Bladonderzoek

In de akkerbouw- en vollegrondsgroenteteelt zijn geen adviezen bekend op basis van het magnesiumgehalte in het blad. In de praktijk zijn er wel ervaringen mee opgedaan, maar in Nederland zijn er geen normen en adviezen bekend op basis van bladonderzoek. In het buitenland is er wel wat onderzoek naar gedaan, maar de resultaten zijn moeilijk te vertalen naar Nederlandse omstandigheden.



## 3. Mangaan

### 3.1 Belang voor de plant

Mangaan (Mn) activeert enzymen die een rol spelen bij de ademhaling, de fotosynthese, de celdeling en de vorming van eiwitten en bladgroen. Mangaan speelt ook een rol bij de omzetting van nitraat naar amino-verbindingen (Bergman, 1992). Planten met mangaangebrek hebben dan ook een hoger nitraatgehalte dan andere planten.

Mangaan is weinig mobiel in de plant en bij gebrek vindt er dan weinig herverdeling plaats. Het gebrek is dan ook zichtbaar in de jongste bladeren, meestal boven in het gewas. Op het moment dat er een bespuiting met mangaan plaatsvindt, zullen de bladeren die ná de bespuiting gevormd worden er weinig van profiteren. Bij aanhoudend gebrek zal er daarom vaker met mangaan gespoten moeten worden (IKC, 1994).

### 3.2 Beschikbaarheid in de grond

De Nederlandse gronden bevatten, absoluut genomen, voldoende mangaan om in de behoefte van het gewas te voorzien. Desondanks komt mangaangebrek nogal eens voor in Nederland. De plant kan namelijk alleen het tweewaardige mangaan opnemen en de hoeveelheid tweewaardig mangaan in de grond is niet altijd voldoende voor een optimale productie.

#### **Zand- en dalgrond**

Op zand- en dalgrond is de pH een goede maat om de kans op mangaangebrek te voorspellen. In een zure grond (lage pH) is mangaan goed beschikbaar. Bij een zeer lage pH kan er zoveel mangaan beschikbaar zijn dat er mangaanvergiftiging optreedt. Mangaanovermaat is dan ook één van de oorzaken van slechte groei op zure gronden. Tot een pH-KCL van 5,4 is er geen kans op mangaangebrek. Alleen als het organische stof gehalte op deze grond hoog is, kan er toch een gebrek optreden. Organische stof bindt mangaan, waardoor de beschikbaarheid afneemt. Bij een pH-KCL tussen 5,4 en 6,2 komt soms mangaangebrek voor. Daarboven is er een redelijke kans op mangaangebrek (IKC, 1994).

#### **Zeeklei**

Op zeeklei- en zavelgrond kan men door grondonderzoek een aanwijzing krijgen van de kans op mangaangebrek (tabel 12). Op basis van het resultaat is echter géén mangaanadvies geformuleerd. De beschikbaarheid van mangaan op deze gronden wordt bepaald, naast de pH, door de temperatuur en de vochttoestand van de grond. In een natte grond treden reductieprocessen op waardoor de hoeveelheid tweewaardig mangaan toeneemt. Mangaangebrek treedt meestal op onder droge schrale omstandigheden. Op zeeklei- en zavelgrond is het dan ook beter te wachten tot een beginnend mangaangebrek zichtbaar is. Spuiten met mangaan is dan het advies om opbrengstderving te voorkomen.

Op kalkrijke zavel- en kleigronden is de beschikbaarheid matig door de hoge pH. De kans op gebrek is dan aanwezig. Bij een hoog gehalte aan vrije koolzure kalk is het mangaan geoxideerd tot  $MnO_2$ . Dit is niet opneembaar voor de plant. In dit geval zal bij mangaangebrek een bladbespuiting meer effect hebben dan een bodembemesting waar het mangaan in de grond wordt vastgelegd. Enkele gewasbespuitingen met een lage dosering werken vaak beter dan één bespuiting met een hoge dosering.

### 3.3 Gebrekverschijnselen

Een beginnend tekort aan mangaan is het eerst zichtbaar in de jongste bladeren. Een beginnend gebrek kan weer weg trekken als de beschikbaarheid in de grond beter wordt, of als er direct gespoten wordt met

mangaan. De gebrekverschijnselen verschillen per gewas (IKC, 1994).

### 3.3.1 Aardappel

De topbladeren worden eerst wat bleekgroen en vouwen zich wat samen. Ze kunnen ook wat slap gaan hangen. Enkele dagen later verschijnen er vooral langs de (hoofd)nerven rijen van talrijke zwarte stipjes. Melige rassen ondervinden er meer schade van dan minder melige rassen.

### 3.3.2 Suikerbiet

In bieten komt mangaangebrek het meeste voor. Het ontstaat door verstoring van de opname. Bij gebrek laten de jonge bladeren kleine lichtgroene vlekjes zien tussen de nerven van het blad. Op veel gronden verdwijnen de vlekjes weer doordat de opname verbetert. Een mangaanbespuiting is dan niet nodig, terwijl het tijdelijke tekort ook geen invloed heeft op de opbrengst. Houdt het gebrek aan dan verkleuren deze vlekjes eerst zilverachtig en later bruin. Na verloop van tijd verdrogen de aangetaste plekken en ontstaan er gaatjes in het blad. De bladstand is iets steil en de bladranden krullen iets om.

### 3.3.3 Granen

In granen is mangaangebrek moeilijk te constateren. Bij gerst verschijnen ovale roestbruine vlekjes op het blad. Deze liggen in rijen midden op het blad, maar vloeien aan de randen samen. Het gewas maakt een voddige indruk. In tarwe en haver verkleurt het blad eerst bleek. Later komen er grijsbruine vlekken op ongeveer een derde van de bladpunt verwijderd. Op deze plaats buigt het blad zich om. Hier ontstaan langgerekte vlekken, waarbij de bladpunt nog lang groen blijft. Van de granen is haver het meest gevoelig voor mangaangebrek. De opbrengstreductie is vrij groot als er een ernstig mangaangebrek optreedt.

### 3.3.4 Erwt en bonen

Bij de erwt is geen duidelijk ziektebeeld aan te geven, maar de bladeren kleuren lichtgeel. Bij doorsnijden van de gevormde erwten is het hart van de zaadlobben bruinzwart van kleur (kwade harten). De kiem is meestal dood.

Bij bonen ontstaat er een lichtverkleuring tussen de nerven. De nieuw gevormde zaden kunnen ook kwade harten vertonen.

### 3.3.5 Maïs

Bij maïs worden de bladeren lichtgeel van kleur, waardoor het lijkt op stikstofgebrek.

### 3.3.6 Witlof

Witlof laat chlorose verschijnselen zien tussen de nerven op de jongere bladeren.

## 3.4 Aan- en afvoer

In een gemiddelde akkerbouwrotatie wordt via de oogstproducten jaarlijks circa 230 gram MgO per ha afgevoerd. Op grasland is de netto afvoer met 100 gram mangaan per ha nog lager (Henkens en Smilde, 1989) omdat via de dierlijke mest een groot deel van het door gras opgenomen mangaan weer terug komt op het land.

De afvoer door de gewassen is vrij gemakkelijk middels bespuitingen en meststoffen te compenseren. Zo kan de mangaanbalans in evenwicht blijven, maar dat is geen garantie om mangaangebrek te voorkomen.

Mangaan kan worden aangevoerd via mest en een aantal gewasbeschermingsmiddelen. Gehalten in dierlijke mest zijn niet bekend, van de gewasbeschermingsmiddelen wel. Omdat mest aan de bodem wordt toegediend, kan een deel van het mangaan gebonden worden in de grond. Hiermee is het onduidelijk in welke mate het beschikbaar komt voor de gewasgroei. Het mangaan in gewasbeschermingsmiddelen komt, afhankelijk van de grondbedekking, meestel op het blad terecht. Het blad neemt dit mangaan op zodat het dan meteen werkt. Mangaangebrek kan zo worden voorkomen of uitgesteld.

## 3.5 Opbrengstderving bij tekort

Mangaangebrek kan grote opbrengstverliezen veroorzaken. Uit proeven is naar voren gekomen dat mangaangebrek bij tarwe 1400 kg/ha opbrengst kan kosten. Bij bieten kostte het 10% van de suikeropbrengst, en bij aardappelen gaf een ernstig mangaangebrek 20% opbrengstverlies (Henkens, 1980). Dergelijke opbrengstdervingen hoeven in de praktijk niet voor te komen als bij een beginnend gebrek gespoten wordt met mangaan. Een deel van de toegediende mangaan wordt aan de bodem gebonden, waardoor het niet beschikbaar is voor opname door het gewas.

## 3.6 Resultaten van mangaanproeven

### 3.6.1 Invloed van bespuiting met mangaansulfaat op droog te oogsten groene erwten

Van 1983 tot en met 1986 is op ROC de Rusthoeve onderzocht wat de invloed was van mangaan op de opbrengst, het optreden van kwade harten en de kiemkracht van groene erwten (PAGV, 1986). De proeven zijn aangelegd op zowel mangaangebrek gevoelige als niet-mangaangebrek gevoelige grond, hoewel dat niet bleek uit de hoeveelheid reduceerbaar mangaan bij de grondanalyse. De gevoeligheid voor mangaangebrek was gebaseerd op evaring. In de objecten is gespoten met 15 kg mangaansulfaat per ha per bespuiting. De volgende objecten zijn aangelegd (tabel 9).

Tabel 9. Proefopzet mangaansulfaat bespuiting in droog te oogsten groene erwten.

Object	Tijdstip bespuiting		
	Vroeg	Volle bloei	10 dg. na volle bloei
<b>O</b>	-	-	-
<b>A</b>	-	+	-
<b>B</b>	-	+	+
<b>C</b>	+	+	+

Alleen in 1983 is op mangaangebrek gevoelige grond mangaangebrek geconstateerd. Het gewas kleurde hierbij ook lichter. In twee andere proeven op mangaangebrek gevoelige grond kleurde het gewas ook lichter (1984 en 1985). In 1984 bleek een bespuiting met mangaansulfaat invloed te hebben op de lengte van het gewas. Object Onbehandeld was op 16 juli 34 cm hoog, de objecten A en B 38 cm en object C 42 cm. De opbrengsten van de proef staan in tabel 10.

Tabel 10. Effect van mangaansulfaat bespuitingen op opbrengst van groene erwten (ton/ha).

Object	Op Mn-gebrekgevoelige grond				Op niet Mn-gebrekgevoelige grond			
	1983	1984	1985	Gemidd.	1984	1985	1986	Gemidd.
<b>Onbeh.</b>	5,4	6,1	5,8	5,8	5,9	6,1	7,2	6,4
<b>A</b>	5,8	6,6	6,0	6,1	5,9	6,2	7,1	6,4
<b>B</b>	5,8	6,3	5,6	5,9	5,8	5,6	7,2	6,2
<b>C</b>	5,8	6,6	5,6	6,0	5,8	5,9	7,1	6,3
<b>LSD<sup>1</sup></b>	0,3	0,3	-	-	-	0,5	-	-

<sup>1</sup> verschillen groter dan LSD-waarde zijn voor 95% betrouwbaar

Ondanks het feit dat geen duidelijk mangaangebrek in het gewas werd geconstateerd, gaf een mangaanbespuiting op mangaangevoelige grond een donkerder gewaskleur. De mangaanbespuitingen gaven in drie van de zes proeven een verlating van de afrijping. Op mangaangebrek gevoelige grond gaf een mangaanbespuiting in een droge periode steeds een duidelijke opbrengstverhoging. Een éénmalige bespuiting gaf gemiddeld een betrouwbare opbrengstverhoging. Een extra bespuiting na volle bloei pakte negatief uit. Een vroege extra bespuiting voor de bloei werkte iets positief.

Op niet-mangaangebrek gevoelige grond had een mangaanbespuiting geen positieve invloed op de opbrengst.

In 1984 werden in de proef op mangaangebrek gevoelige grond veel kwade harten gevonden. Een éénmalige bespuiting bleek voldoende om aantasting te voorkomen. Ook in de proef op niet mangaangebrek gevoelige grond werden in 1984 aangetaste korrels gevonden. Zonder bespuiting met mangaan was 5% van de korrels aangetast. Bij een éénmalige bespuiting in de volle bloei was dit nog 2%. Uit eerdere proeven was al naar voren gekomen dat het geen zin had om mangaanbespuitingen uit te voeren ter bestrijding van kwade harten voordat het gewas in bloei staat.

Het effect van de mangaanbespuitingen op de kiemkracht was over het algemeen klein. Gemiddeld over de zes proeven gaf de bespuiting geen betrouwbare verhoging van de kiemkracht. Er was geen duidelijk verschil tussen de proeven op mangaangebrek gevoelige grond en de proeven op niet mangaangebrek gevoelige grond.

### 3.6.2 Mangaanbespuitingen op zomergerst

Op ROC Kollumerwaard werd in 1995 onderzocht op welke manier mangaangebrek het beste was te bestrijden. In tabel 11 zijn de objecten beschreven (SPNA, 1995). De mangaangehalten van de grond (mg Mn/kg grond) zijn vermeld om een indruk te geven of mangaangebrek te verwachten is (tabel 12). De grond had 3,6% organische stof.

Tabel 11. **Effect van mangaantoepassingen op de opbrengst van zomergerst (ton/ha).**

Stadium toediening <sup>1</sup>	Middel	1992	1993	1994	1995	Gemiddeld
<b>F4</b>	1x Mn chelaat	7,4	8,9	7,1	8,1	7,9
<b>F4 en F6</b>	2x Mn chelaat	7,4	9,2	7,1	8,2	8,0
<b>F4 en F6 en F9</b>	3x Mn chelaat	7,3	9,3	7,0	8,1	7,9
<b>F0</b>		-	-	7,1	7,9	-
<b>Onbehandeld</b>		7,4	8,5	6,8	8,2	7,7
<b>mg Mn/kg grond</b>		80	155	91	107	-
<b>LSD<sup>2</sup></b>		<i>n.s.</i>	<i>0,6</i>	<i>0,4</i>	<i>0,2</i>	-

<sup>2</sup> F0: zaadbehandeling; F4: einde uitstoeiing; F6: eerste stengelknoop voelbaar F9: vlagblad volledig uitgegroeid

<sup>1</sup> verschillen groter dan LSD-waarde zijn voor 95% betrouwbaar; n.s.: niet significant

In alle jaren ontwikkelde het gewas zich gunstig en werden er hoge korrelopbrengsten bereikt. Alleen in 1993 kon een klein kleurverschil als gevolg van mangaanbespuiting worden geconstateerd. In dat jaar gaf één mangaanbespuiting een duidelijke en in 1994 een geringe opbrengstverhoging. In 1992 en 1995 werden geen verschillen in korrelopbrengsten gevonden. Een tweemaalige bespuiting gaf een iets beter resultaat dan de éénmalige. Toediening van mangaan aan het zaaizaad gaf geen verbetering te zien. Tussen de objecten kon geen verschil in duizendkorrelgewicht worden gemeten, ook niet in de jaren dat mangaantoeiening effect had op de opbrengst. Mangaanbemesting had ook geen effect op de kwaliteit. Het volgerst percentage was ruim 90% en de hoeveelheid doorval gering. Het eiwitgehalte was met 9% aan de lage kant.

### 3.6.3 Invloed van bladbemesters mangaan op opbrengt en sortering van consumptieaardappelen

In 1999 heeft dit onderzoek op Kollumerwaard gelegen in het ras Asterix (SPNA, 1999). Het mangaangehalte van de grond was 95 bij 2,6% organische stof. Er is met de volgende bladmeststoffen gespoten:

- TOP-Trace mangaan-suspensie
- TOP-Trace mangaannitraat
- TOP-Trace mangaan chelaat
- Onbehandeld

Uit de resultaten kwam naar voren dat er geen significante verschillen in opbrengst waren tussen de bladmeststoffen. De kans op een gebrek was overigens niet zo groot, gezien de mangaantoeiening van de grond.

## 3.7 Advies

### 3.7.1 Grondonderzoek

Het huidige advies staat beschreven in de "Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen" (van Dijk, 1999). Het mangaanadvies wat hierin is beschreven, is gebaseerd op onderzoek wat al tientallen jaren oud is. Tegenwoordig zijn de opbrengsten veel hoger en is het rassenassortiment totaal vernieuwd. De vraag rijst dan ook of het oude mangaanadvies nog past in deze tijd van hoge opbrengsten en andere rassen.

Op basis van de proeven zoals beschreven in paragraaf 3.6 is er geen aanleiding om de huidige adviesbasis aan te passen. Voor diluviale zandgrond betekent dit dat er niet wordt geadviseerd op basis van grondonderzoek. De kans op mangaangebrek wordt hier met name bepaald door de pH. Is deze lager dan 5,4 dan bestaat er geen gevaar voor mangaangebrek. Indien bij een hogere pH mangaangebrek optreedt, wordt geadviseerd een mangaanbespuiting uit te voeren (opmerking 2, tabel 12).

Op zeeklei kan grondonderzoek wel een aanwijzing geven, behoudens een aantal gebieden, of mangaangebrek te verwachten is (opmerking 1, tabel 12).

Tabel 12. **Grenswaarden waarbij wel of geen mangaangebrek is te verwachten op zeeklei.**

Waardering	Mangaangehalte in mg/kg grond		Opmerkingen
	< 2,5% org. stof	> 2,5% org. stof	
<b>Laag</b>	< 60	< 100	Gebrek te verwachten
<b>Goed</b>	> 60	> 100	Geen gebrek te verwachten

#### *Opmerkingen*

1. Uit onderzoek is gebleken dat het mangaangehalte van de bodem geen aanwijzing geeft over de kans op optreden van mangaangebrek voor gronden in de Noordoostpolder, De Biesboschpolders en de Kreekrakpolder. In de Biesboschpolders en de Kreekrakpolder (estuariumgronden) is gevonden dat mangaangebrek optreedt als het C/N-quotiënt van de organische stof van de grond groter is dan 11. In de Noordoostpolder bleek een dergelijk verband niet te bestaan.
2. In geval van mangaangebrek wordt geadviseerd een bespuiting uit te voeren met mangaan bladmeststoffen en dit naderhand nog eens te herhalen. De bespuiting kan bij bieten achterwege blijven als de ervaring heeft geleerd dat het mangaangebrek op het betreffende perceel weer spoedig verdwijnt. Om kwade harten bij erwten te voorkomen, verdient het aanbeveling de bespuiting uit te voeren als het gewas in volle bloei staat en dit op het einde van de bloei te herhalen. Deze tweede bespuiting is noodzakelijk als men een hoog percentage kwade harten verwacht.

### 3.7.2 Bladonderzoek

Voor mangaan zijn er geen adviezen bekend op basis van het mangaangehalte in het blad van akkerbouw – en vollegrondsgroentegewassen. Hiervoor is onvoldoende onderzoek verricht. Het geringe aantal ervaringen in de praktijk is onvoldoende om daarop een advies te baseren. De resultaten van het buitenlandse onderzoek zijn niet goed te vertalen naar de Nederlandse omstandigheden. De mangaangehalten van blad en stengel verschillen onderling en in de tijd (Bergmann, 1992). Een betrouwbaar monster nemen is dan erg moeilijk.





## 4. Zwavel

Bij de bemesting van landbouwgewassen heeft zwavel (S) in het verleden nauwelijks aandacht gekregen. In de zwavelbehoefte werd meer dan voldoende voorzien door atmosferische depositie en verontreinigingen in diverse meststoffen. Voor zwavel zijn dan ook nog geen bemestingsadviezen beschreven in de “Adviesbasis voor de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt” (van Dijk, 1999). Wel is er door de DSM een zwaveladvies ontwikkeld voor wintertarwe op basis van PPO-proeven.

Door de sterk verminderde ‘natuurlijke’ aanvoer van zwavel zijn in de praktijk bij koolgewassen reeds de eerste symptomen van zwavelgebrek aangetroffen. Ook in veel grasland op de noordelijke zandgronden blijkt de zwavelvoorziening tekort te schieten. In Duitsland en Engeland wordt ook in granen op uitgebreide schaal zwaveltekort geconstateerd. Daar wordt (regionaal) toediening van zwavelmeststoffen aanbevolen. Goed onderbouwde richtlijnen voor een juiste zwavelvoorziening van gewassen ontbreken tot nu toe in Nederland.

### 4.1 Belang voor de plant

Zwavel wordt door de wortels opgenomen als  $\text{SO}_4^{2-}$ . De bovengrondse plantdelen kunnen ook  $\text{SO}_2$  uit de atmosfeer opnemen (IKC, 1994). Zwavel is een bestanddeel van plantaardige eiwitten. De stikstof/zwavel verhouding in eiwitten is redelijk constant. Dit betekent dat planten met een hoog eiwitgehalte ook veel zwavel nodig hebben (Bergman, 1992). Bij zwaveltekort ontstaat er een eiwittekort waardoor het blad een lichtere kleur krijgt.

### 4.2 Beschikbaarheid in de grond

Organische stof in de grond is een belangrijke bron van zwavel. Hoe hoger het organische stofgehalte van de grond, hoe groter de reserves aan zwavel. In paragraaf 4.4 is berekend hoeveel zwavel er jaarlijks door mineralisatie beschikbaar komt voor het gewas. Naast organische stof kan ook grondwater zwavel leveren. In gronden waar de capillaire opstijging van het grondwater niet de wortelzone bereikt (hangwaterprofiel), is er geen extra aanvoer van zwavel. Hoeveel zwavel er met het grondwater kan worden opgenomen, hangt af van de zwavelconcentratie en de capillaire opstijging van het grondwater.

Zwavel is net zo gevoelig voor uitspoeling als nitraat-stikstof. Op zandgrond spoelt het gemakkelijker uit dan op klei. Omdat zandgronden vaak een hangwaterprofiel hebben, een lager organische stofgehalte en gevoelig zijn voor uitspoeling, is de natuurlijke reserve aan zwavel gering. Bij een lage atmosferische depositie zijn op deze gronden het eerst de gebrekverschijnselen van zwavel te verwachten.

### 4.3 Gebrekverschijnselen

De symptomen van zwavelgebrek lijken veel op stikstofgebrek omdat beide elementen nodig zijn voor de aanmaak van eiwitten. In beide gevallen krijgt het blad een lichtgroene kleur. Maar stikstoftekort treedt eerst op in de oudere bladeren en zwaveltekort eerst in de jonge bladeren. Zwavel is namelijk minder mobiel in de plant dan stikstof. Deze gebrekverschijnselen van zwavel zijn vrij algemeen voor alle gewassen. Bij koolgewassen ontstaan er bij zwavelgebrek bovendien lepelvormige bladeren en een paarsverkleuring van de bladstelen.

## 4.4 Aan- en afvoer

Belangrijke bronnen van beschikbare zwavel voor het gewas zijn (Everaarts, 2000):

1. atmosferische depositie;
2. mineralisatie van organische stof;
3. capillaire opstijging van het grondwater;
4. aanvoer door kunstmeststoffen;
5. aanvoer via dierlijke mest en andere organische meststoffen;
6. berekening.

Depositie. Door milieuhygiënische aanpassingen is de zwaveldepositie de afgelopen jaren sterk verminderd en zal naar verwachting in de toekomst nog verder afnemen. Kwam in 1980 door depositie nog meer dan 60 kg S/ha op het land terecht, in 1992 was dit gedaald tot 24 kg S/ha. Thans bedraagt de depositie rond 15 kg S/ha, afhankelijk van industriële activiteiten in de regio variërend van 10 kg S/ha in het noorden tot 20 kg S/ha in het zuidwesten. De lengte van het groeiseizoen van het gewas bepaalt hoeveel van deze depositie beschikbaar komt voor het gewas.

Organische stof. In jonge en oude organische stof zit zwavel. Bij afbraak ervan komt de zwavel vrij. De hoeveelheid die hierbij vrijkomt hangt af van de eigenschappen en hoeveelheden van de organische stof (zie paragraaf 4.5).

Capillaire opstijging. De aanvoer via deze weg is afhankelijk van het zwavelgehalte van het grondwater en de hoeveelheid grondwater die het wortelstelsel via capillaire opstijging opneemt. Omdat de variatie hierin erg groot is, zijn er geen schattingen bekend.

Kunstmest. In sommige kunstmeststoffen zit ook zwavel (NMI, 2000). Bekende voorbeelden zijn: Dynamon-S, ammoniumsulfaat, patentkali, kalisulfaat, bitterzout, tripelsuper. De zwavelgehalten verschillen per meststof, maar door de juiste meststof te kiezen, kan de zwavelbehoefte van een gewas éénvoudig worden gedekt. De zwavel in minerale meststoffen is volledig beschikbaar als deze in sulfaatvorm aanwezig is. Zwavelverontreinigingen in andere kunstmeststoffen zijn afgenomen door betere productietechnieken.

Organische mest. Ook organische meststoffen bevatten zwavel (tabel 13). De zwavelwerking van mest is afhankelijk van het tijdstip van toediening. Als de mest in het najaar is uitgereden, mineraliseert een deel van de organische stof in de herfst en winter. De vrijgekomen zwavel zal voor een groot deel uitspoelen. In het groeiseizoen zal najaarsmest daarom weinig zwavel naleveren. Op percelen waar jaarlijks een flinke hoeveelheid mest wordt uitgereden, is er wel extra zwavel te verwachten die voor het gewas beschikbaar komt. Wordt de mest in het voorjaar uitgereden, dan komt er bij het stijgen van de bodemtemperatuur zwavel vrij. Deze spoelt dan niet uit maar is beschikbaar voor het gewas. Het is de vraag of deze zwavel niet te laat beschikbaar komt omdat verschillende gewassen al vroeg in het seizoen over de zwavel moeten beschikken.

Tabel 13. Zwavelgehalten (kg S per ton) in organische meststoffen.

Mestsoort	Zwavelgehalte
<b>Vloeibare mest</b>	
Rundveedrijfmest	0,7
Vleeskalverendrijfmest	0,2
Vleesvarkensdrijfmest	0,6
Zeugendrijfmest	0,4
Kippendrijfmest	0,9
Rundveegier	0,8
Varkensgier	0,7
Zeugengier	0,2
<b>Vaste mest</b>	
Vaste rundveemest	0,2
Vaste varkensmest	0,6
Droge hennenmest	2,4
Kippenstrooiselmest	3,3
Vleeskuikenmest	3,6
Kalkoenenmest	3,8
Eendenmest	2,0
Konijnenmest	3,0
Paardenmest	2,0
Schapenmest	2,0
Nertsenmest	3,7
Vossenmest	3,5
Vaste geitenmest	2,0
Champost	5,5
GFT-compost	3,8

Bron: Nutrinorm, 2001.

Berekening. Berekening kan ook een bron voor zwavel zijn. De officiële wettelijke norm voor het maximale sulfaatgehalte van oppervlakte water is 100 milligram sulfaat per liter. Uitgaande van deze hoeveelheid wordt er met elke 10 mm berekening 3,3 kg zwavel (S) per ha gegeven.

Aan de andere kant van de balans staat de zwavelafvoer via de oogstproducten (tabel 14). De meeste akkerbouwgewassen voeren 10 à 40 kg S/ha af.

Tabel 14. **Zwavelafvoer- en zwavelbehoefte van gewassen.**

Gewas	Zwavelafvoer (kg S/ha)	Zwavelbehoefte (kg S/ha)
Aardappelen	17,0	10-20
Suikerbieten	18,3	25-35
Wintertarwe	20,6	20-30
Zomergerst	12,6	20-30
Overige granen	12,6	20-30
Graszaad	13,3	30-50
Koolzaad	22,3	40-70
Vlas	10,7	10-20
Peulvruchten	15,4	20-30
Uien/erwten	13,8	20-30
Bloemkool/broccoli		40-60
Spruitkool		60-80
Sluitkool		60-80
Peen		20-30
Prei		30-40
Sla		5-10
Snijmaïs	23,0	20-30
Gras	40,0	30-45

Bron: Nutrinorm, 2001.

## 4.5 Zwavelbehoefte van koolgewassen

In 1995 werd in Noord-Nederland voor het eerst zwavelgebrek in spruitkool geconstateerd. Op sommige percelen leidde dit tot het volledige verlies van de oogst. Sinds deze constatering van zwavelgebrek heeft de zwavelvoorziening van vooral koolgewassen meer aandacht gekregen. Dat koolgewassen als eerste gewas zwavelgebrek lieten zien, komt door hun hoog gehalte aan mosterdoliën. Hiervoor moeten ze aanzienlijke hoeveelheden zwavel opnemen.

Voor een aantal koolgewassen is geïnventariseerd hoeveel zwavel ze nodig hebben en hoe ze de zwavel krijgen aangeleverd. De geschatte aanvoer van zwavel uit de bodem (door mineralisatie van organische stof) varieerde van 27 kg voor bloemkool en broccoli, tot 122 kg voor spruitkool en witte kool (tabel 15). Hierbij is rekening gehouden met de lengte van het groeiseizoen, de bewortelingsdiepte en de atmosferische uitstoot van 21 kg S per ha per jaar. Uit tabel 15 is af te lezen dat de aanvoer door atmosferische depositie maar een kleine bijdrage levert (Everaarts, 2000).

Tabel 15. **Geschatte aanvoer van zwavel (kg S per ha).**

Gewas	Atmosfer. neerslag	Berekening		Bodem org. stof		Totaal
		45 mm	60 mm	2%	6%	
<b>Bloemkool</b>	4	15		27	82	46-101
<b>Broccoli</b>	3	15		27	82	45-100
<b>Spruitkool</b>	11		20	41	122	72-153
<b>Witte kool</b>	9		20	41	122	70-151

Er zijn weinig gegevens bekend over de totale opname van zwavel door koolgewassen bij de oogst. Er is daarom een schatting gemaakt van de totale opname. Uitgaande van representatieve marktbaar opbrengsten zoals die de afgelopen jaren in veldproeven door het PPO zijn gemeten, werd de hoeveelheid zwavel in de gewas drogestof uitgerekend bij een zwavelgehalte van 5 en 8 gram zwavel (S) per kilogram drogestof. De resultaten in tabel 16, laten zien dat de geschatte zwavelopname van broccoli en bloemkool beduidend lager is dan die van spruitkool en sluitkool. Met name witte kool heeft bij de oogst veel zwavel opgenomen.

Tabel 16. **Geschatte totale zwavelopname bij de oogst (kg S/ha)<sup>1</sup>.**

Gewas	Bij 5 gr S per kg d.s.	Bij 8 gr S per kg d.s.
Bloemkool	35	56
Broccoli	30	48
Spruitkool	66	106
Witte kool	77	123

1. Voor omrekening naar SO<sub>3</sub> moeten de getallen met 2,5 worden vermenigvuldigd.

Uit de tabellen 15 en 16 blijkt dat de totale aanvoer van zwavel door atmosferische depositie, berekening en mineralisatie net, of net niet genoeg zal zijn. Wanneer er dan geen gebruik wordt gemaakt van zwavelhoudende kunstmest bestaat er een kans op zwaveltekort voor het gewas. Bij gebruik van zwavelhoudende meststoffen voor de fosfaat- en kalibemesting zal er over het algemeen voldoende zwavel voor de gewassen beschikbaar zijn.

De zwavelaanvoer via berekening varieert met de totale watergift (tabel 15). In de tabel wordt uitgegaan van een totale hoeveelheid beregeningswater van 45 mm voor bloemkool en broccoli en van 60 mm voor spruitkool en witte kool. Overigens kan het zwavelgehalte van oppervlakte water plaatselijk en regionaal sterk verschillen, zodat ook daardoor verschillen in de hoeveelheid gegeven zwavel optreden.

Uit bovenstaande gegevens blijkt dat er weinig concrete gegevens zijn over de zwavelbehoefte van koolgewassen. Schattingen laten zien dat deze gewassen tamelijk grote hoeveelheden zwavel opnemen. Met gebruik van zwavelhoudende fosfaat- en kalikunstmest zal over het algemeen zwavelgebrek worden voorkomen. Vaak moet er dan gekozen worden voor een andere kunstmestsoort die meestal duurder is. Onderzoek naar de levering van zwavel door de bodem en naar kritische zwavelgehalten in het gewas, kan meer informatie opleveren over de noodzaak van een zwavelbemesting.

## 4.6 Resultaten van zwavelproeven

Eind 90-er jaren zijn op verschillende plaatsen onderzoeken uitgevoerd naar de effecten van zwavel op de opbrengst en kwaliteit van winterkoolzaad en wintertarwe. Het doel was te kijken of er voldoende zwavel beschikbaar zou zijn voor een goede opbrengst van winterkoolzaad en wintertarwe. Daarnaast was het van belang te weten hoeveel zwavel er bemest moet worden bij een te krappe zwavelvoorziening vanuit de grond. Van beide gewassen zijn de onderzoeksresultaten beschreven van de proeven die de afgelopen jaren zijn uitgevoerd.

### 4.6.1 Zwavelvoorziening van winterkoolzaad te Kollumerwaard in 1999

In de Kollumerwaard (kleigrond) is de atmosferische depositie van zwavel vrij laag. In dit gebied zijn al eerder gebrekverschijnselen van zwavel geconstateerd. Omdat koolzaad een gewas is met een hoge zwavelbehoefte is in 1999 met dit gewas een proef aangelegd (Darwinkel 1999). In tabel 17 staan de objecten beschreven, evenals de opbrengst en de zwavelgehalten tijdens de groei.

Tijdens de groei konden visueel geen effecten van de zwavelvoorziening worden waargenomen. De gewasstand was tamelijk heterogeen, wat resulteerde in een aanzienlijke variatie tussen de veldjes. De zaadopbrengst vertoonde geen betrouwbare opbrengstverschillen tussen de objecten. De toediening van zwavel kwam reeds op 6 april in een duidelijk hoger zwavelgehalte van het gewas tot uiting, maar tijdens de bloei waren deze effecten niet meer aanwezig. Op dat moment bezaten alle zwavelobjecten vrijwel gelijke zwavelgehalten. Blijkbaar heeft de grond tijdens de periode van snelle groei veel zwavel kunnen aanleveren (door mineralisatie). Ook bij de oogst kwamen in de korrel, noch in het stro verschillen in zwavelgehalten voor. Ook de stikstofgehalten werden niet beïnvloed door de zwavelbemesting.

Tabel 17. **Zaadopbrengst winterkoolzaad (ton/ha bij 9 % vocht) en zwavelgehalten tijdens de groeiperiode (KW 393).**

Object	1° Bemesting (80 kg N/ha)	Zwavelgift (kg S/ha)	Zaad- opbrengst (t/ha)	Zwavelgehalten (%)			
				voorjaar 6-4-99	bloei 17-5-99	korrel 26-7-99	stro 26-7-99
A	KAS	0	2.84	0,53	0,48	0,28	0,31
B	KAS + ASS	10	2.68		0,51	0,28	0,28
C	KAS + ASS	20	2.73		0,50	0,28	0,29
D	ASS	40	2.49	0,84	0,49	0,27	0,28
E	ASS + ZZK	80	2.54		0,50	0,28	0,30
F	Dynamon-S	20	2.74		0,48	0,28	0,26

#### 4.6.2 Zwavelvoorziening van winterkoolzaad te Kollumerwaard in 2000

De proef is op dezelfde proefboerderij herhaald in 2000 (Darwinkel, 2000a). Ook in het tweede jaar werden geen verschillen in kleur of gewasstand tussen de objecten waargenomen. De resultaten staan vermeld in tabel 18.

Tabel 18. **Zaadopbrengst winterkoolzaad (ton/ha bij 9 % vocht) en zwavelgehalten tijdens de groeiperiode (KW 001).**

Object	1° Bemesting (80 kg N/ha)	Zwavelgift (kg S/ha)	Zaad- opbrengst (t/ha)	Zwavelgehalten (%)			
				voorjaar 23-3-00	bloei 8-5-00	zaad 20-7-00	stro 20-7-00
A	KAS	0	3.21	0.46	0.27	0.32	0.19
B	KAS + ASS	10	3.24	0.60	0.40	0.32	0.22
C	KAS + ASS	20	3.24	0.67	0.467	0.34	0.21
D	ASS	40	3.18	0.67	0.66	0.35	0.23
E	ASS + ZZK	80	3.24	0.67	0.83	0.36	0.31
F	Dynamon-S	20	3.25	0.63	0.48	0.33	0.21

De zaadopbrengsten vertoonden geen verschillen en lagen op een tegenvallend niveau van ruim 3 ton/ha. Bij het begin van de stengelstrekking (eind maart) en bij de bloei was er een duidelijk verband tussen het zwavelgehalte en de zwavelgift. Met name het object zonder een zwavelbemesting bezat lage zwavelgehalten; met een geringe zwavelgift tot 20 kg S/ha werd dit gehalte reeds aanzienlijk verhoogd. Bij de oogst waren de verschillen tussen de zwavelgehalten nog slechts in beperkte mate aanwezig. De zwavelgiften hadden geen invloed op het stikstofgehalte. De lagere N/S-verhouding, die bij hogere zwavelgiften werd vastgesteld, is dan ook volledig veroorzaakt door de hogere zwavelgehalten. De zwavelopname door het gewas in de bovengrondse delen nam licht toe met een hogere zwavelgift van 23 naar 34 kg S/ha, terwijl bij de bloei een sterke toename werd gevonden van 15 naar 49 kg S/ha. Na de bloei is er alleen bij het object zonder een zwavelbemesting nog zwavel opgenomen, bij de andere objecten bleef dit gelijk (10 kg S/ha) of liep door verlies aan bladeren duidelijk terug. Met het zaad werd amper 10 kg S/ha afgevoerd.

De resultaten van het onderzoek in 2000 komen goed overeen met die van 1999.

#### 4.6.3 Zwavelvoorziening van wintertarwe te Lauwerszijl

Naast onderzoek in winterkoolzaad is ook gekeken naar de zwavelvoorziening van wintertarwe (Darwinkel 2000b). Dit is uitgevoerd in verschillende regio's om zo de interactie van de regio en grondsoort mee te nemen. In tabel 19 zijn de gegevens en resultaten van de proef in Lauwerszijl (kleigrond) beschreven. De korrelopbrengst van ruim 9 ton/ha viel tegen en liet geen verschillen zien tussen de aangebrachte zwavelgiften. Het zwavelgehalte van het object zonder zwavelbemesting was gedurende de gehele groeiperiode kritisch laag, maar dit heeft de opbrengst niet geschaad. Bij de bloei was nog slechts 10,6 kg S/ha opgenomen en bij de oogst 17,7 kg S/ha.

Zwavelbemesting had geen invloed op het zwavelgehalte van de korrel, maar in het stro steeg het zwavelgehalte sterk met hogere zwavelgiften. De zwavelopname door het gewas nam hierdoor toe van 20 tot 25 kg S/ha. Daarvan was bij de bloei al meer dan 80 % in het gewas aanwezig. Het stikstofgehalte van de korrel werd ook niet beïnvloed door de zwavelbemesting; de gehalten lagen echter op een (te) laag niveau van 1,85 % N (= 10,5 % eiwit). Door toename van het zwavelgehalte daalde de N/S-ratio met stijgende zwavelgiften.

Tabel 19. **Korrelopbrengsten, S-gehalten en S-opname bij toenemende zwavelbemesting (KW 394).**

Object	S-gift (kg S/ha)	korrel- opbrengst (kg/ha)	S % voorjaar 7-5-99	S % bloei 14-6-99	S % oogst korrel	S % oogst stro	S-opname oogst (kg S/ha)	N/S-ratio oogst
A	0	9.39	0,200	0,110	0,140	0,073	17,7	11,0
B	10	9.51	0,263	0,159	0,142	0,092	20,6	10,4
C	20	9.42	0,292	0,177	0,139	0,115	22,9	9,8
D	40	9.43	0,269	0,200	0,144	0,124	23,3	8,7
E	80	9.18	0,269	0,200	0,153	0,142	25,3	7,9
F*	20	9.34	0,263	0,146	0,143	0,091	19,9	9,8

F\* = toegediend als Dynamon-S

#### 4.6.4 Zwavelvoorziening van wintertarwe te Valthermond

De proefopzet met de belangrijkste resultaten staan in tabel 20 (Darwinkel, 2000b). Tijdens het gehele groeiseizoen was het object dat geen zwavel toegediend kreeg, visueel niet van de andere objecten te onderscheiden. Toch bleef de korrelopbrengst van dit object duidelijk achter bij de andere objecten. Gezien de lage zwavelgehalten van dit object gedurende de gehele groeiperiode moet dit aan een tekort van de zwavelvoorziening worden toegeschreven. Reeds aan het begin van de stengelstrekking was het zwavelgehalte bijzonder laag en dit gold ook voor de bloei. Bij de bloei was slechts 8,9 kg S/ha opgenomen en dit nam bij de oogst toe tot 14,2 kg S/ha. Door toediening van zwavel werden de zwavelgehalten aanzienlijk verhoogd. Begin mei en bij de bloei was het zwavelgehalte hoger naarmate meer zwavel was gegeven. Bij de oogst deed de hogere zwavelbemesting het zwavelgehalte van de korrel maar weinig stijgen, in tegenstelling tot die van het stro. Bij eenzelfde stikstofopname van zo'n 195 kg N/ha steeg de zwavelopname bij stijgende zwavelgiften van 19 naar 26 kg N/ha. Ruim 80 % daarvan was reeds voor de bloei door het gewas opgenomen. De N/S-ratio daalde door toediening van zwavel van 13,8 naar 7,3. De toediening van zwavel had geen invloed op de opname van stikstof.

Tabel 20. **Korrelopbrengsten, S-gehalten en S-opname bij toenemende zwavelbemesting (KP 445).**

Object	S-gift (kg/ha)	Korrel- opbrengst (kg/ha)	S % voorjaar 7-5-99	S % bloei 14-6-99	S % oogst korrel	S % oogst stro	S-opname oogst (kg S/ha)	N/S-ratio oogst
A	0	9.03	0,183	0,093	0,141	0,066	14,2	13,8
B	10	9.91	0,263	0,140	0,155	0,102	19,2	10,7
C	20	9.82	0,308	0,171	0,151	0,122	19,7	9,7
D	40	9.93	0,350	0,173	0,156	0,158	22,0	8,8
E	80	9.68	0,433	0,217	0,160	0,234	26,2	7,3
F*	20	9.75	0,308	0,147				

F\* = toegediend als Dynamon-S

#### 4.6.5 Zwavelvoorziening van wintertarwe te Wijnandsrade

Tabel 21 geeft een overzicht van proefopzet met de belangrijkste resultaten (Darwinkel 2000b). Door de grote heterogeniteit van het proefveld was de variatie in korrelopbrengst en de stikstof- en zwavelgehalten groot. Er konden geen effecten van de zwavelvoorziening op de korrelopbrengst worden gemeten. In het begin van mei toonde het niet met zwavel bemeste veldje een iets lichtere gewaskleur, maar dit verdween nadien. Ook de zwavelgehalten van dit object lagen op een voldoende niveau. Toediening van zwavel leidde reeds in het begin van mei tot een duidelijke stijging van het zwavelgehalte, wat ook nog tijdens de bloei naar voren kwam. Bij de oogst nam het zwavelgehalte in het stro nog wel toe, maar in de korrel werden geen (duidelijke) verschillen aangetoond. Door het gewas werd veel zwavel opgenomen, waarbij geen duidelijke verschillen in zwavelopname tussen de objecten konden worden vastgesteld. De stikstofopname door het gewas was hoog (ca. 250 kg N/ha) en werd niet beïnvloed door de hoogte van de zwavelgift.

Tabel 21. **Korrelopbrengsten, S-gehalten en S-opname bij toenemende zwavelbemesting (WR 838).**

Object	S-gift (kg/ha)	Korrel-opbrengst (kg/ha)	S % voorjaar 3-5-99	S % bloei 11-6-99	S % oogst Korrel	S % oogst stro	S-opname oogst (kg S/ha)	N/S-ratio oogst
A	0	10.21	0,289	0,190	0,173	0,126	28,5	9,7
B	10	10.27	0,379	0,199	0,170	0,136	27,7	9,3
C	20	10.56	0,441	0,216	0,165	0,156	29,4	8,6
D	40	10.18	0,464	0,244	0,143	0,175	27,0	8,9
E	80	10.32	0,489	0,265	0,166	0,215	32,7	7,2
F*	20	10.21	0,433	0,225	0,140	0,153	26,1	9,7

F\* = toegediend als Dynamon-S

#### 4.6.6 Interpretatie van de resultaten

Door de natte weersomstandigheden in herfst en winter waren de voorraden aan minerale stikstof en minerale zwavel in februari/maart laag. In twee proeven op lichte grond (KW 394 en KP 445) werd amper 10 kg S/ha gemeten en dit maakte een voldoende zwavelvoorziening tijdens de groeiperiode twijfelachtig. In de proef KP 445 bleek de zwavelvoorziening onvoldoende, wat resulteerde in een lagere korrelopbrengst. Bij een voldoende zwavelvoorziening, zoals op het proefveld te Wijnandsrade, had toediening van zwavel geen invloed op de opbrengst van wintertarwe. Wel werd gedurende de gehele groeiperiode een hoger S-gehalte in het gewas gemeten. Op de beide andere proefvelden was de zwavelvoorziening (te) krap. Er werden (zeer) lage zwavelgehalten gemeten, maar alleen te Valthermond gaf dit een opbrengstderving van 10%. In deze proef werden tijdens de gehele groeiperiode geen symptomen van zwaveltekorten gesignaleerd. Op de lichte zavelgrond te Lauwerzijl werd ondanks lage zwavelgehalten geen opbrengstderving geconstateerd; in 1998 was dit wel het geval.

#### 4.6.7 Conclusies wintertarwe

- Het risico van zwavelgebrek in wintertarwe is (voorlopig) beperkt tot de lichte, uitspoelingsgevoelige dal-, zand- en zavelgronden in gebieden met een lage zwaveldepositie. Door milieuhygiënische maatregelen zal de zwaveldepositie verder dalen en de gevaren van zwaveltekorten toenemen.
- In proeven met zwavelgebrek konden alleen (lichte) symptomen van zwaveltekort worden waargenomen door een directe visuele vergelijking van veldjes met wel en geen zwavelbemesting. In veldgewassen is zo'n vergelijking niet aanwezig en zullen symptomen van zwavelgebrek niet of te laat herkend worden.
- Er bestaat geen bemestingsadvies voor zwavel; niet op basis van grondonderzoek, noch op basis van gewasanalyse. Symptomen van zwavelgebrek worden moeilijk en vaak te laat onderkend. Daarom is op percelen met risico's van zwavelgebrek toediening van zwavel een oogstzekere en (relatief) goedkope teelthandeling.
- Vanaf het begin van de stengelstrekking tot bloei is er een grote behoefte aan zwavel. Tekorten aan zwavel in deze periode beperken met name de vorming van aren.



- Met gewasanalyses tijdens de groeiperiode wordt een goed inzicht verkregen in de zwaveltoestand van het gewas. Om eventuele zwaveltekorten te voorkomen zal een snelle analyse van een gewasmonster bij het begin van de stengelstrekking nodig zijn.
- Een tijdige toediening van een zwavelmeststof of bitterzout kan zwavelgebrek tijdens de groeiperiode voorkomen. Bij wintertarwe is een gift van 20 kg S/ha voldoende.
- Het verdient aanbeveling zwavel tegelijk met de eerste N-gift toe te dienen. Dit kan afzonderlijk, maar evengoed als mengmeststof. Stikstofmeststoffen met een laag zwavelgehalte, zoals Dynamon-S, zijn geschikt om het gewas van voldoende zwavel (en stikstof) te voorzien.
- Door de grote zwavelbehoefte van de korrels wordt veel zwavel uit de stengels onttrokken. Daardoor varieert het zwavelgehalte in de korrels weinig, maar in het stro sterk. Dientengevolge is het zwavelgehalte in het stro een goede maatstaf voor de zwavel bemestingstoestand van het gewas.

## 4.7 Advies

Goed onderbouwde richtlijnen voor een juiste zwavelvoorziening van gewassen ontbreken tot nu toe. Bepaling van de minerale zwavelvoorraad (S-min) in de grond (vergelijkbaar met N-min) is (nog) niet bruikbaar gebleken voor een zwavel bemestingsadvies. Thans wordt (met name in Engeland) met behulp van gewas- of bladanalyse getracht een vroegtijdig zwaveltekorten te kunnen signaleren.

Uit de wintertarwe proeven van het PPO heeft het NMI een zwaveladvies afgeleid (Nutrinorm, 2001). Zij adviseren een gift van 20 kg S per ha om een eventueel zwaveltekort op te heffen en een maximale opbrengst te halen. Wintertarwe neemt de meeste zwavel op in de periode tussen de stengelstrekking en de bloei, zodat de bemesting het beste kan geschieden bij de eerste gift.

Het inschatten van de zwavelbehoefte is van een aantal factoren afhankelijk, zoals de grondsoort, de regio, de stikstofrijkdom, organische stofgehalte grond, capillaire opstijging van het grondwater e.d.



# Literatuurlijst

1. Allison, M.F., J.H. Flower and E.J. Allen, 2001. *Factors affecting the magnesium nutrition of potatoes (Solanum tuberosum)*. Journal of Agricultural Science, Cambridge 137, 379-409.
2. Anonymus 1995. *Landbouwkundig onderzoek 1995*. Stichting Proefboerderijen Flevoland en Stichting Prof. Dr. J.M. van Bemmelenhoeve pags. 75-77 (bladbemesting bij tulpen) en pags 128 –131 (Mg-bemesting bij witlof)
3. Bakker, Y., 1981. *Nieuw magnesium bemestingsadvies op diluviale zandgronden, dalgronden en löss (bouwland)*. De Buffer (CAD-Landbouw) nr. 4.
4. Darwinkel A.1999. *Zwavelvoorziening van winterkoolzaad te Kollumerwaard*.
5. Darwinkel A. 2000a. *Zwavelvoorziening van winterkoolzaad te Kollumerwaard*.
6. Darwinkel A. 2000b. *Zwavelvoorziening van wintertarwe*. Projectrapport 41.2.23. PAV – Lelystad.
7. Dijk, W. van, 1999. *Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen*. PAV-publicatienr. 95. PAV-Lelystad.
8. Everaarts, A. P. 2000. *An approximation of the sulphur requirements and sulphur supply of Brassica vegetables (zwavelbehoefte en aanvoer van koolgewassen)*. In: Meststoffen (NMI) 1997/1998. pag. 74-79.
9. Jansen B.H. en M.L. van Beusichem, 1991. *Nutriënten in bodem-plant relaties*. Colledictaat Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding van de Landbouwuniversiteit.
10. Nutrinorm, 2001. *Mutrinorm Bemestingsvraagbaak (DSM)* Internet.
11. Henkens, Ch. H. en K.W. Smilde, 1989. *Opneming en accumulatie van zware metalen door planten*. In: Handboek voor milieubeheer: deel IV Bodembescherming. IJmuiden, Vermande pag. G5200: 1 –22.De Buffer.
12. Henkens, Ch. H., 1980. *Mangaangebrek in akkerbouwgewassen*. De Buffer.
13. IKC, Informatie en Kennis Centrum Akker- en Tuinbouw, 1994. *IP Bodem, water, bemesting & milieu, Module Bemesting*. 36 pags. IKC-Wageningen.
14. PAGV,1986. *Jaarboek – afgesloten praktijkonderzoek*. pag. 1186-191. PAV-Lelystad.
15. SPNA (Stichting Proefboerderijen Noordelijke Akkerbouw), 1995. *Proefveldverslag 1995 voor de klei en akkerbouw in Groningen en Friesland*. pag. 94-96.
16. SPNA (Stichting Proefboerderijen Noordelijke Akkerbouw), 1998. *Proefveldverslag 1998 voor de klei en akkerbouw in Groningen en Friesland*. pag. 75-78.
17. SPNA (Stichting Proefboerderijen Noordelijke Akkerbouw), 1999. *Proefveldverslag 1999 voor de klei en akkerbouw in Groningen en Friesland*. pag. 69-73 (invloed Mg in consumptieaardappelen) en 73-76 (invloed van bladbemesters Mg en Mn op de opbrengst en sortering van consumptieaardappelen).
18. Zaag, D.E. (ed.), 1994. *Aardappelziektenboek – ziekten, plagen en gebreken*. Aardappelwereld BV. Den Haag, 180 pags.
19. NMI, 2000. *Meststoffen*. Elsevier-Doetinchem. 1192 pags.
20. Vries O, de en F.J.A. Dechering,1960. *Grondonderzoek*. (BLGG-Oosterbeek) Ceres – Meppel, 213 pags.
21. Bergmann, W. (ed.), 1992. *Nutritional Disorders of Plants*. Gustav Fischer – Stuttgart, 741 pags.