



Delphy, NMI

Effecten van (blad)bemesting met sporenelementen

Literatuuronderzoek, praktijkervaringen en toetsing van de huidige adviezen

Harm Brinks, Debby van Rotterdam, Saskia Houben
10-11-2020

Samenvatting

Het belang van sporenelementen in de akkerbouw is evident. De behoefte, dosis en toedieningswijze (via de bodem of het blad) leiden in de praktijk tot discussie. Het 'Handboek Bodem en bemesting' geeft hierin adviezen op basis van in het verleden verzamelde informatie. De praktijk is ondertussen veranderd en er zijn veel bladmeststoffen op de markt gekomen. Of de adviezen in het handboek moeten worden aangepast en in welk opzicht, wordt in dit rapport beschreven op basis van een literatuuronderzoek en praktijkervaringen.

In de basis blijken de adviezen nog actueel maar verdienen uitbreiding en aanpassing op een aantal punten. De analysemethoden waar de adviezen in het handboek zijn gebaseerd, worden tegenwoordig niet of nauwelijks meer gebruikt. De nieuwe methoden dienen opnieuw geïkt te worden voor wat betreft de relatie tussen bodem, gewas en mestgift. Weersomstandigheden hebben een grote invloed op de beschikbaarheid en (de steeds vaker voorkomen van intensief natte perioden en van perioden van droogte) kunnen leiden tot gebrek aan sporenelementen. Daarom wordt aanbevolen het advies uit te breiden met een weermodule. De adviezen voor mangaan, borium en koper verdienen aanpassingen. Voor zover blijkt uit praktijkervaringen en literatuur, heeft bijbemesting met sporenelementen in specifieke situaties een meerwaarde voor de opbrengst van het gewas.

Inhoud

| | |
|---|----|
| Samenvatting..... | 1 |
| 1. Inleiding..... | 3 |
| 2. Aanvoer van sporenelementen, opname en effecten op plantweerbaarheid | 4 |
| 3. Mangaan (Mn)..... | 5 |
| 4. Borium (B)..... | 8 |
| 5. Koper (Cu)..... | 11 |
| 6. Zink (Zn)..... | 14 |
| 7. Molybdeen (Mo)..... | 17 |
| 8. IJzer (Fe)..... | 19 |
| 9. Praktijkervaringen en -onderzoek | 20 |
| 10. Conclusie | 30 |
| 11. Literatuur..... | 34 |
| 12. Bijlagen: Samenvatting, naslag- en overzichtstabellen per element | 37 |

1. Inleiding

Aanleiding

In de praktijk van de akkerbouw leven veel vragen over sporenelementen. Er wordt gesproken over verminderde beschikbaarheid en het toenemen van gebreksziekten. Er is veel discussie over nut en noodzaak van bemesting met sporenelementen en over de toedieningswijze (via de bodem of via bladbemesting). In het verleden is veel kennis verzameld over sporenelementen, resulterend in adviezen over bemesting met sporenelementen in het 'Handboek Bodem en Bemesting', samengesteld door de Commissie Bemesting Akkerbouw/Vollegrondsgroententeelt (CBAV). Sinds de totstandkoming van deze adviezen zijn echter een aantal zaken veranderd. Zo zijn bijvoorbeeld analysemethodes gewijzigd en worden in de praktijk adviezen gegeven die niet onderbouwd zijn met onafhankelijk onderzoek en die lijken af te wijken van de adviezen in het Handboek bodem en bemesting.

Doel

Doel van dit rapport is om de adviezen over sporenelementen in het 'Handboek bodem en bemesting' waar nodig te actualiseren:

- Op basis van praktijkervaringen van Delphy adviseurs en een literatuurstudie, is per sporenelement een overzicht gemaakt van de actuele kennis en ontwikkelingen in de praktijk, de rol in de plantengroei en de mogelijkheden om middels bemesting te sturen in de opname van het sporenelement, zowel via de bodem als via bladbemesting;
- Met resultaten van veldproeven een vergelijking te maken tussen een aantal in de praktijk regelmatig gebruikte methodes en adviezen met de adviezen in het Handboek. Hierbij ligt de focus op mineralen die belangrijk zijn voor akkerbouw en 'hot' in de praktijk (B, Mn, Zn, Fe, Cu, Mo).

Ontwikkelingen en adviezen in de praktijk worden getoetst aan de adviezen in het Handboek. Op basis hiervan kan het Handboek indien nodig worden geactualiseerd. Dit geeft akkerbouwers een beter inzicht in bemesting met sporenelementen en stelt hun beter in staat om de juiste keuze te maken over bemesten voor een optimaal niveau en/ of het creëren van de optimale omstandigheden en daaruit voortvloeiend optimale groei en opbrengst van akkerbouwgewassen.

Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een korte samenvatting van de aanvoer van sporenelementen met organische mest. In de hoofdstukken 3 tot en met 8 wordt achtereenvolgens per sporenelement achtergrondinformatie gegeven over de opname ervan en de rol in het gewas, beschikbaarheid in de bodem en of de adviezen uit het handboek kunnen worden uitgebreid en/of aangepast. In hoofdstuk 9 worden praktijkervaringen en resultaten van praktijkproeven getoetst aan de adviezen in het handboek. Voor de leesbaarheid zijn de huidige adviezen cursief weergegeven.

2. Aanvoer van sporenelementen, opname en effecten op plantweerbaarheid

Sporenelementen zijn essentieel voor een goede groei en kwaliteit van het gewas. Het enige verschil met macronutriënten is dat de concentraties aan sporenelementen die het gewas nodig heeft vele malen lager zijn. Dit verschil is een reflectie van de totale hoeveelheid en/ of beschikbaarheid van de verschillende sporenelementen in de bodem in vergelijking met de macronutriënten. Het risico op gebrek – en dus op een verminderde kwaliteit, weerbaarheid en zelfs opbrengst – is sterk afhankelijk van de lokale bodemkundige en hydrologische omstandigheden en het (historische) landbouwkundige management. In de bodem kan een lage beschikbaarheid het gevolg zijn van een lage hoeveelheid in de bodem óf van een lage beschikbaarheid van de aanwezige voorraad.

Met het toedienen van organische mest wordt voor een belangrijk deel tegemoetgekomen aan de behoefte aan sporenelementen in de akkerbouw. Omdat het toedienen van dierlijke mest standaard is in de Nederlandse akkerbouw praktijk is het gebrek aan sporenelementen eerder uitzondering dan regel in de praktijk (zie hoofdstuk 9. Praktijkervaringen).

Een overzicht van de gehalten in dierlijke mest zijn in Nederland gepresenteerd in 2008 (Römkens & Rietra, 2008) en 2017 (Klein en Roskam, 2018). Deze studies laten zien dat de gehalten van de belangrijkste sporenelementen voor de akkerbouw nauwelijks zijn veranderd. Koper en zink bleken in de metingen van 2008 nog flink te zijn gestegen ten opzichte van 1998 maar uit de metingen van 2017 blijkt dat deze stijging niet is doorgezet. De verschillende mestsoorten verschillen van elkaar in gehalten aan sporenelementen. Varkensmest bevat de hoogste gehalten voor de meeste elementen, vleeskuikenmest de laagste en van rundveemest zijn gehalten van een aantal elementen vergelijkbaar met varkensmest of juist vleeskuikenmest. Met name de gehalten aan koper- en zink zijn hoog in dierlijke mest en in varkensmest zeer hoog. De samenstelling van de verschillende soorten dierlijke mest verschillen ook per regio. De regio's Oost en West leveren mest van vergelijkbare samenstelling terwijl de soorten mest in regio Noord verschillen. Rundveemest uit regio Noord heeft voor meerdere elementen hogere gehalten terwijl de varkensmest juist lagere gehalten bevat voor een aantal elementen. (Klein en Roskam, 2018; Römkens & Rietra, 2008).

3. Mangaan (Mn)

Rol in het gewas

In gewassen speelt mangaan (Mn) een belangrijke rol bij de productie van zuurstof tijdens de fotosynthese (Marschner, 1995). De gevoeligheid voor Mn-gebrek varieert sterk tussen de verschillende gewassen en zelfs tussen de verschillende variëteiten (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

Gevoelige gewassen

In het huidige advies worden *graan, aardappel, bieten, bonen en erwten* apart benoemd. Uit onderzoek blijkt dat ook spinazie en sla relatief grote hoeveelheden Mn nodig hebben. Deens onderzoek toont aan dat gerstrassen verschillen in gevoeligheid voor Mn-deficiëntie (Pedas et al, 2008). Nederlands onderzoek bevestigt dit verschil tussen rassen voor aardappelen (Wattel-Koekkoek & Postma, 2003) en voor bieten (Anonymous, 2003a).

Belangrijkste bodemprocessen bepalend voor beschikbaarheid

De beschikbaarheid van Mn in de bodem wordt voornamelijk bepaald door het oplossen en neerslaan van Mn-mineralen. Dit is in tegenstelling tot andere (micro)nutriënten waar voornamelijk adsorptie/ desorptie processen de beschikbaarheid bepalen. De oplosbaarheid van Mn-mineralen, en dus ook de beschikbaarheid van Mn voor de plant, wordt bepaald door de zuurgraad (pH) en redoxpotentiaal van de bodem. Mn-gebrek treedt meestal op in kalkhoudende bodems omdat bij hoge pH en redox omstandigheden Mn oxideert tot Mn (IV) en precipiteert in de vorm van zeer onoplosbare oxiden of carbonaten. De studie die de basis vormt voor het bemestingsadvies in Nederland laat zien dat op zandgronden geen Mn-gebrek optrad bij een pH-KCl lager dan 5,4. Daarentegen kwam Mn-gebrek wel voor op alle zandpercelen met een pH-KCl-waarde hoger dan 6,2. Bij een tussenliggende pH-KCl kwamen zowel niet als wel deficiënte percelen voor (De Vries en Dechering, 1960).

Mn wordt door de plantenwortel hoofdzakelijk opgenomen door 'mass flow'. Dit betekent dat de Mn dat is opgelost in de bodemoplossing met het water naar het worteloppervlak wordt getransporteerd. De Mn-concentratie in het bodemvocht kan (sterk) worden beperkt in veengronden omdat organische stof Mn bindt en het minder beschikbaar wordt.

Risico's en risicovolle omstandigheden voor gebrek of toxiciteit

In het huidige advies is *er alleen risico op gebrek maar uit onderzoek blijkt dat ook toxiciteit kan voorkomen. Omstandigheden waarin gebrek optreedt zijn:*

- *Hoge pH van de bodem - toename van het risico op gebrek bij toename pH vanaf pH-KCl > 5,4;*
- *Hoog organische stofgehalte bodem;*
- *Droge omstandigheden;*
- *Meer specifiek treedt het risico op gebrek op op:*

- kalkrijke zavel- en lichte kleigronden
- graan- en aardappelpercelen op Noordoostelijke zand- en dalgronden met een pH-KCL > 5,7
- bieten, bonen en erwten op andere grondsoorten.

Uit onderzoek blijkt dat het risico op gebrek al optreedt binnen het landbouwkundig optimale pH-bereik en verder toeneemt met een toenemende pH. Het toedienen van een bodemmeststof is onder die omstandigheden niet effectief. Aanhoudend droog weer kan ook leiden tot Mn-tekorten, zelfs als er in potentie voldoende Mn aanwezig is. Door regen/ beregening wordt dit, door droogte veroorzaakte Mn-gebrek, opgelost. Organische stof in de bodem kan ook bijdragen aan het ontstaan van een Mn-tekort omdat het Mn sterk bindt. Mn-tekort komt vaak voor in bekalkte en gedraineerde veengronden. In Nederland werd het Mn-tekort eerst bekend als de 'veenkoloniale haverziekte'.

Onder zeer natte omstandigheden kan Mn-toxiciteit optreden. Wanneer door de natte omstandigheden de bodem zuurstofloos (anaeroob) wordt kunnen Mn-oxides oplossen en Mn in toxische hoeveelheden vrijkomen. Hoge temperaturen kunnen de oplosbaarheid van Mn verhogen, en daardoor de beschikbaarheid vergroten. Door klimaatverandering kan Mn-toxiciteit daarom ook toenemen als gevolg van hogere temperaturen en meer licht (Fernando et al., 2016)

Interactie met andere nutriënten

Mn komt voornamelijk voor in oplossing als Mn^{2+} waarbij de concentratie sterk afneemt als de pH toeneemt (Lindsay, 1972). Verhogen van de pH door bekalking kan dus een negatief effect hebben op de Mn-beschikbaarheid.

Een hoge beschikbaarheid van andere tweewaardige kationen (zoals Ca^{2+} en Mg^{2+}) heeft een negatief effect op de Mn-beschikbaarheid. De grootte van het Mn^{2+} -ion is vergelijkbaar met dat van Mg^{2+} en Ca^{2+} en er is dus concurrentie tussen deze voedingsstoffen aan het worteloppervlak. De opname van Mn wordt verder belemmerd door bemesting met een hoge dosis kalium, zink en/of molybdeen. Fosfaatmeststof kan ook de Mn-beschikbaarheid verlagen door de neerslag van Mn-fosfaat. Door een vergelijkbaar opnamemechanisme in het gewas is er competitie tussen Mn en Fe aan het worteloppervlak.

Meten

GRONDONDERZOEK

In Nederland wordt het Mn-tekort over het algemeen niet veroorzaakt door het gebrek aan Mn, maar door de lage plantbeschikbaarheid van het al aanwezige Mn, door de chemische processen in de bodem bij een hoge pH-waarde. Dezelfde bodem-chemische processen zijn de reden dat de beschikbaarheid van toegepaste Mn bodemmeststof een lage effectiviteit heeft. De effectiviteit van de bladbemesting is afhankelijk van weersomstandigheden (Mulder et al., 2013). We adviseren om bladbemesting met name te richten op jonge bladeren tijdens weersomstandigheden met een hoge luchtvochtigheid (Anonymous 2003b). Mn is zeer immobiel in een plant waardoor het noodzakelijk kan zijn om de toepassing meerdere malen te herhalen. Bekalken kan de beschikbaarheid van Mn (sterk) verlagen.

Het huidige advies geeft aan dat *alleen op zeelei grondonderzoek nodig is. Voor dekzand en dalgrond is de Mn-beschikbaarheid gerelateerd aan pH.*

Bij een bodem pH-CaCl₂ hoger dan 6, is de Mn-beschikbaarheid zo laag dat een bodemanalyse van het Mn-gehalte (Mn-CaCl₂) niet zinvol is. Bij pH-CaCl₂^{*1} niveaus onder 6, is Mn-CaCl₂ een goede indicator voor de beschikbaarheid van Mn in de bodem voor gewasopname (Promotieonderzoek C. Terrones).

MEETMETHODEN

Het gehalte in de bodem wordt door Eurofins gemeten met 0,01M CaCl₂ (schudverhouding 1 op 10, Houba et al., 2000) en van oudsher werd ammoniumacetaat 1N hydrochinon (schudverhouding 1 op 20) meting AAS toegepast. De huidige adviezen in het Handboekbodemenbemesting.nl zijn nog gebaseerd op deze methode.

Herkennen van het gebrek: Symptomen van een Mn-tekort zijn gele verkleuring tussen de bladnerven, gevolgd door chlorose en verwelking van de bladeren. Mn-deficiëntie is eerst zichtbaar in de jongste bladeren.

RELATIE MEETRESULTATEN EN ADVIES

Grenswaarden waarbij wel of geen gebrek te verwachten is op zeeleigron

De handleiding geeft in tabel 7.3 voor *kleigronden aan of er wel/niet een risico is op gebreksverschijnselen, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen OS hoger dan wel lager dan 2,5% OS. Advies: mangaan-gewasbespuiting uitvoeren en/of gewasontwikkeling volgen en zo nodig bemesten.*

De aanbevolen dosis is afhankelijk van het gewas en het type meststof.

De basis voor het onderscheid in % organische stof bij de classificering van de meetresultaten is zeer dun en kan niet worden onderbouwd in latere proeven. Het is beter om de combinatie van pH en Mn-CaCl₂ te gebruiken bij het vaststellen van een risico op gebrek. Boven pH-CaCl₂ 6 is er risico op Mn-gebrek. In dit geval is het meten van Mn-CaCl₂ niet zinvol omdat deze te laag is om te kunnen meten. Bij pH-CaCl₂ < 6 is Mn-CaCl₂ wel een geschikte indicator voor de beschikbaarheid van Mn voor het gewas (Van Rotterdam en Bussink 2016).

Het huidige advies is algemeen geldend en niet gespecificeerd per gewas: *wordt op basis van grondonderzoek mangaangebrek verwacht, voer dan een mangaan-gewasbespuiting uit. Uitzondering wanneer de ervaring leert dat gebrek slechts van korte duur is. Daarnaast wordt geadviseerd het gewas te monitoren op gebreksverschijnselen.*

¹ pH-CaCl₂ is gemiddeld 0,2 pH-eenheden hoger dan pH-KCl

Geadviseerde methode van bemesting

Huidig advies: *Wordt op basis van grondonderzoek mangaangebrek verwacht, voer dan een mangaan-gewasbespuiting uit. Een bemesting in de vorm van een (eventueel herhaalde) bespuiting met bladmeststoffen is in het algemeen het meest effectief.*

Om rekening mee te houden in de toekomst

Klimaatverandering leidt in toenemende mate tot weersextremen. Omdat de beschikbaarheid van Mn sterk wordt bepaald door het weer (gebrek bij droogte en toxiciteit bij natte en ook bij warme omstandigheden) leidt dit tot risico's. De daling in gebruikruimte voor dierlijke mest en het verminderde gebruik van Mn-bevattende bestrijdingsmiddelen leidt tot een daling in de toegediende hoeveelheid Mn op bouwland. Het is niet bekend wat het effect hiervan is op de beschikbaarheid van Mn in de bodem, met name op gronden met een verhoogd risico op tekorten (Velthof en Van Erp 1998).

Door het frequent toepassen van Mancozeb houdende middelen in gewassen als aardappelen en uien werd ook mangaan toegediend en speelt mangaangebrek geen rol. Met het verdwijnen van dit middel wordt het belangrijk ook in deze situaties alert te zijn op het optreden van mangaangebrek.

4. Borium (B)

Rol in het gewas

Borium (B) stimuleert in planten de celdeling en daarmee de groei, bloei en vruchtzetting. Gebrek-symptomen verschijnen het eerst op de groeipunten. In vlinderbloemigen, zoals peulvruchten, is B noodzakelijk voor de vorming van wortelknolletjes voor stikstofbinding.

Gevoelige gewassen

Suikerbieten, maïs, luzerne, koolzaad, selderij, bloemkool, broccoli, wortel zijn gevoelige gewassen voor boriumgebrek. B-gebrek is het eerst zichtbaar in het afsterven van de groeipunten van wortel en stengel. Dit stimuleert het uitlopen van zijknoppen. Wortelgroenten zijn gevoelig voor een B-gebrek; in Nederland wordt het B-gebrek bij suikerbieten "hartrot" van de bieten genoemd. Onder vergelijkbare omstandigheden verschillen gewassen in hun B-opname. Peulvruchten hebben een hoge B-opname; 20-70 mg B kg⁻¹ droge stof (DM) ten opzichte van 5-10 mg B kg⁻¹ DM voor bijvoorbeeld granen (Marschner, 1995). Suikerbieten lopen risico op hartrot als de B-gehalten in de bladeren lager zijn dan 35-40 mg kg⁻¹ B (Wattel-Koekoek en Bussink 2003).

Mulder et al. (2013) geven aan dat de opbrengst van zetmeelaardappelen achterblijft op de opbrengstpotentie door een tekort aan sporenelementen – waaronder borium op de van nature (borium) arme zandgronden maar ook op oude rivierklei. Volgens de auteurs is borium een ondergewaardeerd element omdat symptomen van gebrek niet algemeen bekend zijn – maar wel degelijk optreden. In de praktijk werd acuut borium gebrek in aardappels waargenomen als gevolg van droogte ongeacht B-gehalten in de bodem en in B-arme gronden.

Belangrijkste bodemprocessen bepalend voor beschikbaarheid

Anders dan andere micronutriënten is B slechts zwak geadsorbeerd aan bodemdeeltjes (Lindsay, 1991). Bij toenemende pH van de bodem neemt de beschikbaarheid van B af door een sterkere binding van B aan het oppervlak van bodemdeeltjes (organisch materiaal, klei en het oppervlak van Al- en Fe-oxide).

Wanneer B aan een bodem wordt toegediend blijft een relatief groot deel in oplossing (65% in kleigronden en 85% in zandgronden (Terrones en Supriatin, 2015)). De potentie van een bodem om de B-concentratie in oplossing te bufferen is over het algemeen laag omdat de hoeveelheid B dat als reserve gebonden is aan bodemdeeltjes relatief klein is in vergelijking met de hoeveelheid B in oplossing. Dit heeft tot gevolg dat:

- B gemakkelijk uitspoelt uit het bodemprofiel, vooral op zandgronden met een laag organische stofgehalte.
- Een relatief groot deel van het in de bodem aanwezige B direct beschikbaar is voor plantenwortels. Met de verplaatsing van water naar de wortel wordt ook B naar de wortel gebracht (mass flow). Hierdoor wordt de beschikbaarheid van B sterk negatief beïnvloed door droogte.

Risico's en risicovolle omstandigheden voor gebrek of toxiciteit

In het huidige advies wordt zowel een risico op toxiciteit als gebrek benoemd. Hiernaast kan worden gekwantificeerd wanneer toxiciteit kan optreden.

Zandgronden met lage organische-stofgehalten lopen risico, maar een B-gebrek kan ook voorkomen op löss- en dalgronden. Het wordt versterkt bij lage pH ($pH < 4$) of juist hoge pH ($pH > 6$, onder andere vlak na bekalking) in combinatie met droogte. Met name op zand- en dalgronden kan borium gemakkelijk uitspoelen, waardoor vooral bij suikerbieten, maïs en kool tekorten kunnen optreden.

Soms kunnen bieten op kleigrond ook last hebben van boriumgebrek. Er is dan bijna altijd sprake van een droge zomer en droog najaar. Uit literatuur blijkt nagenoeg hetzelfde: B-gebrek kan optreden op zand- en dalgronden met een laag gehalte aan organische stof en, tijdens droogte en na bekalking. Op 25% van de alluviale zandgronden zijn de B-gehalten laag (Ros en Den Boer, 2011).

Te hoge B-giften kunnen leiden tot toxiciteit.

Interactie met andere nutriënten

B heeft weinig competitie en/of interactie met andere nutriënten. Het effect van competitie is gering.

Meten

GRONDONDERZOEK

Bij de gewassen suikerbiet, maïs, luzerne, koolraap, knolselderij, bloemkool, broccoli of peen wordt geadviseerd grondonderzoek te verrichten.

Grondonderzoek voor borium is niet relevant voor kleigronden met een organische stofgehalte van meer dan 5%. Voor deze gronden is het B-gehalte (meer dan) hoog genoeg, en door de lage bindingssterkte ook voldoende beschikbaar.

In het kader van B-toxiciteit kan grondonderzoek wel nuttig zijn op klei- en zandgronden met een organisch stofgehalte hoger dan 5% voor gewassen die gevoelig zijn voor B-toxiciteit zoals maïs.

Bekalken heeft een negatief effect op de beschikbaarheid van B, dit effect neemt toe bij toenemende organische stofgehalte (Lehr en Henkens, 1962). Voor de meest betrouwbare resultaten zou bij voorkeur het B-bodemonderzoek moeten worden uitgevoerd in het voorjaar

MEETMETHODEN

Momenteel hanteert Eurofins als meetmethode: 0,01M CaCl₂ (schudverhouding 1 op 10 volgens Houba et al., 2000). Historisch werd het gemeten in heet water (schudverhouding 1 op 10).

Heet water is de meest algemeen toegepaste methode. Andere methodes worden ook gebruikt, bijvoorbeeld 0,05 M HCl (dat is beter volgens Li and Gupta, 1991). Het bepalen van de B-beschikbaarheid op basis van de combinatie B-CaCl₂ en pH CaCl₂ lijkt perspectiefvol.

RELATIE BODEM (MEETRESULTATEN) EN GEWASRESPONS

Het advies is gebaseerd op het meten van het B-gehalte van de bodem in zandgronden waarop in 1955 en 1956 zieke en geheel gezonde bieten voorkwamen. Bij een B-water <0,35 mg/kg waren 73% van de bietenpercelen ziek en boven 0,35 mg/kg op 38% van de percelen in het droge jaar 1955 terwijl in het natte jaar 1956 op veel minder percelen B-gebrek voorkwam (De Vries en Dechering, 1960)

RELATIE MEETRESULTATEN EN ADVIES

Op basis van het B-gehalte in de grond wordt een adviesgift gegeven, waarbij een keuze kan worden gemaakt tussen bodem- dan wel bladmeststoffen. Een voorraadbemesting voor een aantal jaren is niet mogelijk omdat borium gemakkelijk uitspoelt.

Te hoge giften zijn niet wenselijk omdat B gemakkelijk uitspoelt. Daarnaast kunnen mogelijk problemen met toxiciteit optreden. Een B-tekort kan het gevolg zijn van lage B-gehalten in de bouwvoor van de bodem (door een lage adsorptiecapaciteit van de bodem of omdat het door een groot neerslagoverschot uit de bouwvoor is uitgespoeld) of omdat het aanwezige B door droogte niet beschikbaar is. Als droogte de oorzaak is, heeft bemesting geen zin.

Als boriumgebreksverschijnselen optreden, moet zo snel mogelijk een B-gewasbespuiting worden uitgevoerd. Ter overweging: een advies voor peulvruchten te ontwikkelen vanwege de relatief hoge B-behoefte en de rol van B bij de vorming van wortelknolletjes voor stikstofbinding.

Geadviseerde methode van bemesting

De methode van bemesting is afhankelijk van de situatie; volvelds wanneer een gebrek wordt verwacht en bladbemesting wanneer gebreksverschijnselen optreden.

Bekalken kan de beschikbaarheid van B (sterk) verlagen.

Om rekening mee te houden in de toekomst

Klimaatverandering leidt in toenemende mate tot weersextremen. Omdat de beschikbaarheid van B op zand- en dalgronden sterk wordt bepaald door het weer (gebrek bij zowel droogte als natte omstandigheden) leidt klimaatverandering waarschijnlijk tot een toename in het risico op B-gebrek.

5. Koper (Cu)

Rol in het gewas

Koper (Cu) activeert enzymen en katalyseert reacties in verschillende groeiprocessen in de plant. De aanwezigheid van koper is nauw verbonden met de productie van vitamine A en draagt bij aan een succesvolle eiwitsynthese (Marschner, 1995). De kritische gehalten van Cu in planten variëren van 1 tot 5 mg kg⁻¹ Cu droge stof, afhankelijk van het gewastype (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Cu heeft een zeer lage mobiliteit in de plant. Gebreksymptomen treden daarom op bij de jongste bladeren.

Gevoelige gewassen

Cu-gebrek is in eerste instantie waargenomen bij granen en stond bekend als ontginningsziekte (de Vries en Dechering, 1960). Problemen met Cu-gebrek zijn van oudsher vooral van belang bij granen op humusrijke podzolgronden, dalgronden, veengronden, en andere gronden met een hoog gehalte aan organische stof en met minder dan 3-4 mg kg⁻¹ Cu-HNO₃ (gebaseerd op talrijke veldproeven in de jaren '50 en '60 en praktische ervaring, van Driel en Smilde, 1990).

Belangrijkste bodemprocessen bepalend voor beschikbaarheid

In de bodem is koper (Cu) vooral gebonden aan organische stof. Een modelstudie laat zien dat meer dan 95% van de Cu in de bodem is gerelateerd aan organische stof (Terrones en Supriatin, 2015). Naast de adsorptie aan organische stof wordt Cu ook gebonden aan de andere oppervlakken in de bodem zoals klei en Al- en Fe (hydr-) oxides (Shuman, 1991 in Fageria et al., 2002).

De bodem-pH speelt ook een belangrijke rol omdat de Cu-beschikbaarheid afneemt met toenemende pH. Met elke toename van de pH met 1-eenheid neemt de Cu-beschikbaarheid met een factor 100 af. Ook de opname door planten neemt overeenkomstig af met toenemende pH (Fageria et al., 2002). De reden hiervoor is dat naarmate de pH-waarde stijgt de bodem steeds meer Cu kan binden (Geering en Hodgson, 1969 in Fageria et al., 2002).

In de bodemoplossing wordt het grootste deel van Cu (99%, Terrones en Supriatin, 2015) geassocieerd met opgeloste organische moleculen (DOC). Relatief weinig koper is in een vorm aanwezig die gemakkelijk door de plantenwortels kan worden opgenomen. De sterke binding van Cu

aan DOC heeft een tweeledig effect; enerzijds zit er meer Cu in de bodemoplossing waardoor het mobieler wordt (Lindsay, 1979), anderzijds beperkt het de beschikbaarheid van Cu voor opname door de wortel. De hoeveelheid Cu in de bodemoplossing wordt voornamelijk bepaald door het evenwicht met het Cu dat is gebonden aan bodembestanddelen (Barber, 1995).

Risico's en risicovolle omstandigheden voor gebrek of toxiciteit

Bij een laag Cu-gehalte in de bodem is er risico op Cu-gebrek. Cu-gebrek komt voor in gronden waar te weinig Cu aanwezig is, bijvoorbeeld door een laag organische stofgehalte. Cu-gebrek komt echter ook voor in gronden waar veel Cu aanwezig is, maar vanwege de sterke binding dit niet beschikbaar is voor gewasopname, bijvoorbeeld in veen en andere organische bodems en in bodems met een hoge pH.

Cu-gebrek is onwaarschijnlijk op gronden waar varkensdrijfmest wordt toegepast omdat deze hoge Cu-gehalten heeft. Ook waar runderdrijfmest wordt toegepast is niet snel een tekort hoewel tussen 2008 en 2017 sprake is van gelijkblijvende of licht dalende gehalten (Klein en Roskam, 2018). Tussen 1996 en 2008 is het Cu-gehalte in varkensdrijfmest gelijk gebleven (rond 400 mg/kg ds) maar in runderdrijfmest is het Cu-gehalte met een factor 3 gestegen (naar 135 mg/kg ds, Römken en Rietra, 2008). Wel verdient het effect van afnemende dierlijke mestgiften op de Cu-beschikbaarheid in de bodem met name in regio's waar runderdrijfmest wordt toegediend, verder onderzoek.

Toxiciteit door natuurlijke omstandigheden is zeldzaam. Toxiciteit is alleen een risico door het overdadig toedienen van Cu met fungiciden, herbiciden, of meststoffen (Welch et al., 1991).

Interactie met andere nutriënten

Andere elementen zijn van invloed op de beschikbaarheid van Cu. Zo vindt er competitie plaats tussen Cu en calcium (Ca) voor de adsorptie aan organisch materiaal. Cu adsorbeert in principe veel sterker aan organische stof, maar de concentratie van Ca-kationen is weer veel hoger, zodat competitie relevant wordt. Voor de opname van Cu aan het worteloppervlak is competitie weinig relevant, behalve de competitie tussen Zn en Cu (Mengel en Kirkby, 1987).

Metten

GRONDONDERZOEK

Voor granen is onderzoek nodig naar het Cu-gehalte, met name op zand- en dalgronden. Voor andere behoeftige gewassen zou eerst een relatie tussen de Cu-toestand en gewasrespons moeten worden herleid. Ook zou meer onderzoek moeten worden verricht naar bodems met een zeer lage Cu-beschikbaarheid als gevolg van een hoge pH en/of organische stofgehalte. Grondonderzoek is in de meeste gevallen niet relevant; indien de bodem toch wordt geanalyseerd, dan kan dit beter pas 6-8 weken na bekalking worden gedaan.

MEETMETHODEN

De extractiemethodes 0,43M HNO₃ en ammoniumoxalaat extraheren het reactief Cu. Deze fractie is voornamelijk geassocieerd met het gehalte aan organische stof in de bodem. Deze methode werd tot

2004 gebruikt om Cu in de bodem te meten en vormt de basis voor de Nederlandse bemestingsadviezen.

RELATIE BODEM (MEETRESULTATEN) EN GEWASRESPONS

De huidige adviesbasis geldt slechts met enige zekerheid voor haver en tarwe. De waardering van de Cu-toestand van de bodem is gebaseerd op de relatie tussen de relatieve korrelopbrengst van tarwe en Cu-HNO₃ op proefvelden (1954 en 1955) en in een potproef met verschillende dal- en zandgronden (1957, De Vries en Dechering, 1960).

RELATIE MEETRESULTATEN EN ADVIES

Gewas specifiek advies

Indien het te laat is voor een koperbodembemesting kan een gewasbespuiting met koper meststoffen worden uitgevoerd. Het huidige advies geldt alleen voor tarwe en haver. Het zou goed zijn om te onderzoeken of het advies moet worden uitgebreid voor suikerbieten, spinazie, alfalfa, sla en ui omdat dit gewassen zijn met een hoge Cu-behoefte.

Geadviseerde methode van bemesting

Het wordt geadviseerd bodembemesting toe te passen en indien te laat een gewasbemesting. De effectiviteit van de Cu-bemesting met Cu-zouten, zoals Cu-sulfaat is laag. Bemesting met Cu-chelaten is (hoewel ook laag) effectiever dan met Cu-zouten.

Om rekening mee te houden in de toekomst

Gebruik van dierlijke mest bepaalt in hoge mate de belasting van landbouwgrond met metalen als Cu en Zn. Tussen 1996 en 2008 is het Cu-gehalte in varkensdrijfmest gelijk gebleven (rond 400 mg/kg ds) maar in rundveedrijfmest is het Cu-gehalte met een factor 3 gestegen (naar 135 mg/kg ds, Römken en Rietra, 2008). Tussen 2008 en 2017 is sprake van gelijkblijvende of licht dalende gehalten (Klein en Roskam, 2018).

De verandering in Cu-gehalten in de Nederlandse landbouwbodem over de periode 2007 t/m 2018 zoals gemeten door Eurofins-agro zijn in opdracht van Dutch Biorefinery Cluster geanalyseerd (Brolsma, 2019). In de analyse is het Cu-gehalte gemeten met 0.01 M CaCl₂ als maat om de plantbeschikbaarheid in te schatten. Of Cu in een CaCl₂ extractie daadwerkelijk een goede maat is voor de plantbeschikbaarheid moet in de landbouwpraktijk worden getest voor een wetenschappelijke onderbouwing van het advies. Een analyse van alle gronden die door Eurofins zijn gemeten laten zien dat er een daling is van het gehalte plant-beschikbaar koper over de periode 2007-2018. De daling is duidelijk tussen 2007 en 2010, daarna is de mediaan Cu-concentratie stabiel. De mediaan van het kopergehalte ligt veelal boven de door Eurofins gehanteerde ondergrens. Echter voor zeeklei ligt de mediaan van het gehalte beschikbaar koper in 9 van de 12 jaar onder deze ondergrens. Belangrijk hierbij is dat de bepaling slechts zeer een (klein) deel van de totale bodemvoorraad meet. Een deel van de niet gemeten fractie zal door nalevering aan de

bodemoplossing beschikbaar komen wanneer de plantenwortels Cu onttrekken. Daarnaast kunnen wortels direct in wortelomgeving de beschikbaarheid beïnvloeden bijvoorbeeld door verzuring van de grond rondom de wortels. Meer duidelijkheid hierover is gewenst alvorens vastgesteld kan worden hoe groot het risico is voor het optreden van kopergebrek in akkerbouw op zeelei en over de noodzaak tot het ontwikkelen van een advies hiervoor.

6. Zink (Zn)

Rol in het gewas

In planten is zink (Zn) een belangrijk bestanddeel van veel enzymen en is het betrokken bij de synthese van aminozuren en eiwitten. Het speelt een belangrijke rol in een breed scala aan processen, bijvoorbeeld in de productie van groeihormoon. Zn is belangrijk voor de stressbestendigheid van planten.

Gevoelige gewassen

Maïs is gevoelig voor Zn-gebrek maar ook fruitbomen, peulvruchten, sla, spinazie, bonen en uien zijn gevoelig voor een Zn-tekort (Wattel-Koekoek en Bussink 2003, Eurofins, 2015). In Duitsland worden maïs en bonen als zeer Zn-behoefstig beschouwd.

Belangrijkste bodemprocessen bepalend voor beschikbaarheid

De bodemprocessen voor zink (Zn) zijn vergelijkbaar met die voor Cu. Zn wordt gebonden aan kleimineralen, metaal(hydr)oxiden en organische stof. De binding van Zn aan deze bodembestanddelen is lager dan van Cu. In zandgronden wordt de beschikbaarheid van Zn vooral bepaald door de binding aan het organische stofgehalte in de bodem (Weng, Temminghoff & Riemsdijk, 2001). Enerzijds neemt met een toename van het organische stofgehalte de totale hoeveelheid Zn toe, en anderzijds neemt door de sterke binding de Zn-beschikbaarheid af (Duffner, 2014).

Op kalkrijke gronden is de beschikbaarheid van Zn zeer laag en wereldwijd is dit ook de grootste oorzaak van Zn-gebrek. De oplosbaarheid van Zn is sterk afhankelijk van de pH. De Zn-concentratie in de bodemoplossing neemt sterk af per eenheid dat de pH toeneemt. Hierdoor neemt ook de opname van Zn door de plant sterk af bij verhoging van de pH.

Zn wordt door de plantenwortels opgenomen als het vrije Zn^{2+} . Omdat de concentratie Zn^{2+} in de bodemoplossing laag is en Zn niet erg mobiel, kan Zn slechts over een korte afstand getransporteerd worden door de bodem naar de plantenwortel (diffusie gedreven transport). Voor een goede opname van Zn is daarom een voldoende groot wortelstelsel, eventueel in combinatie met mycorrhizaschimmels, en een goede vochthuishouding belangrijk.

Risico's en risicovolle omstandigheden voor gebrek of toxiciteit

Zn-gebrek is één van de meest voorkomende gebreken op het gebied van sporenelementen in de wereld (Mengel & Kirkby, 1987).

Zn-gebrek kan voorkomen bij Zn-concentraties in een gewas lager dan 10 tot 20 mg kg⁻¹ droge stof, afhankelijk van de gewassoort en van concentraties van andere elementen in de plant.

Toxiciteitsverschijnselen kunnen optreden wanneer het Zn-gehalte hoger is dan 100 tot 500 mg kg⁻¹ droge stof (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

Zn-gebrek kan optreden op gronden met pH ≥7 met een hoog organische-stofgehalte. Een hoge fosfaattoestand en een hoge fosfaatgift bevorderen het optreden van een Zn-gebrek. Een hoge pH, organische stofgehalte en fosfaattoestand in de bodem en koude en natte omstandigheden verlagen de beschikbaarheid van Zn en kunnen leiden tot Zn-gebrek. Te hoge Zn-giften kunnen op hun beurt weer leiden tot toxiciteitsproblemen.

Het risico op Zn-gebrek is (zeer) laag wanneer structureel dierlijke mest, en vooral varkensmest, wordt toegediend. Het gehalte in de mest kan echter sterk variëren. Zn-gebrek kan optreden wanneer de totale Zn-gehalten in de bodem laag zijn, bijvoorbeeld in zandgronden met een lage organische stofgehalte óf wanneer het aanwezige Zn slechts beperkt beschikbaar is. De Zn-beschikbaarheid wordt beperkt door een hoge pH op kalkhoudende bodems of sterk bekalkte bodems, hoge zoutconcentraties (verzilting), hoge organische stofgehalte (o.a. veengronden), hoge fosfaattoestand of langdurige waterverzadiging of overstroming.

Een studie naar het Zn-gehalte in de door Eurofins geanalyseerde akkerbouwpercelen tussen 2007 en 2018 laat zien dat op dekzand en dalgronden het direct beschikbaar Zn zoals bepaald in een CaCl₂ extractiemethode zeer hoog is en over de tijd niet verandert (Brolsma, 2019). In dezelfde studie was de direct beschikbare Zn-fractie in de zeekleigronden over de hele periode onveranderd laag, lager dan de door Eurofins gehanteerde landbouwkundige ondergrens. Omdat CaCl₂ slechts een zeer kleine fractie van de totale hoeveelheid Zn in de bodem extraheert is het onduidelijk of deze lage waardes ook echt tot gebrek leiden.

Zn-transport naar de wortel vindt voornamelijk plaats door middel van diffusie. Hierdoor kan droogte ook leiden tot Zn-gebrek.

Interactie met andere nutriënten

Een hoge P-beschikbaarheid in de bodem en/of een ruime P-voorziening kan de opname van Zn door het gewas negatief beïnvloeden. Naast een directe negatieve P – Zn interactie in de plant beperkt een hoge P-beschikbaarheid in de bodem de Zn-opname ook op een indirecte manier. Een hoge P-beschikbaarheid beperkt de grootte van het wortelstelsel en de interactie met mycorrhizaschimmels. Bovendien kan door een goede P-voorziening meer gewas worden geproduceerd waardoor verdunning van de Zn-concentratie in het gewas plaatsvindt, wat ook tot Zn-gebrek kan leiden (Loneragan & Webb, 1993).

Verhogen van de pH door bekalking kan een negatief effect hebben op de Zn-beschikbaarheid. Té hoge kalkgiften kunnen tot Zn-gebrek leiden.

Meten

Nader onderzoek moet uitwijzen wanneer grondonderzoek nodig is. Grondonderzoek lijkt het meest zinvol op gronden met potentieel lage Zn-gehalten zoals zandgronden met een laag organische stofgehalte. Voor gronden waar de Zn-beschikbaarheid laag is door een hoge pH (kleigronden) of een hoog organische stofgehalte moet nader onderzoek ook uitwijzen of Zn-gebrek voorkomt. Grondonderzoek naar de Zn-beschikbaarheid lijkt dan minder voor de hand liggend omdat op basis van pH of organische stofgehalte mogelijk al kan worden afgeleid of een gebrek verwacht wordt of niet. In beide situaties zou het onderzoek zich moeten richten op Zn-gevoelige gewassen waar de (historische) dierlijke mestgift laag is (met name varkensmest bevat hoge Zn-gehalten).

MEETMETHODEN

Verschillende extractiemiddelen worden gebruikt voor de evaluatie van de Zn-toestand in de bodem, bijvoorbeeld oplossingen die complexeerders als EDTA en DTPA (diethyleen triamine penta-azijnzuur) bevatten, 0,1 M HCl en verdunde zoutoplossing zoals 0,002 M CaCl_2 , 0,01 M CaCl_2 en 0,01 M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Het gewas kan alleen gemeten worden door destructie.

RELATIE BODEM (MEETRESULTATEN) EN GEWASRESPONS

De correlatie tussen de gemeten Zn-opname door gewassen en de hoeveelheid Zn geëxtraheerd met de verschillende methoden is vaak relatief laag. Door het meenemen van eigenschappen als de pH en het organische stof- en kleigehalte van de grond kan de correlatie vaak worden verbeterd (Brennan et al., 1993, Duffner et al., 2013).

De Zn-opname door verschillende gewassen in het gebied de Kempen (Zn-vervuiling) kan goed worden voorspeld op basis van Zn- CaCl_2 ($r^2=0,81$) en deze voorspellingen worden nog beter wanneer ook pH wordt meegenomen ($r^2=0,9$, Rietra et al., 2004).

RELATIE MEETRESULTATEN EN ADVIES

Gewas specifiek advies

De Zn-balans van de Nederlandse landbouw is positief, maar een overschot is gedaald als gevolg van de aanscherping van de gebruiksnormen voor dierlijke mest. Voor de vollegrondsgroenteteelt is de balans negatief wanneer weinig tot geen organische mest wordt gebruikt. Of er een risico is op Zn-gebrek bij behoeftige gewassen zoals sla en spinazie is niet duidelijk.

De ontwikkeling van een advies voor gewassen met een hoge Zn-behoefte lijkt gewenst met name als de dierlijke mestgift beperkt is. Maïs, peulvruchten, bonen en uien en de Zn-behoefte vollegrondsgroenten sla en spinazie, maar ook fruitbomen zouden in aanmerking kunnen komen voor een Zn-advies.

Geadviseerde methode van bemesting

Zn-gebrek kan meestal worden verholpen door het gewas te bespuiten met zinksulfaat of zinkchelaten. Deze meststoffen kunnen ook aan de bodem worden toegediend, liefst in de rij bij het zaad. De effectiviteit van bodembemesting hangt af van de oorzaak van het gebrek. Bij een lage hoeveelheid Zn in de bodem (bijv. zandgronden) is dit een effectieve strategie maar bij een lage

beschikbaarheid wellicht minder. Dit is ook gewas-, en zelfs variëteit-afhankelijk. Indien een Zn-gebrek wordt verwacht kan ook Zn behandeld zaad worden gebruikt.

Indien gebreksverschijnselen al zijn opgetreden zal een reparatiebemesting slechts deels effectief zijn.

Om rekening mee te houden in de toekomst

Data van Eurofins-agro laat een dalende trend zien in het gemiddelde Zn-gehalte van de bodem, van 1,8 mg/kg in 2004 naar 1,4 mg/kg in 2012 zoals gemeten in een 0.01M CaCl₂ extract (Hemel en Klijn, 2017). Deze gehalten vallen in de range van de kritische Zn-concentraties voor de meeste gewassen van 0,5 – 2,0 mg Zn kg⁻¹ in een DTPA-extractie. De context van deze dalende trend (welk gebied, hoeveel monsters, landgebruik etc. wordt niet gegeven) en daarom kan er aan deze trend weinig waarde worden toegekend.

Het zinkgehalte in varkensmest is hoog (gemiddeld rond 1000 mg/kg) en ook ruim hoger dan in rundveemest (200 mg/kg) en vleeskuikenmest (350 mg/kg; Klein en Roskam, 2018). Tussen 1996 en 2008 was het Zn-gehalte in varkensmest bijna verdubbeld. Tussen 2008 en 2017 is het Zn-gehalte in de mest ongeveer gelijk gebleven. De (mogelijke) afnemende trend in Zn-beschikbaarheid in de bodem is waarschijnlijk het gevolg van de aanscherping van de gebruiksnormen en niet van lagere gehalten in de mest. Echter, van deze monsters is niet bekend hoe andere belangrijke parameters die de directe Zn-beschikbaarheid bepalen zijn veranderend gedurende deze periode (organische stofgehalte, fosfaattoestand, pH).

Een analyse van de bodemonsters die bij Eurofins zijn geanalyseerd in de periode 2007 - 2018 laten zien dat, in tegenstelling tot het zinkgehalte dat op dekzand en dalgrond zeer hoog is, het zinkgehalte in zeekleigronden laag is. Gemiddeld onder de door Eurofins gehanteerde landbouwkundige ondergrens. Het betreft hier echter Zn gemeten in een 0.01M CaCl₂ extract en slechts een (klein) deel van de totale bodemvoorraad meet. Een deel van de niet gemeten fractie zal door nalevering aan de bodemoplossing beschikbaar komen wanneer de plantenwortels Cu onttrekken. , Daarnaast kunnen wortels direct in wortelomgeving de beschikbaarheid beïnvloeden bijvoorbeeld door verzuring van de grond rondom de wortels. Meer duidelijkheid hierover is gewenst alvorens vastgesteld kan worden hoe groot het risico is voor het optreden van zinkgebrek in akkerbouw op zeeklei en over de noodzaak tot het ontwikkelen van een zinkadvies.

7. Molybdeen (Mo)

Rol in het gewas

In planten is Mo nodig voor chemische processen die zijn geassocieerd met stikstof (N). Mo zorgt er voor dat N uit de bodem wordt opgenomen en in de plant wordt omgezet in eiwitten. Bij een Mo-tekort lijkt het daarom alsof de plant een N-tekort heeft. Omdat een Mo-tekort meestal wordt verward met een N-tekort wordt relatief weinig melding gemaakt van Mo-tekorten (Kaiser et al., 2005). Bij veel gewassen verkleuren de bladeren en treedt slijmvorming op. Kritische gehalten van Mo variëren van 0,1 tot 1,0 mg kg⁻¹ droge stof. Mo is mobiel in de plant (zowel in floëem als xyleem) en kan goed via bladbemesting worden toegediend.

Mo speelt een rol bij de binding van N uit de lucht door onder andere vlinderbloemigen omdat het een belangrijke rol speelt bij de vorming van wortelknollen (Anderson, 1956).

Gevoelige gewassen

Mo is essentieel voor het vastleggen van N₂ uit de lucht door bacteriën. Mo is daarom vooral van belang voor vlinderbloemigen zoals erwten, bonen, klaver en luzerne omdat deze in symbiose leven met N₂-bindende bacteriën. Voor vlinderbloemigen betekent een Mo-tekort ook een N-gebrek, omdat dan te weinig N uit de lucht wordt gebonden. Mo-gebrek komt verder voor bij bloemkool (smalle misvormde bladeren) en bij bieten (kleine lichtgele, lepelvormige, steile bladeren). Maïs, kool, sla, spinazie, tomaat en rogge zijn ook gevoelig voor Mo-gebrek.

De gewasbehoefte aan Mo is zeer laag, lager dan van alle andere micronutriënten; 50 gram Mo per hectare is voldoende om in de behoeften van de meeste gewassen te voorzien.

Belangrijkste bodemprocessen bepalend voor beschikbaarheid

De grootste hoeveelheid molybdeen (Mo) is in de bodem aanwezig in de vorm van mineralen (ijzermolybdaat, loodmolybdaat en calciummolybdaat). In deze vorm komt Mo langzaam vrij en is dus slechts in geringe mate beschikbaar voor plantopname. Voor de beschikbaarheid van Mo is de adsorptie aan, met name, ijzer – en aluminium(hydr)oxiden van belang. Adsorptie aan andere bodembestanddelen is voor Mo van geringere betekenis.

De pH heeft een sterke invloed op de adsorptie van Mo. De adsorptie is het hoogst bij lage pH, met een maximum bij pH-KCl 3-5. Boven pH-KCl 5 neemt de adsorptie van Mo sterk af. Boven pH 8 treedt vrijwel geen adsorptie op (Bibak & Borggaard, 1994). Mo is het enige micronutriënt waar de beschikbaarheid toeneemt bij stijging van de pH.

De beschikbaarheid van molybdeen (Mo) is daarnaast afhankelijk van de mate van waterafvoer. In situaties waar water op het perceel blijft staan en niet weg kan verandert de redoxpotential van de bodem (zuurstofloze omstandigheden) en kan de beschikbaarheid van Mo sterk toenemen tot zelfs toxische concentraties.

In Nederland is het gebruik van varkensmest een belangrijke bron van Mo.

Risico's en risicovolle omstandigheden voor gebrek of toxiciteit

In specifieke situaties bestaat het risico op Mo-toxiciteit en gebrek.

Mo-gebrek komt vooral voor op ijzerrijke zand- en dalgronden met een lage pH (<5,4). Mo-gebrek is het meest waarschijnlijk op minerale gronden met een pH-CaCl₂ kleiner dan 5,5 en met een hoog gehalte aan Fe(hydr)oxiden. In Nederland is van oudsher Mo-gebrek geconstateerd langs rivieren in het oostelijk deel van Nederland met veel ijzer in de bovengrond en die meer of minder slib bevatten en een pH-KCl lager dan 5,4 (De Vries en Decherig 1960). Bij een standaard bemesting met dierlijke mest wordt voldoende Mo aangevoerd en is de balans (input - onttrekking) positief.

Op percelen waar door bodemverdichting het water niet vrij kan draineren en de bodem verzadigd raakt met water verandert de redoxpotentiaal van de bodem en kan de beschikbaarheid van Mo sterk toenemen tot zelfs toxische concentraties.

Interactie met andere nutriënten

Er is competitie tussen Fosfaat (P) en Mo voor de adsorptie aan Fe(hydr)oxiden met een voorkeur voor de adsorptie van P ten opzichte van Mo. Ook kan er fosfomolybdaat worden gevormd, dat mogelijk direct door planten kan worden opgenomen. Hoge P-giften kunnen dus leiden tot een toename in Mo beschikbaarheid. Er zijn echter ook bronnen die vermelden dat P de Mo-concentratie in planten juist kan verlagen (Fageria et al., 2002).

Het toedienen van zwavel kan leiden tot een afname van de Mo-beschikbaarheid door de vorming van thiomolybdaten. Zwavelgiften kunnen Mo-gebrek versterken.

Metten

Er is weinig onderzoek gedaan naar Molybdeen.

GRONDONDERZOEK

Er is geen grondonderzoek nodig; eerst moet in de praktijk onderzocht worden of, en zo ja op welke schaal, Mo-gebrek voorkomt. Mogelijk dat pH voldoende is om een inschatting te maken van de beschikbaarheid van Mo.

GEWASSPECIFIEK ADVIES

Er is vrij weinig bekend over de beschikbaarheid van Mo in de bodem in relatie tot aanvoerposten (organische- en kunstmest) en de gewasbehoefte. Vlinderbloemigen hebben de grootste behoefte aan Mo. Een gewasspecifiek advies lijkt niet nodig indien de gewenste pH in acht wordt genomen.

Geadviseerde methode van bemesting

In het geval van Mo-gebrek wordt geadviseerd te bekalken tot de voor het bouwplan optimale pH en dierlijke mest te gebruiken. Directe bestrijding is mogelijk door gebruik van vaste en vloeibare gewasbespuiting met molybdeenmeststoffen.

Om rekening mee te houden in de toekomst

Het op peil houden van de zuurgraad van de bodem is onderdeel van goed bodembeheer dat vaak wordt onderschat. Het risico op Mo-gebrek kan met goed beheer van de bodem-pH eenvoudig worden vermeden.

8. IJzer (Fe)

Rol in het gewas

Fe-gebrek veroorzaakt een afname in de aanmaak van chlorofyl in bladweefsel. Fe-gebrek wordt daarom aangeduid als Fe-chlorose. Wanneer Fe-gebrek dreigt kunnen planten verschillende stoffen uitscheiden om rond de plantenwortel de Fe-beschikbaarheid te verhogen. Deze stoffen leiden tot gereduceerde omstandigheden (Fe-III wordt omgezet naar het voor plantenwortels opneembare Fe-II), zuurdere omstandigheden (toename Fe-oplosbaarheid) en het in oplossing brengen en houden door middel van organische verbindingen die Fe-complexeren (fytosideroforen).

Gevoelige gewassen

Er zijn geen specifieke gewassen extra gevoelig voor Fe-gebrek.

Belangrijkste bodemprocessen bepalend voor beschikbaarheid

Fe is overvloedig aanwezig in de bodem omdat het deel uitmaakt van bodemmineralen en na verwerking neerslaat als Fe-(hydr)oxiden. De totale hoeveelheid Fe staat in schril contrast met de zeer lage Fe-concentraties in de bodemoplossing. De oplosbaarheid van deze Fe(hydr)oxiden bepaalt in sterke mate de Fe-beschikbaarheid in de bodem (Norvell & Lindsay, 1982). Deze oplosbaarheid neemt af bij een toenemende pH van de bodem. Fe-gebrek komt daarom met name voor op kalkrijke gronden.

Risico's en risicovolle omstandigheden voor gebrek of toxiciteit

Er is geen risico op gebrek of toxiciteit genoemd in het huidige advies. In Nederland is ijzergebrek van geringe betekenis voor de akkerbouw. In theorie zou Fe-gebrek kunnen voorkomen op basische gronden, waaronder kalkrijke gronden, die dus een hoge pH hebben. De zuurgraad beïnvloedt de oplosbaarheid van Fe-(hydr)oxiden en de adsorptie van Fe aan bodemdeeltjes. Ook de directe opname van Fe door de plantenwortel wordt beperkt bij een hoge pH (Marschner, 1995).

Interactie met andere nutriënten

Er is geen informatie te vinden over een interactie tussen Fe en andere nutriënten.

Metten

Er is geen grondonderzoek nodig voor de Fe-status in de bodem; bovendien is er geen geschikte methode om de hoeveelheid beschikbaar Fe te bepalen.

Geadviseerde methode van bemesting

Bladbespuiting met chelaten of eventueel een bemesting van de bodem met Fe-chelaten kunnen worden ingezet bij een gebrek aan Fe (o.a. Schenkeveld et al, 2008). Fe-sulfaten worden ook gebruikt maar zijn veel minder effectief dan Fe-chelaten (o.a. Ortega-Blu and Molina, 2007).

9. Praktijkervaringen en -onderzoek

Niet per definitie verhoogde opbrengsten of kwaliteit door bijbemesten met sporenelementen

Er zijn een drietal praktijkproeven uitgevoerd met toediening van sporenelementen die in de praktijk veelvuldig worden toegepast, om de opbrengst te vergelijken met de standaardbemesting en de adviezen van Eurofins en waar mogelijk adviezen uit het handboek. Uit de proeven kwam naar voren dat de extra toevoeging van sporenelementen geen significant effect heeft gehad op de opbrengst.

PRAKTIJKPROEF BLADMESTSTOFFEN IN AARDAPPEL, RUSTHOEVE 2019

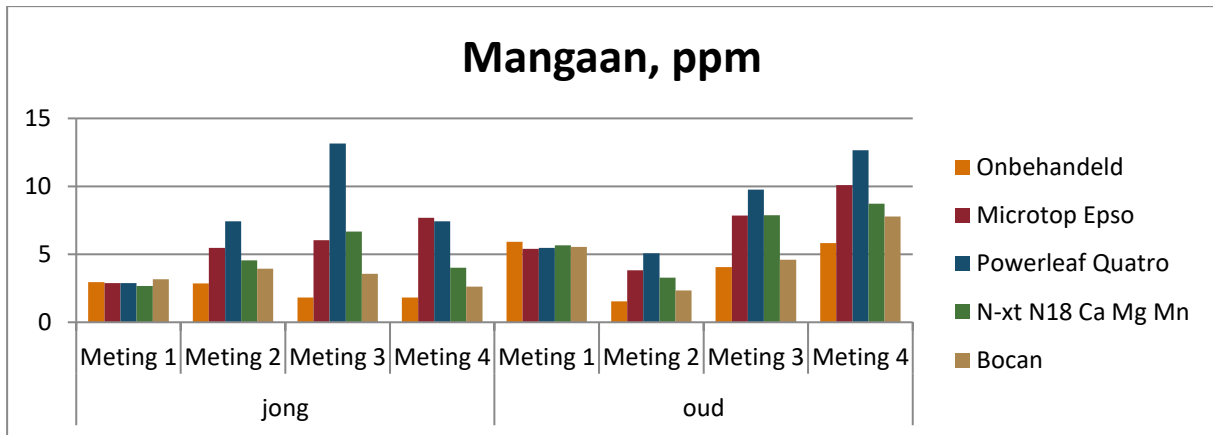
Aardappelen (ras Agria) werden geteeld zonder bijbemesting en met bijbemesting van verschillende bladmeststoffen op een zavelgrond met een pH-CaCl₂ van 7,6 op proefboerderij Rusthoeve in Colijnsplaat (bijlage 1). De basisbemesting was 260 kg stikstof, 50 kg fosfaat en 270 kg kali. Er is geen organische mest toegediend in het jaar van de proef, wel in het voorgaande jaar (29m³ varkensdrijfmest (20 kg N/ha)). Op deze proefboerderij wordt doorgaans geen tot nauwelijks dierlijke mest toegediend vanwege de variabele gehalten in dierlijke mest. De voorvrucht was zomertarwe met daarna gele mosterd als groenbemester. Bijlage 1 geeft de bodemanalyse en tabel 1 de proefopzet. De proef bestond uit 6 objecten die elk in viervoud zijn uitgevoerd. Eén van de objecten was de referentie zonder bijbemesting. De bladmeststoffen in de proef, zijn de in de praktijk meest voorkomende bladmeststoffen (tabel 1). Naast deze 5, zijn er nog tal van andere meststoffen die geadviseerd en gebruikt worden. In het proefveld zijn geen zichtbare gebreksverschijnselen waargenomen.

Uit de bodemanalyse van Eurofins, voorjaar 2019 (bijlage 1) blijkt dat gehalten van een aantal sporenelementen laag zijn, o.a. ijzer, zink, mangaan en koper. Het gehalte borium is hoog. Op basis van de analyse zou in aardappelen een tekort verwacht kunnen worden voor zink en mangaan. Het Eurofins advies voor het gewas aardappelen was 0,5 kg Zn en twee gewasbespuitingen met mangaan. Er wordt geen advies gegeven voor de overige sporenelementen. De adviezen zijn niet te vergelijken met die in het Handboek omdat die zijn gebaseerd op een andere analysemethoden (Zie ook bijlage 4).

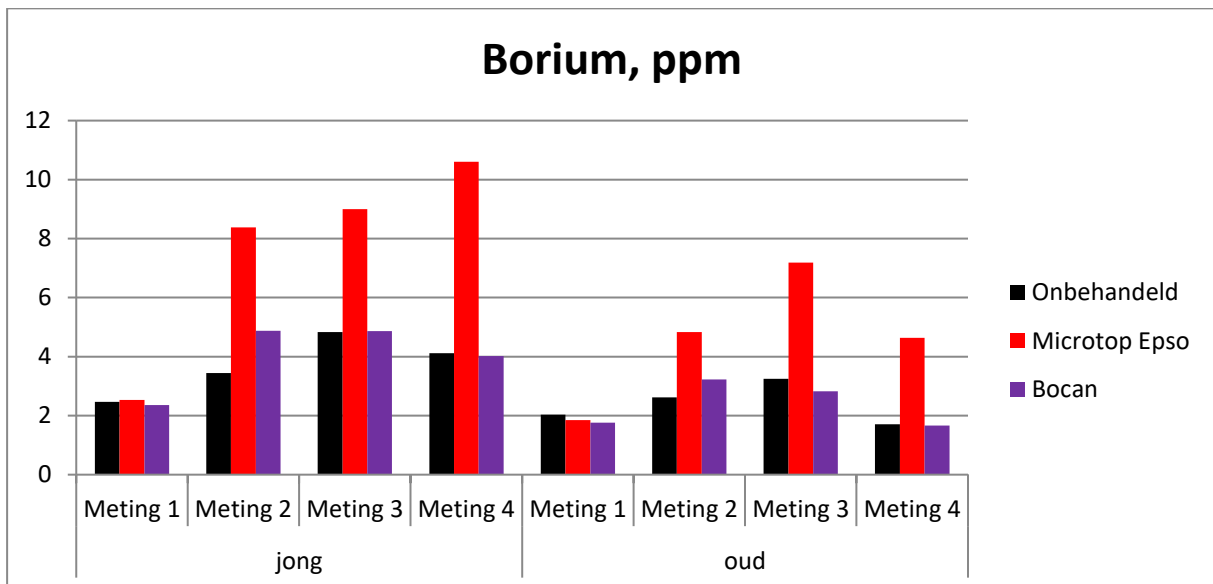
Eén dag voor iedere toepassing van bijbemesting (om de 2 weken) werden bladsapmetingen van het jongste volgroeide blad en van het oudste vitale blad verricht om de gehalten van de belangrijkste sporenelementen in het gewas te meten.

Tabel 1. Proefopzet Bladmeststoffen in aardappel en de hoeveelheden mineralen in kg per ha

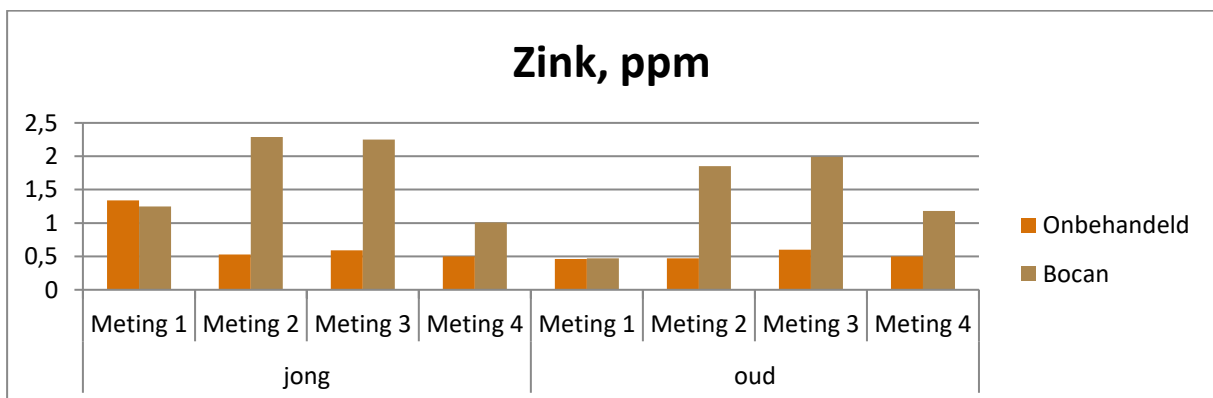
| Object | Frequentie bijbemesting | Dosering | N | P | K | Ca | Mg | SO | Fe | Mn | B | Zn | Cu |
|----------------------------------|-------------------------|----------|-------|---|----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| A Onbehandeld | | | | | | | | | | | | | |
| B Microtop Epso | 5x | 10 kg/ha | | | | | 7,5 | 15,5 | | 0,5 | 0,45 | | |
| C Powerleaf Quatro plus | 3 x | 50 L/ha | 34,83 | | | 11,61 | 2,9 | | | 0,47 | | | |
| D N-xt Bladmeststof N18 Ca Mg Mn | 3x | 50 L/ha | 33,72 | | | 12,57 | 2,86 | | | 0,57 | | | |
| E Powerleaf Kali | 5x | 6 L/ha | | | 1,25/3,7 | | | 6,3 | | | | | |
| F BoCan | 3x | 5 L/ha | 5,73 | | | 2,14 | 0,31 | | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,04 |



Figuur 1. Resultaten bladsanalyse mangaan



Figuur 2. Resultaten bladsanalyse borium

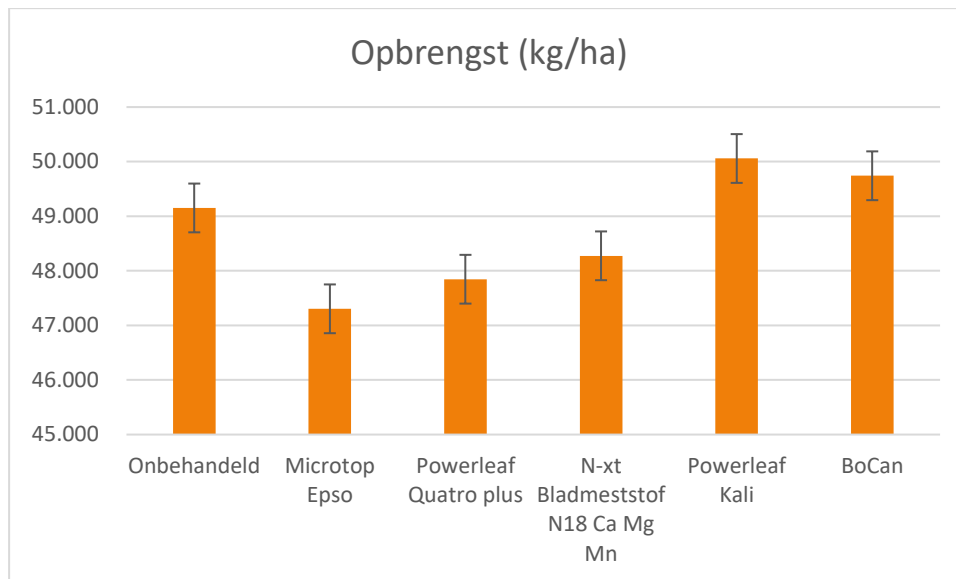


Figuur 3. Resultaten bladsanalyse zink

RESULTATEN

De bruto opbrengst varieerde van 47,3 tot 50 ton/ha. Tussen de verschillende objecten zat geen significant verschil in opbrengst (figuur 2, LSD = 3,52; variatiecoëfficiënt (CV) = 4,8%, F-prob = 0,714). De bladsapmetingen lieten hogere gehalten van de sporenelementen in het blad zien als gevolg van bijbemesting met sporenelementen. Hiermee is het aannemelijk dat de sporenelementen opgenomen zijn door de plant, maar dit resulteerde in geen enkele behandeling met sporenelementen tot een hogere opbrengst.

De opbrengst was in geen van de behandelingen significant hoger dan de objecten met enkel een basisbemesting (Figuur 2) terwijl dit op basis van bodemanalyse en advies wel zou mogen worden verwacht voor Mn en Zn. Ook de andere, in de praktijk veel toegepaste bladmeststoffen hebben niet tot hogere opbrengsten geleid.



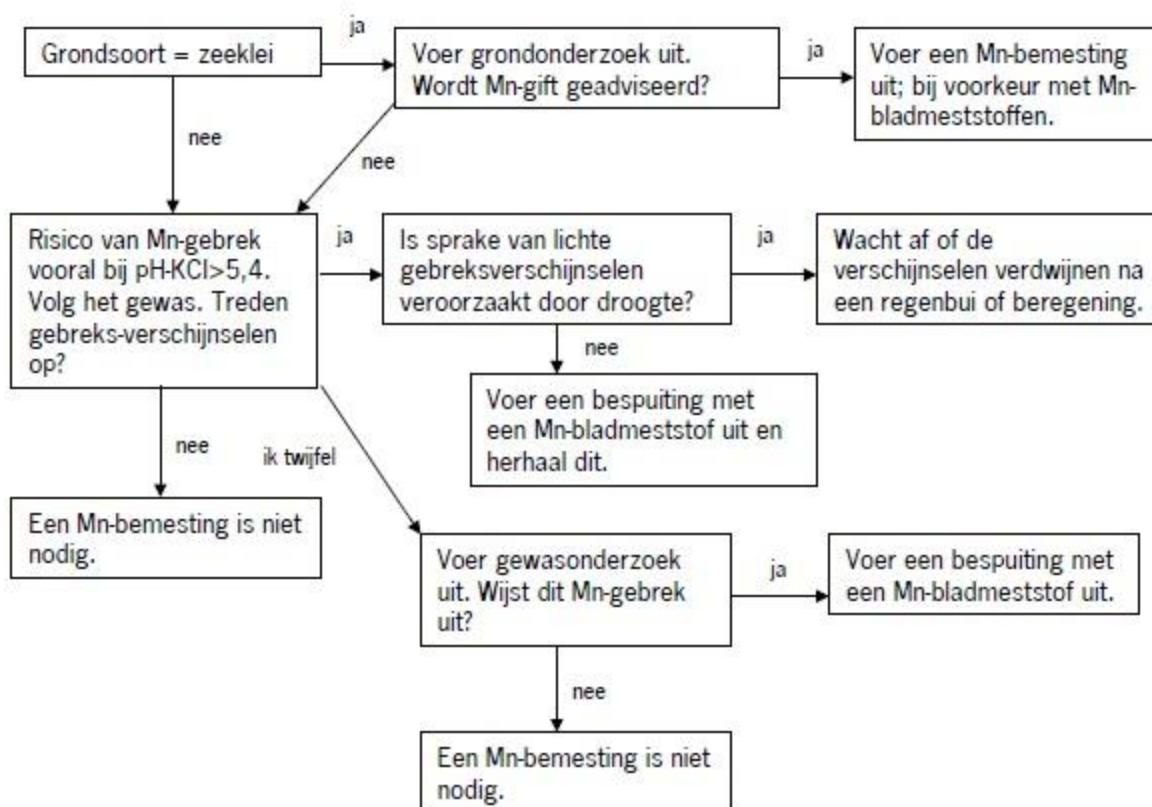
Figuur 4. Opbrengsten (kg/ha) bij de toepassing van verschillende bladmeststoffen en gangbare basisbemesting (onbehandeld). Foutbalken betreffen de standaardfout.

PRAKTIJKPROEF BLADMESTSTOFFEN IN UIEN, WIJNANDSRADDE 2019

Uien werden op lössgrond (zie bijlage 2 voor bodemanalyse) op proefboerderij Wijnandsrade geteeld zonder bijbemesting en met bijbemesting van individuele bladmeststoffen en een meststof met verschillende sporenelementen (tabel 2 en 3). De proef is in viervoud aangelegd. In het jaar van de proef (2019) en het voorgaande jaar is geen dierlijke mest toegediend en ook geen groenbemester geteeld. In 2017 is wel wintertarwe geteeld met bemesting in het najaar in de tarwestoppel. In 2016 is aardappel geteeld met dierlijke mest in het voorjaar.

Uit de bodemanalyse van Eurofins (bijlage 2) blijkt dat de gehalten van een aantal sporenelementen laag zijn, o.a. ijzer, zink en mangaan. Het gehalte borium is hoog. Op basis van de analyse zou in uien een tekort verwacht kunnen worden voor zink en mangaan. Het Eurofins advies voor het gewas uien was 1 kg Zn/ha en het advies geeft aan dat er mangaangebrek te verwachten is. Er was geen advies voor de overige sporenelementen. Op basis van het Handboek, beslisschema voor mangaanbemesting is het advies om geen standaard besputingen uit te voeren maar af te wachten of er gebreksverschijnselen ontstaan.

Beslisschema mangaanbemesting



Tabel 2. Proefopzet Bladmeststoffen in uien

| Object | Frequentie bijbemesting | Dosering (kg of L/ha) | Moment van 1 ^e toediening | Interval (dagen) |
|-------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------------------|------------------|
| A Onbehandeld | | | | |
| B Bladkali TS | 2x | 7,5 | 3-4 ^e pijp | 14 |
| C Mantrac Pro | 2x | 1 | 3-4 ^e pijp | 14 |
| D Foliplus Borium | 2x | 3 | 3-4 ^e pijp | 14 |
| E Brassitrel pro | 2x | 4 | 3-4 ^e pijp | 14 |
| F Epso Top | 2x | 10 | 3-4 ^e pijp | 14 |

Tabel 3. Samenstelling gebruikte meststoffen

| | Object | N | K ₂ O | MgO | SO ₃ | Mn | B | Mo | CaO |
|---|-----------------|--------|------------------|---------|-----------------|--------|--------|-------|---------|
| B | Bladkali TS | | 25% | | 42% | | | | |
| C | Mantrac Pro | | | | | 27,40% | | | |
| D | Foliplus Borium | | | | | | 11% | | |
| E | Brassitrel pro | 69 g/L | | 118 g/L | | 70 g/L | 90 g/L | 4 g/L | 125 g/L |
| F | Epsotop | | | 16% | 32,50% | | | | |

Tabel 4. Hoeveelheden bladmeststoffen in kg per ha

| | Object | N | K ₂ O | MgO | SO ₃ | Mn | B | Mo | CaO |
|---|-----------------|------|------------------|------|-----------------|------|------|------|------|
| B | Bladkali TS | | 3.75 | | 6.30 | | | | |
| C | Mantrac Pro | | | | | 0.55 | | | |
| D | Foliplus Borium | | | | | | 0.66 | | |
| E | Brassitrel pro | 0.55 | | 0.94 | | 0.56 | 0.72 | 0.03 | 1.00 |
| F | Epsotop | | | 3.20 | 6.50 | | | | |

RESULTATEN

Er zijn geen significante verschillen in opbrengsten tussen de objecten met bladmeststoffen en de referentie zonder additionele bladmeststoffen (tabel 4). Gedurende het seizoen zijn eveneens geen verschillen in gewas waargenomen (gewasstand, kleur van het gewas, ontwikkeling). Op basis van de analyse en de adviezen van Eurofins zou een effect van Zn en Mn-besputtingen kunnen worden verwacht. Ook andere, in de praktijk veel gebruikte bladmeststoffen, hebben niet geleid tot meeropbrengst. Dat was op basis van de bodemanalyse ook niet te verwachten. De resultaten laten zien dat er geen verschil in opbrengst is tussen de behandelingen (CV = 3,9%; F-prob = 0,371).

Tabel 4. Bruto opbrengst in kg/ha

| Objecten | Bruto opbrengst (kg/ha) | Relatief |
|-----------------|-------------------------|----------|
| Onbehandeld | 101.571 | 100 |
| Bladkali | 96.429 | 95 |
| Mantrac Pro | 101.133 | 100 |
| Foliplus Borium | 102.117 | 101 |
| Brassitrel Pro | 101.742 | 100 |
| Epsa Top | 101.296 | 100 |

PRAKTIJKPROEF BLADMESTSTOFFEN EN ADVIEZEN IN ZOMERGERST

In deze proef zijn een aantal in de praktijk regelmatig gebruikte bemestingstoepassingen en adviezen voor mangaanbemesting in zomergerst vergeleken met de adviezen in het Handboek Bodem en bemesting. Het advies is voor zandgrond gebaseerd op de pH-CaCl₂ van 5,6 (tabel 5). Naast mangaan bevatten een aantal veel toegepaste meststoffen ook andere sporenelementen. De basisbemesting is uitgevoerd met kunstmest, totaal 85 kg N/ha in de vorm van KAS en 120 kg K₂O in de vorm van Kali-60. Er is geen organische mest toegepast.

De proef is aangelegd in een praktijkperceel met zomergerst in Wedde (het Noordoostelijk zand-/dalgrondgebied, tabel 6) met 3 objecten in 3 herhalingen. In tabel 8 zijn de objecten weergegeven en de toepassingsdata. Er zijn stroken uitgezet waar de diverse behandelingen zijn toegepast.

De gebruikte bladmeststoffen zijn Mantrac 500 en Gramitel. Mantrac 500 is een bladmeststof welke 500 g/l mangaan bevat in de vorm van mangaancarbonaat. Het product zelf heeft een pH van 9. Gramitrel is een bladmeststof welke diverse elementen bevat, namelijk: 64 g/l Stikstof (N), 250 g/l Magnesium (Mg), 50 g/l Koper (Cu), 150 g/l Mangaan (Mn) en 80 g/l Zink (Zn).

Tabel 5. Bodemanalyse proeflocatie zomergerst, Wedde.

| | |
|--------------------------------|---|
| Datum: | 21-12-2016 |
| N-leverend vermogen | 60 kg N/ha |
| S-leverend vermogen | 8 kg S/ha |
| P-beschikbaar P-PAE | 1,7 mg P/kg |
| P-bodemvoorraad P-Al | 53 mg P ₂ O ₅ /100g |
| Pw | 42 mg P ₂ O ₅ /l |
| K-beschikbaar K-PAE | 55 mg K/kg |
| K-getal | 12 |
| K-bodemvoorraad | 2,2 mmol+/kg |
| Mg-beschikbaar | 77 mg Mg/kg |
| Zuurgraad pH-CaCl ₂ | 5,6 |
| Organische stof | 5,5 % |

Tabel 6. Proefopzet, toedieningsmomenten en hoeveelheden proef bladmeststoffen in zomergerst

| Object | Op basis van advies: | | Meststof | Dosering | Moment van toediening | Opmerkingen |
|--------|-----------------------------|--|-------------|----------|---------------------------|--|
| A | Handboek Bodem en bemesting | Bij een pH > 5,4 neemt de kans op mangaangebrek toe en bij een pH > 6,2 treedt vrijwel altijd mangaangebrek op. Spuiten bij zichtbaar gebrek | Geen | | Op 24-5-2019 en 13-7-2019 | pH-CaCl ₂ perceel 5.6, geen gebrek waargenomen dus geen toediening. |
| B | Kosten meststof | Spuiten bij pH > 5,4 | Mantrac 500 | 1 L/ha | Op 24-5-2019 en 13-7-2019 | |
| C | Veel geadviseerd | Standaard Mangaan toepassen | Gramitreel | 1 L/ha | Op 24-5-2019 en 13-7-2019 | |

Tabel 6.a. Hoeveelheden bladmeststoffen in grammen per ha

| Object | N | Mn | MgO | Zn | Cu |
|---------------|---|------|-----|-----|-----|
| A Onbehandeld | - | - | - | - | - |
| B Mantrac | - | 1000 | - | - | - |
| C Grammitrel | - | 300 | 500 | 160 | 100 |

CRITERIA

Het advies uit het Handboek Bodem en bemesting luidt als volgt:

“Geadviseerd wordt om het gewas altijd goed te volgen. Als Mn-gebreksverschijnselen optreden, voer dan een bespuiting uit met mangaan- of mangaanhoudende meststoffen en herhaal dit één of twee keer met een tussenpoos van een paar weken. De hoogte van de mangaandosering kan per product verschillen, onder andere afhankelijk van de formulering van het product (bijv. mangaannitrat en mangaancarbonaat). Zie de adviesdoseringen op het etiket.

Als er sprake is van lichte gebreksverschijnselen door droogte, zullen die verdwijnen na een regenbui of beregening en hoeft u niet te spuiten.”

In de proef zijn gedurende het seizoen geen zware gebreksverschijnselen waargenomen. Daarom is gekozen om in het object ‘Handboek’ geen mangaan toe te dienen.

Het criterium dat door adviseurs van Delphy Akkerbouw Noordoost wordt gehanteerd om mangaan toe te passen in zomergerst is de pH. Mangaanbemesting wordt geadviseerd bij een pH-CaCl₂ hoger dan 5,4. Daarbij is gekozen voor een basis en tevens goedkope mangaanmeststof, Mantrac 500.

In de praktijk wordt vaak standaard toediening van mangaanmeststof geadviseerd. Een veel geadviseerde meststof is Gramitrel, die naast mangaan ook andere elementen bevat.

RESULTAAT EN CONCLUSIES

Door overmatige legering is één herhaling niet meegenomen in de resultaten. De resultaten (tabel 7) zijn dus gebaseerd op een tweevoudige opbrengstbepaling. Op dit perceel heeft het toedienen van mangaan op het gewas zomergerst geen meerwaarde gehad. Het advies uit het Handboek Bodem en Bemesting was hier toereikend.

Tabel 7. Resultaten van praktijkproef Bladmeststoffen en adviezen in zomergerst

| Object | Opbrengst (kg/ha) |
|---------------------|-------------------|
| Advies van Handboek | 7129 |
| Basis Mn meststof | 7210 |
| Veel geadviseerd | 7143 |
| | |
| Gemiddelde | 7161 |
| | |
| F.prob | 0,14 |
| Lsd | 108 |

Ervaringen in de praktijk: Oorzaken moeilijk te onderscheiden

Adviseurs van Delphy in de regio's West-, Zuid-, Oost- en Noord-Nederland ervaren geen recente afname in de beschikbaarheid van sporenelementen. Ook wordt er geen toename van gebreksymptomen waargenomen, behalve in droge zomers. Waar op basis van de bodemanalyse een

gebrek wordt verwacht zien we dat in de praktijk vaak niet terug, zoals Mn-, Zn- en Mo-gebrek op veengronden en gronden met een hoog organische stofgehalte. Dat is mogelijk te verklaren doordat op de meeste percelen dierlijke mest wordt toegediend maar dat geldt niet overal. Daar komt bij dat een waargenomen gebrek verschillende oorzaken kan hebben; het weer, en dan vooral droogte kan de oorzaak zijn van de beperkte beschikbaarheid; een beperkte *hoeveelheid* in de bodem kan de oorzaak zijn maar een beperkte *beschikbaarheid* in de bodem net zo goed.

De pH is van invloed op de beschikbaarheid voor het gewas wat betreft alle onderzochte sporenelementen. Een hogere pH-CaCl₂ (>6) betekent vaak een mindere beschikbaarheid aan het gewas. Molybdeen is hierop een uitzondering, met een toenemende beschikbaarheid bij een toenemende pH. Hoewel de samenstelling van dierlijke mest door de jaren heen is veranderd, is de ervaring van Delphy adviseurs dat gebruik van dierlijke mest, wat op de meeste akkerbouwbedrijven het geval is, meestal voldoende aanvoer van sporenelementen geeft om gebrekssymptomen te voorkomen.

10. Conclusie

Een samenvatting van het literatuuronderzoek naar sporenelementen in relatie tot de huidige adviesbasis bodem en bemesting is weergegeven in bijlage 3.

Zowel uit het literatuuronderzoek als uit praktijkervaringen blijkt dat de adviezen uit het handboek in de basis nog actueel zijn maar ook op een aantal punten kunnen worden uitgebreid of aangepast. Een punt van aandacht is dat de huidige adviezen voor sporenelementen in het Handboek zijn gebaseerd op analysemethoden die nu niet of nauwelijks meer worden gebruikt. Dit vraagt om aanpassing en herijking van een aantal adviezen.

Voor ijzer is op dit moment geen bemestingsadvies en dit lijkt ook niet nodig. Voor molybdeen is ook geen bemestingsadvies beschikbaar en om deze te maken is onderzoek nodig naar molybdeengebrek in de praktijk, vooral bij vlinderbloemigen. De praktische noodzaak hiervoor is niet groot gezien het feit dat molybdeengebrek weinig lijkt voor te komen eigenlijk alleen bij een lage pH en niet bij pH's die in de akkerbouw normaal zijn. Een gebrek is te voorkomen door het handhaven van een voldoende hoge pH volgens advies. Voor zink is ook geen advies opgenomen in het Handboek. Gezien het regelmatig gebruik van organische mest in de akkerbouw wordt voldoende zink aangevoerd om tekorten te voorkomen. Daarmee is het praktische nut om een advies te ontwikkelen gering.

Voor sporenelementen kan een tekort het gevolg zijn van een te lage hoeveelheid in de bodem óf van een te lage beschikbaarheid van het aanwezige element voor een groeiend gewas. Voor sporenelementen zijn een aantal overkoepelende aspecten sturend voor de beschikbaarheid:

- De zuurgraad van de bodem (pH) is van grote invloed op de beschikbaarheid van sporenelementen. Een hogere bodem-pH – meer basische omstandigheden – resulteert in lage tot zeer lage beschikbaarheid van Mn, B, Cu, Zn en Fe. Molybdeen is hierop een uitzondering, hiervan neemt de beschikbaarheid juist sterk toe bij pH-CaCl₂ > 5. Vanuit een landbouwkundig perspectief is bekalken voor een juiste bodem pH essentieel. Voor de beschikbaarheid van sporenelementen wordt aanbevolen om het advies te volgen en niet meer te bekalken dan nodig.

- Organische stof is belangrijk voor de binding van de meeste sporenelementen in de bodem, en daarmee voor de beschikbaarheid. Een hoog organische stofgehalte kan door de sterke binding echter ook zorgen voor tekorten (bijv. Mn-tekort, 'veenkoloniale haverziekte').
- Het weer is van grote invloed, vooral omdat droogte de beschikbaarheid beperkt. Dat blijkt ook uit praktijkervaringen; tijdens droge perioden worden meer gebrekssymptomen waargenomen. Zeer natte omstandigheden kunnen echter ook leiden tot toxiciteitsproblemen van mangaan en gebrek aan borium. Het wordt aanbevolen om het bemestingsadvies voor sporenelementen uit te breiden met een weermodule.
- Dierlijke mest als basisbemesting zorgt voor een voldoende hoge aanvoer van sporenelementen. Bijbemesting met sporenelementen heeft niet per definitie een meerwaarde. In de praktijk is de ervaring dat meer bijbemesting met sporenelementen plaatsvindt dan nodig.

Aanpassingen adviezen Handboek bodem en bemesting

De huidige adviezen, te vinden op www.handboekbodemenbemesting.nl zijn voor een aantal sporenelementen niet meer actueel. Dit wordt grotendeels veroorzaakt door het feit dat de adviezen in het Handboek zijn gebaseerd op analysemethoden die tegenwoordig niet of nauwelijks meer worden gebruikt. Bijlage 4 is gebaseerd op de analyse van het proefveld waar de aardappelproef is uitgevoerd en illustreert de verschillen tussen het Handboek en de analyse en adviezen van Eurofins. Op basis van dit rapport doen we de aanbeveling om de adviezen van mangaan, borium en koper te wijzigen. Hieronder wordt per element beschreven hoe we dat voorzien.

MANGAAN

Mangaanadvisering in het Handboek is opgesplitst in een advies voor zandgrond en voor kleigrond:

- Zandgrond: Het advies is gebaseerd op pH van de grond, niet op basis van een Mn-bepaling van de grond. Op basis van de gevonden literatuur en praktijkervaringen is er geen reden om dit advies te wijzigen.
- Kleigrond: Op zeelegrond kan grondonderzoek een aanwijzing geven of mangaangebrek te verwachten is in gevoelige gewassen: granen, aardappelen, bieten, bonen en erwten. In het Handboek worden kritische gehalten genoemd, afhankelijk van het percentage organische stof (meer of minder dan 2.5%). Dit advies is gebaseerd op grondonderzoek op basis van een extractiemethode die niet meer wordt uitgevoerd. Eurofins analyseert de plant-beschikbare hoeveelheid mangaan op basis van een extractie met 0.01M CaCl₂ (PAE®). Bij pH -CaCl₂ > 6 is Mn-CaCl₂ niet zinvol omdat deze te laag is om te kunnen meten. Bij pH-CaCl₂ < 6 is Mn-CaCl₂ wel een geschikte indicator voor de beschikbaarheid van Mn voor het gewas, maar dergelijke lage pH-waarden komen niet of nauwelijks voor op zeelegronden.
Voorstel is om advies op basis van grondonderzoek uit het Handboek te verwijderen en het advies te baseren op de pH-CaCl₂ van de grond, vochttoestand van de grond en gewasmonitoring, met name de meest gevoelige gewassen. Het Beslisschema mangaan moet hierop worden aangepast.
- Voor het vaststellen van mangaangebrek in een vroeg stadium zijn simpele meters beschikbaar, die in het veld direct op het blad Mn-deficiëntie kunnen meten (obv chlorophyll a fluorescence, Maarschalkwerd en Husted, 2015 en Pedas et al., 2014). Deze informatie

zou toegevoegd kunnen worden aan het Mn-advies in het Handboek. Ook kan het mangaangehalte worden via droge stof of bladsanalyses.

BORIUM

Het advies in het Handboek is gebaseerd op grenswaarden, op basis van mengen van 1 gewichtsdeel grond en 10 volumedelen water en koken gedurende 10 minuten. Eurofins bepaalt de plant-beschikbare hoeveelheid borium op basis van CCL3(PAE®). De grenswaarden in het Handboek zijn hierop niet van toepassing.

Voorstel is om het advies in het Handboek te vervangen door een advies gebaseerd op analyse met CaCl₂, op voorwaarde dat de grenswaarden voor het advies worden onderbouwd. Dit betekent dat er een nieuwe waarderingstabel voorborium moet komen (vervanging huidige tabel 7.1 in het Handboek). Het huidige beslisschema kan worden gehandhaafd (figuur 3).

Het advies in het Handboek geldt alleen voor bieten, maïs, luzerne, koolrapen, knolselderij, bloemkool, broccoli en peen (andere gewassen niet met borium bemesten). Naar aanleiding van de literatuurstudie komen ook peulvruchten naar voren als borium gevoelige gewassen. Het is te overwegen om peulvruchten te noemen bij de gevoelige gewassen.

Beslisschema boriumbemesting



Figuur 3. Beslisschema voor boriumbemesting, Handboek bodem en bemesting.

KOPER

Het koperadvies in het Handboek is gebaseerd op grenswaarden, op basis van extractie na mengen van 1 gewichtsdeel grond en 10 gewichtsdelen extractievloeistof (0,43 N HNO₃). Eurofins bepaalt de plant-beschikbare hoeveelheid Cu op basis van CCL3(PAE®). De grenswaarden in het Handboek zijn hierop niet van toepassing. De extractiemethode gebaseerd op 0,01M CaCl₂ onttrekt slechts

ongeveer 1% van het in de bodem aanwezige reactieve Cu. Door de sterke associatie met organische stof is er echter een redelijk goede relatie tussen Cu-CaCl₂ en Cu-HNO₃.

Voorstel: Huidige advies in het Handboek te vervangen door een advies gebaseerd op analyse met CaCl₂, op voorwaarde dat de grenswaarden voor het advies worden onderbouwd.

Het huidige koperadvies geldt alleen voor tarwe en haver. Voor granen is meer onderzoek nodig naar het Cu-gehalte, met name op zand- en dalgronden. Het zou goed zijn om te onderzoeken of het advies moet worden uitgebreid voor suikerbieten, spinazie, luzerne, sla en ui omdat dit gewassen zijn met een hoge Cu-behoefte.

ZINK

De ontwikkeling van een advies voor gewassen met een hoge Zn-behoefte lijkt gewenst in situaties waar gebruik van dierlijke mest beperkt is. Maïs, peulvruchten, bonen en uien zouden in aanmerking kunnen komen voor een Zn-advies. Voor situaties waarin regelmatig organische mest wordt gebruikt is een zinkadvies niet nodig.

11. Literatuur

- Anderson JA (1956) Molybdenum deficiencies in legumes in Australia. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization.
- Anonymus (2003a) Mangaangebreek gerst sterk ras-gebonden. Boerderij/akkerbouw 26, 3.
- Anonymus (2003b) Mangaangebreek in graan. Boerderij 29, 31.
- Barber SA (1995) Soil nutrient bioavailability – a mechanistic approach, 2nd edition. John Wiley and Sons Inc.
- Bibak A & Borggaard OK (1994) Molybdenum adsorption by aluminum and iron oxides and humic acid. Soil Science 158, 323-328.
- Brennan RF, Armour JD & Reuter DJ (1993) Diagnosis of zinc deficiency. In: Robson AD (ed.) Zinc in plants and soils. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Broadley M, Brown P, Cakmak I, Rengel Z, Zhao F (2012) Function of nutrients: micronutrients. In: Marschner's mineral nutrition of higher plants. Elsevier Ltd, London pp, pp 191–248
- Brolsma, K (2019), Plantbeschikbaar koper en zink in de Nederlandse landbouwbodem (2007 t/m 2018).
- De Vries, O and FJA Dechering, 1960 Grondonderzoek 4^e druk, Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek Mariëndaal-Oosterbeek
- Duffner A (2014) Chemical and biological rhizosphere interactions in low zinc soils, PhD thesis, Wageningen University, Wageningen NL, ISBN 978-94-6257-163-1, 131 pages.
- Duffner, A., Hoffland, E., Weng, L. et al. Predicting zinc bioavailability to wheat improves by integrating pH dependent nonlinear root surface adsorption. Plant Soil 373, 919–930 (2013). <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1845-3>
- Fageria NK, VC Baligar, RB Clark (2002) Micronutrients in crop production. Advances in Agronomy volume 77
- Fernando DR, SJ Moroni BJ Scott, MK Conyers, JP. Lynch, AT Marshalle (2016) Temperature and light drive manganese accumulation and stress in crops across three major plant families. Environmental and Experimental Botany, Volume 132 Pages 66-79.
- Hamnér, K., Kirchmann, H. Trace element concentrations in cereal grain of long-term field trials with organic fertilizer in Sweden. Nutr Cycl Agroecosyst 103, 347–358 (2015). <https://doi.org/10.1007/s10705-015-9749-7>
- Hemel S. en N. Klijn (2017) Bodem in zicht; duurzaam en circulair beheer van de Nederlandse bodemkwaliteit. Een studie uitgevoerd voor het “Dutch Biorefinery Cluster” (DBC).
- V.J.G. Houba, E.J.M. Temminghoff, G.A. Gaikhorst & W. van Vark (2000) Soil analysis procedures using 0.01 M calcium chloride as extraction reagent, Communications in Soil Science and Plant Analysis, 31:9-10, 1299-1396, DOI: 10.1080/00103620009370514
- Kabata-Pendias A & H Pendias (2001) Trace elements in Soils and Plants. Third Edition. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Klein, J, G. Roskam, 2017 Zwarte metalen in dierlijke mest in 2017. Deltares rapport

- Lehr, J., & Henkens, C. (1962). Invloed van bekalking van humeuze op de oplosbaarheid van borium. Overdruk uit het Landbouwkundig Tijdschrift 74^{ste} jaargang nummer 9
- Li, R. & U.C. Uptá (1991) Extraction of soil B for predicting its availability to plants. *Communications in Soil Science and Plant analytics*. 22: 1003-1012
- Lindsay, WL, (1979). *Chemical Equilibria in Soils*. Wiley, New York. Ma, QY
- Lindsay WL (1972) Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In: Mortvedt JJ, Giordano PM & Lindsay WL (eds.) *Micronutrients in agriculture*. Soil Science Society America Inc., Madison, Wisconsin, 41-58.
- Loneragan J.F., Webb M.J. (1993) Interactions Between Zinc and Other Nutrients Affecting the Growth of Plants. In: Robson A.D. (eds) *Zinc in Soils and Plants*. *Developments in Plant and Soil Sciences*, vol 55. Springer, Dordrecht
- Marschner H (1995) *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, London.
- Marschner H (1993) Zinc uptake from soils. Chapter 5 in *Zinc in soils and plants* ed. AD Robson Kluwer academic publishers.
- Mengel K & Kirkby EA (1987) *Principles of plant nutrition*. Fourth edition, International Potash Institute, Bern, Switzerland, 687 pp.
- Mulder, A; LJ Turkensteen, WS Veldman (2013) Effecten van zwavel borium en mangaan bemesting op zetmeelaadappelen. Eindrapport over de jaren 2011 en 2012. HLB BV.
- Ortega-Blu, R, M. Molina (2007) Comparison between sulfates and chelated compounds as sources of zinc and iron in calcareous soils. *Agrociencia* 41(5):491-502
- Pedás P, CK Ytting, AT Fuglsang, TP Jahn, JK Schjoerring and S Husted (2008) Manganese Efficiency in Barley: Identification and Characterization of the Metal Ion Transporter HvIRT1. *American Society of Plant Biologists, Plant Physiology* vol. 148 no 1 pp455-466
- Pedás P, S B Schmidt, K H Laursen, S Husted (2014) Chlorophyll a Fluorescence - a Novel Tool for Diagnosis of Manganese Deficiency in Crops. *International Fertilizer Society - Proceeding* 756
- Rietra R.P.J.J., P.F.A.M. Römken, J. Japenga, 2004. Cadmium en zink in de bodem en landbouwgewassen in de Kempen; Onderzoek naar relatie tussen cadmium en zinkgehalte in de bodem en in het gewas in de gemeente Cranendonck. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 974. 72 blz.; 10 fig.; 12 tab.; 14.. ref
- Römken, P.F.A.M. & R.P.J.J. Rietra, 2008. Zware metalen en nutriënten in dierlijke mest in 2008; Gehalten aan Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, As, N en P in runder-, varkens- en kippenmest. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1729. 38 blz.; 6 fig.; 4 tab.; 17 ref.
- Ros GH en DJ den Boer (2011) Notitie betreffende het belang van borium in maïs, Nutriënten Management Instituut (NMI), Wageningen Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen.
- Terrones Cano, CA and S Supriatin (2015) progress report STW project - Micronutrient Management for Sustainable Agriculture and Environment- A New Innovative Approach. Wageningen University
- Van Driel W and Smilde KW (1990) Micronutrients and heavy metals in Dutch agriculture. *Fertilizer research* Volume 25, Issue 2, pp 115–126
- Van Rotterdam AMD, DW Bussink (2016) Advances in micronutrient fertilization recommendations. Nutriënten Management Instituut, NMI rapport 1323.N.16

Velthof GL & Van Erp PJ (1998) Behoeftte aan spoorelementen in de akkerbouw. NMI-verslag C 213, 40 pp.

Wattel-Koekoek EJW & Postma R (2003) Bladbemesting. NMI verslag 225.01.

Wattel-Koekoek, EJW and DW Bussink (2011) Beschikbaarheid van spoorelementen in de bodem. NMI-rapport 925.03. Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen.

Welch RM, Allaway WH, House WA & Kubota J (1991) Geographic distribution of trace element problems. In: Mortvedt JJ, Cox FR, Shuman LM & Welch RM (eds.) Micronutrients in agriculture. 2^e editie. SSSA book series 4. Soil Science Society of America, Madison, WI. Weng L, Temminghoff EJM, Van Riemsdijk WH (2001) Contribution of individual sorbents to the control of heavy metal activity in sandy soil. Environ Sci Technol 35: 4436-4443

12. Bijlagen: Samenvatting, naslag- en overzichtstabellen per element

Bijlage 1. Bodemanalyse bij aardappelproef in Colijnsplaat, analyse voorjaar 2019

| Resultaat | Eenheid | Resultaat | Streeftraject | laag | vrij laag | goed | vrij hoog | hoog |
|------------------------|------------------------|-----------|---------------|-------------|-----------|------|-----------|------|
| Chemisch | N-totale bodemvoorraad | kg N/ha | 3050 | 3270 - 5150 | | | | |
| | C/N-ratio | | 9 | 13 - 17 | | | | |
| | N-leverend vermogen | kg N/ha | 60 | 95 - 145 | | | | |
| S-plantbeschikbaar | kg S/ha | 14 | 20 - 30 | | | | | |
| S-totale bodemvoorraad | kg S/ha | 665 | 780 - 1825 | | | | | |
| C/S-ratio | | 42 | 50 - 75 | | | | | |
| S-leverend vermogen | kg S/ha | 13 | 20 - 30 | | | | | |
| P-plantbeschikbaar | kg P/ha | 1,9 | 5,7 - 9,5 | | | | | |
| P-bodemvoorraad | kg P/ha | 765 | 375 - 650 | | | | | |
| K-plantbeschikbaar | kg K/ha | 215 | 220 - 350 | | | | | |
| K-bodemvoorraad | kg K/ha | 545 | 410 - 570 | | | | | |
| Ca-plantbeschikbaar | kg Ca/ha | 155 | 230 - 535 | | | | | |
| Ca-bodemvoorraad | kg Ca/ha | 8850 | 7095 - 10645 | | | | | |
| Mg-plantbeschikbaar | kg Mg/ha | 165 | 160 - 270 | | | | | |
| Mg-bodemvoorraad | kg Mg/ha | 295 | 295 - 595 | | | | | |
| Na-plantbeschikbaar | kg Na/ha | 65 | 110 - 160 | | | | | |
| Na-bodemvoorraad | kg Na/ha | 50 | 75 - 110 | | | | | |
| Si-plantbeschikbaar | g Si/ha | 110220 | 19060 - 82610 | | | | | |
| Fe-plantbeschikbaar | g Fe/ha | < 6420 | 7940 - 14300 | | | | | |
| Zn-plantbeschikbaar | g Zn/ha | 410 | 1590 - 2380 | | | | | |
| Mn-plantbeschikbaar | g Mn/ha | < 790 | 3180 - 4130 | | | | | |
| Cu-plantbeschikbaar | g Cu/ha | 100 | 125 - 205 | | | | | |
| Co-plantbeschikbaar | g Co/ha | < 10 | 15 - 25 | | | | | |
| B-plantbeschikbaar | g B/ha | 675 | 320 - 475 | | | | | |
| Mo-plantbeschikbaar | g Mo/ha | 20 | 320 - 15890 | | | | | |
| Se-plantbeschikbaar | g Se/ha | 11 | 11 - 14 | | | | | |

Bijlage 2. Bodemanalyse bij uienproef in Wijnandsrade, analyse voorjaar 2019

| Resultaat | Eenheid | Resultaat | Streeftraject | laag | vrij laag | goed | vrij hoog | hoog |
|---------------------|------------------------|-----------|---------------|--|---|------|-----------|------|
| Chemisch | N-totale bodemvoorraad | kg N/ha | 3990 | 3070 - 4300 | [Bar chart: 3990 is between 3070 and 4300] | | | |
| | C/N-ratio | | 11 | 13 - 17 | [Bar chart: 11 is below 13] | | | |
| | N-leverend vermogen | kg N/ha | 70 | 95 - 145 | [Bar chart: 70 is below 95] | | | |
| | S-plantbeschikbaar | kg S/ha | 104 | 20 - 30 | [Bar chart: 104 is above 30] | | | |
| | S-totale bodemvoorraad | kg S/ha | 555 | 615 - 985 | [Bar chart: 555 is below 615] | | | |
| | C/S-ratio | | 82 | 50 - 75 | [Bar chart: 82 is above 75] | | | |
| | S-leverend vermogen | kg S/ha | 7 | 20 - 30 | [Bar chart: 7 is below 20] | | | |
| | P-plantbeschikbaar | kg P/ha | 8,0 | 5,5 - 9,2 | [Bar chart: 8,0 is between 5,5 and 9,2] | | | |
| | P-bodemvoorraad | kg P/ha | 470 | 270 - 415 | [Bar chart: 470 is above 415] | | | |
| | K-plantbeschikbaar | kg K/ha | 340 | 215 - 340 | [Bar chart: 340 is at the upper limit of 215 - 340] | | | |
| | K-bodemvoorraad | kg K/ha | 360 | 300 - 435 | [Bar chart: 360 is between 300 and 435] | | | |
| | Ca-plantbeschikbaar | kg Ca/ha | 640 | 220 - 515 | [Bar chart: 640 is above 515] | | | |
| | Ca-bodemvoorraad | kg Ca/ha | 4925 | 3915 - 5875 | [Bar chart: 4925 is between 3915 and 5875] | | | |
| | Mg-plantbeschikbaar | kg Mg/ha | 355 | 155 - 260 | [Bar chart: 355 is above 260] | | | |
| | Mg-bodemvoorraad | kg Mg/ha | 310 | 190 - 460 | [Bar chart: 310 is between 190 and 460] | | | |
| | Na-plantbeschikbaar | kg Na/ha | 170 | 110 - 155 | [Bar chart: 170 is above 155] | | | |
| | Na-bodemvoorraad | kg Na/ha | 35 | 70 - 105 | [Bar chart: 35 is below 70] | | | |
| | Si-plantbeschikbaar | g Si/ha | 95600 | 18440 - 79900 | [Bar chart: 95600 is above 79900] | | | |
| Fe-plantbeschikbaar | g Fe/ha | < 6210 | 7680 - 13830 | [Bar chart: < 6210 is below 7680] | | | | |
| Zn-plantbeschikbaar | g Zn/ha | 550 | 1540 - 2300 | [Bar chart: 550 is below 1540] | | | | |
| Mn-plantbeschikbaar | g Mn/ha | 1780 | 6150 - 9530 | [Bar chart: 1780 is below 6150] | | | | |
| Cu-plantbeschikbaar | g Cu/ha | 130 | 125 - 200 | [Bar chart: 130 is between 125 and 200] | | | | |
| Co-plantbeschikbaar | g Co/ha | 10 | 15 - 25 | [Bar chart: 10 is below 15] | | | | |
| B-plantbeschikbaar | g B/ha | 695 | 305 - 460 | [Bar chart: 695 is above 460] | | | | |
| Mo-plantbeschikbaar | g Mo/ha | < 10 | 310 - 15360 | [Bar chart: < 10 is below 310] | | | | |
| Se-plantbeschikbaar | g Se/ha | 14 | 11 - 14 | [Bar chart: 14 is at the upper limit of 11 - 14] | | | | |
| Fysisch | Zuurgraad (pH) | | 6,1 | 6,6 - 6,8 | [Bar chart: 6,1 is below 6,6] | | | |
| | C-organisch | % | 1,5 | | [Bar chart: 1,5 is below 2,7] | | | |
| | Organische stof | % | 2,7 | | [Bar chart: 2,7 is between 0,45 and 0,55] | | | |
| | C/OS-ratio | | 0,56 | 0,45 - 0,55 | [Bar chart: 0,56 is above 0,55] | | | |
| | Koolzure kalk | % | < 0,2 | 2,0 - 3,0 | [Bar chart: < 0,2 is below 2,0] | | | |
| | Klei (<2 µm) | % | 12 | | [Bar chart: 12 is below 47] | | | |
| | Silt (2-50 µm) | % | 47 | | [Bar chart: 47 is between 38 and 26] | | | |
| | Zand (>50 µm) | % | 38 | | [Bar chart: 38 is below 26] | | | |
| | Slib (<16 µm) | % | 26 | | [Bar chart: 26 is below 88] | | | |
| | Klei-humus (CEC) | mmol+/kg | 97 | > 88 | [Bar chart: 97 is between > 88 and > 95] | | | |
| | CEC-bezetting | % | 94 | > 95 | [Bar chart: 94 is between 80 and 90] | | | |
| | Ca-bezetting | % | 82 | 80 - 90 | [Bar chart: 82 is between 6,0 and 10] | | | |
| Mg-bezetting | % | 8,6 | 6,0 - 10 | [Bar chart: 8,6 is between 2,0 and 5,0] | | | | |
| K-bezetting | % | 3,1 | 2,0 - 5,0 | [Bar chart: 3,1 is between 1,0 and 1,5] | | | | |
| Na-bezetting | % | 0,5 | 1,0 - 1,5 | [Bar chart: 0,5 is below 1,0] | | | | |
| H-bezetting | % | < 0,1 | < 1,0 | [Bar chart: < 0,1 is below 1,0] | | | | |
| Al-bezetting | % | < 0,1 | < 1,0 | [Bar chart: < 0,1 is below 1,0] | | | | |

| Resultaat | Eenheid | Resultaat | Streeftraject | laag vrij laag goed zeer goed | | | |
|---------------------|-------------------------------|-----------|---------------|-------------------------------|-----------|------|-----------------|
| | | | | laag | vrij laag | goed | zeer goed |
| Verkruijmelbaarheid | rapportcijfer | 8,5 | 6,0 - 8,0 | ████████████████████ | | | |
| Verslemping | rapportcijfer | 3,8 | 6,0 - 8,0 | ██████████ | | | |
| Stuifgevoeligheid | rapportcijfer | 8,8 | 6,0 - 8,0 | ████████████████████ | | | |
| | Eenheid | Resultaat | Streeftraject | laag | vrij laag | goed | vrij hoog, hoog |
| Biologisch | Vochthoudend vermogenmm | 61 | | | | | |
| | Microbiële biomassa mg C/kg | 326 | 135 - 405 | ████████████████████ | | | |
| | Microbiële activiteit mg N/kg | 73 | 60 - 80 | ████████████████████ | | | |
| | Schimmel/bacterie-ratio | 1,0 | 0,6 - 0,9 | ████████████████████ | | | |

Bemestingsadviezen en wetgeving

De bemestingsadviezen streven een landbouwkundig optimale opbrengst en kwaliteit na. De adviezen houden geen rekening met restricties vanuit wetgeving. Wanneer u op bedrijfsniveau niet voldoende ruimte heeft, adviseren we de giften van de minst behoeftige gewassen te verminderen, overleg met uw adviseur.

Wetgeving Lever de resultaten van grondonderzoek ieder jaar opnieuw in voor 15 mei van het betreffende jaar. Dat kunt u doen op www.rvo.nl/aangifte. Voor dit perceel kunt u de volgende waarden doorgeven:
P-AI = 35 mg P₂O₅/100 g
Pw = 33 mg P₂O₅/l

| Advies in kg per ha per jaar | Frequentie | Gewas | Adviesgift | Afvoer |
|--|------------|---|------------|--------|
| Stikstof (N) | per jaar | Zaaiuien | 110 | |
| Sulfaat (SO ₃) | per jaar | Zaaiuien | 35 | 63 |
| Fosfaat (P ₂ O ₅) | per jaar | Zaaiuien | 65 | 35 |
| Kali (K ₂ O) | per jaar | Zaaiuien | 90 | 90 |
| Calcium (CaO) | per jaar | Zaaiuien | 95 | |
| Magnesium (MgO) | per jaar | Zaaiuien | 0 | |
| Zink (Zn) | per jaar | Zaaiuien | 1,0 | |
| Mangaan (Mn) | | Er is Mn-gebrek te verwachten. | | |
| Koper (Cu) | per jaar | Zaaiuien | 0 | |
| Borium (B) | per jaar | Zaaiuien | 0 | |
| Kalk (nw) | eenmalig | De kalkgift is gebaseerd op een optimale pH van 6,7 | | 2395 |
| Effectieve org. stof | per jaar | | 2315 | |

| Advies | | | |
|----------------|-----------------|----------|-----|
| Bodemstructuur | Calcium (CaO) | eenmalig | 250 |
| | Magnesium (MgO) | eenmalig | 0 |

Toelichting

De resultaten en/of het advies van dit bemestingsonderzoek kunt u t/m 2022 gebruiken. Laat het perceel daarna opnieuw bemonsteren. Dan krijgt u een betrouwbaar bemestingsadvies gebaseerd op de actuele bodemtoestand.

Stikstof:

Het N-advies betreft een gewasgericht jaargift. We adviseren deze N-gift - zo mogelijk - op te delen in meerdere giften. Of de vervolggift nodig is, kunt u tijdens het groeiseizoen laten controleren via ons BodemCheck onderzoek. In dit onderzoek wordt onder andere de plantbeschikbare (=minerale) N in de bodem gemeten.

Zwavel:

Zwavel (S) komt vrij bij de afbraak van organische stof of mest. Deze afbraak vindt plaats door bodemleven. Bodemleven is onder koudere omstandigheden niet erg actief. Vroeg in het voorjaar komt er derhalve weinig S vrij uit de bodem. Voor veel vroege gewassen kan het dan ook verstandig zijn om S te bemesten, zelfs al is de bodemvoorraad goed of hoog (overleg met uw adviseur).

Fosfaat:

De P-buffering is 13 . Het streeftraject ligt tussen de 17 - 27 De P-buffering geeft aan of de P-bodemvoorraad in staat is de P-plantbeschikbaar op het huidige peil te houden. Als de P-buffering laag is, dan zal de P-plantbeschikbaar tijdens het groeiseizoen niet op peil blijven en zal op termijn ook de P-bodemvoorraad terug gaan lopen.

Calcium:

Het calciumadvies is - afhankelijk van de bodemtoestand - deels gewasgericht en deels bodemgericht. Het gewasgerichte CaO-bemestingsadvies (direct onder het kali-advies) is voornamelijk bedoeld om de kwaliteit van gewassen te verbeteren. Het bodemgerichte advies is bedoeld om de bodemvoorraad van calcium op peil te brengen en zal daarnaast een positief effect hebben op de bodemstructuur (zie CEC-driehoek). Let op: mogelijk krijgt u ook een kalkgift geadviseerd. U hoeft niet meerdere keren calcium te geven; calcium uit stikstof-, fosfaat- en kalkmeststoffen dient u hierop in mindering te brengen.

Mangaan:

Het advies is om in de periode dat het gewas het snelst groeit een bladbemesting uit te voeren en dit na 2 weken te herhalen. De gewassen aardappelen, bieten, granen, erwten, uien, bonen, kool, wortelen, sla en koolzaad zijn het meest gevoelig voor mangaangebrek.

Bodemleven:

De biologische bodemvruchtbaarheid wordt nu weergegeven via 3 kengetallen, te weten de microbiële biomassa, de microbiële activiteit en de schimmel/bacterie-ratio. Op basis van de huidige kennis wordt een waardering gegeven die afhankelijk is van de hoeveelheid organische stof. Er wordt nu nog geen advies gegeven. Via diverse onderzoeksprojecten zal er meer informatie beschikbaar komen.

Bijlage 3. Samenvatting van de bevindingen sporenelementen in relatie tot het huidige advies en eventuele uitbreiding, op basis van literatuur

| | Mn | B | Cu | Zn | Mo | Fe |
|--|--|---|--|--|---|---|
| Meest bepalende factoren voor beschikbaarheid in de bodem voor het gewas: | Het oplossen en neerslaan van Mn-mineralen waarbij de oplosbaarheid wordt gedicteerd door pH en vochthuishouding (redox) | B is slechts zwak geadsorbeerd aan bodemdeeltjes. B spoelt gemakkelijk uit het bodemprofiel, vooral op zandgronden met een lage bindingscapaciteit (organische stofgehalte). B- beschikbaarheid is gevoelig voor droogte. | Cu wordt sterk gebonden aan organische stof. | Zn wordt gebonden aan kleimineralen, metaal(hydr)oxiden en organische stof. In zandgronden wordt de beschikbaarheid van Zn vooral bepaald door de binding aan het organische stof. De pH heeft een grote invloed op de Zn-beschikbaarheid. | Mo wordt gebonden aan, met name, ijzer- en aluminium(hydr)oxiden, andere bodembestanddelen zijn van geringere betekenis. In tegenstelling tot andere micronutriënten neemt de beschikbaarheid van Mo sterk toe boven pH 5. De waterhuishouding heeft een groot effect op de Mo-beschikbaarheid. | De lage beschikbaarheid van Fe staat in schril contrast met de totale hoeveelheid Fe dat aanwezig is in de bodem. De pH beïnvloedt de oplosbaarheid, adsorptie, ionvorm, en de mobiliteit. Planten kunnen een actieve rol spelen om de beschikbaarheid te verbeteren. |
| Het risico op gebrek is het grootst op: | Kalkrijke en/of organisch stofrijke gronden met een pH-CaCl ₂ > 6,2. Bij aanhoudend droog weer. | Zandgronden met een lage bindingscapaciteit (klei/humus complex). | Organisch stofrijke / veengronden door sterke binding - lage beschikbaarheid. Met name wanneer geen dierlijke mest wordt gebruikt. | Lage Zn-beschikbaarheid bij hoge bodem-pH of hoge kalkgiften. Risico op Zn-gebrek relatief klein in Nederland door gebruik van dierlijke mest en relatief zwakke binding aan klei-humuscomplex. | Minerale gronden met een pH - CaCl ₂ lager dan 5,5 en met een hoog gehalte aan Fe-(hydr)oxiden. Gewas heeft (zeer) weinig Mo nodig. Behoeft is het hoogst bij vlinderbloemigen. | Basische gronden, waaronder kalkrijke gronden omdat het beschikbaar Fe afneemt bij een hoge pH (pH-CaCl ₂ >7). Fe-gebrek is in Nederland van geringe betekenis. |
| Het risico op toxiciteit treedt op bij: | Percelen waar door bodemverdichting het water niet vrij kan draineren en de bodem verzadigd raakt met water verandert de redoxpotentiaal van de bodem en kan de beschikbaarheid van Mn sterk toenemen. | Te hoge B-giften. | | Te hoge Zn-giften. | Op percelen waar door bodemverdichting het water niet vrij kan draineren en de bodem verzadigd raakt met water verandert de redoxpotentiaal van de bodem en kan de beschikbaarheid van Mo sterk toenemen. | |
| Beschikbaarheid in relatie tot: | | | | | | |

| | | | | | | |
|---|---|--|---|---|--|--|
| - Zuurgraad | Afname beschikbaarheid met toename pH>6,2. | Afname beschikbaarheid met toename pH>6 en bij zeer lage pH<4. | Afname beschikbaarheid met toename pH. | Afname beschikbaarheid met toename pH. | Toename beschikbaarheid met toename pH. | Afname beschikbaarheid met toename pH. |
| | Mn | B | Cu | Zn | Mo | Fe |
| - Klei-humus complex | Afname beschikbaarheid door binding. | Toename beschikbaarheid omdat B wordt vastgehouden in de bodem. | | Afname beschikbaarheid door binding. | Weinig effect. | Weinig effect. |
| - Bekalking | Afname beschikbaarheid - sterk effect boven pH-CaCl ₂ 6,2. | Afname beschikbaarheid. | Afname beschikbaarheid. | Afname beschikbaarheid. | Toename beschikbaarheid. | Afname beschikbaarheid. |
| - Gereduceerde - zuurstofloze - omstandigheden door slechte drainage | Sterke toename beschikbaarheid (toxiciteit mogelijk). | | | | Sterke toename beschikbaarheid (toxiciteit mogelijk) | |
| Management | Bekalken en P-bemesting kunnen leiden tot een (sterke) afname in Mn-beschikbaarheid. Een goed gedraineerde bodem en het voorkomen van bodemverdichting zijn van belang om potentiële toxiciteitsproblemen te voorkomen. | Bodem-pH op orde houden. Niet te hoge kalkgift en niet te hoge B-giften. | Bekalken en P-bemesting kunnen leiden tot Cu-gebrek. Dierlijke mest, en met name varkensmest, is een belangrijke bron van Cu. | Bekalken, P-bemesting en een hoge fosfaattoestand van de bodem kunnen leiden tot een afname in Zn-beschikbaarheid. Dierlijke mest, en met name varkensmest, is een belangrijke bron van Zn. | Bodem-pH goed op orde houden om verzuring en lage Mo-beschikbaarheid te voorkomen. Bekalken is een effectieve methode om Mo-gebrek op te lossen en te voorkomen. Niet te hoge S-giften. Een goed gedraineerde bodem en het voorkomen van bodemverdichting zijn van belang om potentiële toxiciteitsproblemen te voorkomen. | Bekalken kan leiden tot een (sterke) afname in Fe-beschikbaarheid. |

Bijlage 4. Vergelijking analyse Eurofins met Handboek bodem en bemesting

| Proef consumptieaardappelen, locatie Rusthoeve, 2019 | | | | | | |
|--|---------------|-------------|-------------------------------------|------------------|------------|------------------|
| | | pH 7,6 | | | | |
| | | Zn | Mn | B | Fe | Cu |
| | Gehalte gr/ha | 410 | <790 | 675 | <6420 | 100 |
| | Gehalte ug/kg | 130 | <250 | 213 | <2020 | 31 |
| | Methode | CCL3(PAE®) | CCL3(PAE®) | CCL3(PAE®) | CCL3(PAE®) | CCL3(PAE®) |
| | Waardering | laag | laag | hoog | laag | vrij laag |
| | Gewassen | | | | | |
| Advies Eurofins | con.aard. | 0,5 kg | 2x bespuiting | 0 | g.a. | 0 |
| | suikerbieten | 0,5 kg | 2x bespuiting | 0 | g.a. | 0 |
| | granen | | 2x bespuiting | 0 | g.a. | |
| | wintertarwe | 0,5 kg | 2x bespuiting | 0 | g.a. | 3 |
| | erwten | | 2x bespuiting | 0 | g.a. | |
| | zaaiuien | 1,0 kg | 2x bespuiting | 0 | g.a. | 0 |
| | bonen | | 2x bespuiting | 0 | g.a. | |
| | kool | | 2x bespuiting | 0 | g.a. | |
| | wortelen | | 2x bespuiting | 0 | g.a. | |
| | graszaad | 0,5 kg | | 0 | g.a. | 0 |
| Handboek | | geen advies | zand: adhv pH zeeklei: gr. ond. | gevoelige gew. | n.v.t | grondonderzoek |
| | Methode | | spectrometrie | spectrometrie | | spectrometrie |
| | Waardering | | gehalte in mg/kg | gehalte in mg/kg | | gehalte in mg/kg |
| | Zeer laag | | | <0,20 | | < 3 |
| | Laag | | <60 (o.s <2,5%) <100 (o.s.>2,5%) | 0,20 - 0,29 | | 3-3,9 |
| | Vrij goed | | | 0,30-0,35 | | 4-9,9 |
| | Goed | | >60 (o.s <2,5%) >100 (o.s.>2,5%) | >0,35 | | >10 |

Bijlage 5. Overzichtstabel Mangaan

| Vraag | Huidig advies | Uitbreiding adviesbasis? |
|---|--|--|
| Is er een huidig advies? En is uitbreiding nodig? | Ja | Ja |
| Welke gewassen zijn gevoelig voor gebrek? | Apart benoemd worden: graan, aardappel, bieten, bonen en erwten | Mn gevoelige gewassen zijn: aardappelen, bieten, bonen, tarwe en haver, maar ook spinazie en sla hebben relatief grote hoeveelheden Mn nodig. Deens onderzoek toont aan dat gerstrassen verschillen in gevoeligheid voor Mn-deficiëntie (Pedas et al, 2008). Nederlands onderzoek bevestigt dit verschil tussen rassen voor aardappelen (Wattel-Koekkoek & Postma, 2003) en bieten (Anonymous, 2003d). |
| Rol in het gewas | In gewassen speelt Mn een belangrijke rol bij de productie van zuurstof tijdens de fotosynthese. De Mn-behoefte varieert sterk tussen de verschillende gewassen en zelfs tussen de verschillende variëteiten. | |
| Belangrijkste bodemprocessen bepalend voor beschikbaarheid | De beschikbaarheid van Mn in de bodem wordt grotendeels bepaald door het oplossen en neerslaan van Mn-mineralen. Dit is in tegenstelling tot andere (micro) nutriënten waar voornamelijk adsorptie / desorptie processen de beschikbaarheid bepalen. De oplosbaarheid van Mn-mineralen, en dus ook de beschikbaarheid van Mn voor de plant, wordt bepaald door de pH en redoxpotentiaal van de bodem. Mn-gebrek treedt meestal op op kalkhoudende bodems omdat bij hoge pH en redox omstandigheden Mn oxideert tot Mn (IV) en precipiteert in de vorm van zeer onoplosbare oxiden of carbonaten. Op zandgronden treedt geen Mn-gebrek op bij een pH-KCl lager dan 5,4. Daarentegen kwam Mn-gebrek wel voor op alle zandpercelen met een pH-KCl-waarde hoger dan 6,2. Bij een tussenliggende pH-KCl kwamen zowel niet als wel deficiënte percelen voor (De Vries en Dechering, 1960). Aanhoudend droog weer verhoogt de kans op Mn-gebrek, zelfs in bodems waar voldoende Mn potentieel beschikbaar is. Dit komt omdat Mn hoofdzakelijk door de plantenwortel door 'mass flow' wordt opgenomen en de oplosbare fractie met het water naar het worteloppervlak wordt getransporteerd. Door regen/ beregening wordt dit gebrek opgelost. Bij zeer nat weer kan de bodem verzadigd raken met water waardoor de redoxpotentiaal daalt en Mn in toxische hoeveelheden kan vrijkomen. | |
| Is er een risico op gebrek en / of toxiciteit? | Alleen gebrek | Beide kunnen voorkomen |
| Omstandigheden voor gebrek | Hoge pH van de bodem - toename risico op gebrek bij toename pH vanaf pH-KCl > 5,4 Hoog organische stofgehalte bodem Droge omstandigheden Meer specifiek treedt het risico op gebrek op op: - kalkrijke zavel- en lichte kleigronden - graan- en aardappelpercelen op Noordoostelijke zand- en dalgronden met een pH-KHCl > 5,7 - bieten, bonen en erwten op andere grondsoorten. | Risico op gebrek kan al optreden binnen het agronomisch optimale pH-bereik en neemt toe met toenemende pH. Het toedienen van een bodemmeststof is in die omstandigheden niet effectief. Aanhoudend droog weer kan leiden tot Mn-tekorten, zelfs als er in potentie voldoende Mn aanwezig is. Organische stof in de bodem kan ook bijdragen aan het ontstaan van een Mn-tekort omdat het Mn ²⁺ sterk bindt. Mn-tekort komt vaak voor in bekalkte en gedraineerde veengronden. In Nederland werd het Mn-tekort eerst bekend als de "veenkoloniale haverziekte" (veenkoloniale haverziekte). |

| | | |
|---|---|--|
| Omstandigheden voor toxiciteit | | Zeer natte omstandigheden. Wanneer door de natte omstandigheden de bodem zuurstofloos (anaeroob) wordt kunnen Mn-oxides oplossen. |
| Interactie met andere nutriënten | | Verhogen van de pH door bekalking kan een negatief effect hebben op de Mn-beschikbaarheid. Een hoge beschikbaarheid van andere tweewaardige kationen (zoals Ca ²⁺ en Mg ²⁺) heeft een negatief effect op de Mn-beschikbaarheid. De grootte van het Mn ²⁺ -ion is vergelijkbaar met dat van Mg ²⁺ en Ca ²⁺ en er is dus concurrentie tussen deze voedingsstoffen aan het worteloppervlak. De opname van Mn wordt verder belemmerd door bemesting met een hoge dosis kalium, zink en/of molybdeen. Fosfaat Meststof kan ook de Mn-beschikbaarheid verlagen door de neerslag van Mn-fosfaat. Door een vergelijkbare gewasreactie is er competitie tussen Mn en Fe aan het worteloppervlak. |
| Is grondonderzoek nodig? | Alleen op zeelei. Voor dekzand en dalgrond is de Mn-beschikbaarheid gerelateerd aan pH | Bij een bodem pH-CaCl ₂ hoger dan 6, is de Mn-beschikbaarheid zo laag dat een bodemanalyse van het Mn-gehalte (Mn-CaCl ₂) niet zinvol is. Bij pH-CaCl ₂ niveaus onder 6, is Mn-CaCl ₂ een goede indicator voor beschikbaarheid van Mn in de bodem voor gewasopname. |
| Welke meetmethodiek(en) bodem | huidig Eurofins: 0,01M CaCl ₂ (schudverhouding 1 op 10) historisch: ammoniumacetaat 1N hydrochinon (schudverhouding 1 op 20) meting AAS | Mn-CaCl ₂ geeft een goede voorspelling van reduceerbaar Mn. De hypothese is dat herbevochtiging van een gedroogde grond leidt tot de oxidatie van organische stof in de bodem waarbij Mn vrijkomt als gevolg van de reductie van Mn-oxiden (Terrones en Supriatin 2015). |
| Welke meetmethodiek(en) gewas | Bij twijfel over de optredende gebreksverschijnselen kan men een gewasonderzoek laten uitvoeren door een erkend laboratorium. Als het gehalte in het gewas lager is dan het kritische gehalte, is het advies om te bemesten. Er zijn echter geen algemeen geldende richtlijnen voor de wijze van bemonstering (gewasstadium, te nemen plantendeel enz.), de analysemethode en het kritisch gehalte per gewas. Uitzondering zijn chicorei en suikerbieten. | Bij gebreksverschijnselen gewas is opbrengst- / kwaliteitsderving al opgetreden. Om dit voor te zijn bestaan er simpele meters die in het veld direct op het blad Mn-deficientie kunnen meten (obv chlorophyll a fluorescence, Maarschalkerweerd en Husted, 2015 en Pedas et al., 2014). Herkennen gebrek: Symptomen van een Mn-tekort zijn gele verkleuring tussen de aderen, gevolgd door chlorose en verwelking van de bladeren. Mn-deficientie is eerst zichtbaar in de jongste bladeren. In ernstigere gevallen zit er vaak een knik in de bladeren. |
| Relatie bodem (meetresultaten) en gewasrespons | Uitzondering op de relatie tussen een laag Mn-gehalte op kleigronden en Mn-gebrek geeft het Mn-gehalte geen aanwijzing over de kans op het optreden van Mn-gebrek voor gronden in de Noordoostpolder, De Biesboschpolders en de Kreekrakpolder. In de Biesboschpolders en de Kreekrakpolder (estuariumgronden) is gevonden dat | Recente pot- en veldstudies tonen aan dat bij een pH-CaCl ₂ -waarde lager dan 6 Mn-CaCl ₂ een goede indicator is voor de opname van Mn door een gewas (tarwe en gras). De Mn-opname in tarwe werd geremd bij een pH-CaCl ₂ hoger dan 6. Dit werd bevestigd in veldproeven met gras (Promotie werk C. Terrones). |

| | | |
|---|---|--|
| | Mn-gebrek 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 | |
| Relatie meetresultaten en advies | Grondonderzoek geeft voor kleigronden aan of er wel/niet een risico op gebreksverschijnselen is, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen OS hoger dan wel lager dan 2,5% OS. Advies: mangaan-gewasbespuiting uitvoeren en/of gewasontwikkeling volgen en zonodig bemesten. De aanbevolen dosis is afhankelijk van het gewas en het type meststof. | Basis voor het onderscheid in % organische stof bij de klassificering van de meetresultaten is zeer dun en kan niet worden onderbouwd in latere proeven. Advies om de combinatie van pH-CaCl ₂ en Mn-CaCl ₂ te gebruiken bij het vaststellen van een risico op gebrek. Boven pH-CaCl ₂ 6 risico op gebrek (Mn-CaCl ₂ te laag om te meten) en onder pH-CaCl ₂ < 6 Mn-CaCl ₂ als indicator voor Mn-beschikbaarheid voor gewas. In de geadviseerde giften zouden bodem pH- en weersomstandigheden meegenomen moeten worden om een potentieel optredend tekort zo vroeg mogelijk aan te tonen zodat bladbemesting op tijd kan worden toegediend. Dit voorkomt ook een verspilling van meststoffen als Mn-deficiëntie niet optreedt. |
| Gewas specifiek advies | Het advies is algemeen geldend: wordt op basis van grondonderzoek mangaangebrek verwacht, voer dan een mangaan-gewasbespuiting uit. Uitzondering wanneer de ervaring leert dat gebrek slechts van korte duur is. Daarnaast wordt geadviseerd het gewas te monitoren op gebreksverschijnselen. | Geadviseerd wordt om een weer-module Advies te integreren in het advies; beschikbaarheid daalt sterk onder droge omstandigheden en bemesting heeft dan weinig zin. Als het duidelijk is dat aanhoudend droge weer de oorzaak is van een waargenomen niet-ernstig tekort is het raadzaam om te irrigeren of te wachten op regen. Bij zeer vochtige omstandigheden kan toxiciteit optreden. Wanneer bodemonderzoek een hoog risico op gebrek aan toont Mn-gevoelige gewassen monitoren met een simpele sensor op basis van een chlorofyl a fluorescentiemeting (Pedas et al., 2014). |
| Geadviseerde methode van bemesting | Bladbemesting, zonodig herhaald | In Nederland wordt het Mn-tekort over het algemeen niet veroorzaakt door het gebrek aan Mn, maar door de lage beschikbaarheid van het aanwezige Mn, door de chemische processen in de bodem bij hoge pH-waarde. Dezelfde bodemchemische processen zijn de reden dat de beschikbaarheid van toegepaste meststof Mn een lage effectiviteit heeft. De effectiviteit van de bladbemesting is afhankelijk van weersomstandigheden (Mulder et al., 2013). Advies: bladbemesting met name gericht op jonge bladeren tijdens weersomstandigheden met een hoge luchtvochtigheid (Anonymous 2003). Mn is zeer immobiel in een plant waardoor het noodzakelijk kan zijn om de toepassing meerdere malen te herhalen. |

| | |
|--|---|
| | Bekalken kan de beschikbaarheid van Mn (sterk) verlagen. Geadviseerd wordt om niet meer dan de geadviseerde kalkgift te geven. |
| Mogelijke risico's voor de toekomst | Klimaatverandering leidt in toenemende mate tot weersextremen. Omdat de beschikbaarheid van Mn sterk wordt bepaald door het weer (gebrek bij droogte en toxiciteit bij natte omstandigheden) leidt dit tot risico's. De daling in gebruikruimte voor dierlijke mest en het verminderde gebruik van Mn-bevattende bestrijdingsmiddelen leidt tot een daling in de toegediende hoeveelheid Mn op bouwland. Het is niet bekend wat het effect hiervan is op de beschikbaarheid van Mn in de bodem, met name op gronden met een verhoogd risico op tekorten (Velthof en Van Erp 1998). Dit verdient nader onderzoek. |

Bijlage 6. Overzichtstabel Borium

| Vraag | Huidig advies | Uitbreiding adviesbasis? |
|--|---|--|
| Is er een huidig advies? En is uitbreiding nodig? | Ja, het advies geldt alleen voor bieten, maïs, luzerne, koolrapen, knolselderij, bloemkool, broccoli en peen (andere gewassen niet met borium bemesten). | Ja |
| Welke gewassen zijn gevoelig voor gebrek? | Suikerbieten, maïs, luzerne, koolzaad, selderij, bloemkool, broccoli, wortel | B-gebrek is eerst zichtbaar in het afsterven van de groeipunten van wortel en stengel, wat het ontkiemen van de zijknoppen stimuleert. Wortelgroenten zijn gevoelig voor een B-tekort; in Nederland wordt het B-tekort bij suikerbieten "hartrot" van de bieten genoemd. Peulvruchten hebben een hoge B-behoefte; dicots heben een 4-7 keer hogere behoefte dan monocots (Ahmad et al., 2012). De kritische niveaus variëren van 5-10 mg B kg ⁻¹ droge stof (DM) voor granen tot 20-70 mg B kg ⁻¹ DM in dicots. Suikerbieten lopen risico op hartrot als de B-waarden in de bladeren lager zijn dan 35-40 mg kg ⁻¹ B (Wattel-Koekoekoek en Bussink 2003). |
| Rol in het gewas | Borium (B) stimuleert in planten de celdeling en daarmee de groei, bloei en vruchtzetting. B is beïnvloedt de membraanstabieleit. Gebreksymptomen verschijnen het eerst op de groeipunten. In peulvruchten is B noodzakelijk voor de vorming van wortelknollen. | |

| | | |
|---|---|--|
| Belangrijkste bodemprocessen bepalend voor beschikbaarheid | <p>Anders dan andere micronutriënten is B slechts zwak geadsorbeerd aan bodemdeeltjes. Bij toenemende pH van de bodem wordt B in de bodem minder beschikbaar door een toename in de binding van B aan het oppervlak van bodemdeeltjes (organisch materiaal (OM), klei en het oppervlak van Al- en Fe-oxide).</p> <p>Wanneer B aan een bodem wordt toegedient blijft een relatief grote fractie in oplossing (65% in kleigronden en 85% in zandgronden (Terrones). Het potentieel van een bodem om de B-concentratie in oplossing te bufferen is over het algemeen laag omdat de hoeveelheid geadsorbeerde stof relatief klein is in vergelijking met de hoeveelheid in oplossing. Dit heeft tot gevolg dat:</p> <ul style="list-style-type: none"> - B gemakkelijk uitspoelt uit het bodemprofiel vooral op zandgronden met een laag organische stofgehalte. - Het belangrijkste mechanisme waarmee de plant B opneemt is mass flow. Hierdoor is de beschikbaarheid van B zeer gevoelig voor droogte. | |
| Is er een risico op gebrek en / of toxiciteit? | Ja beide. Toxiciteit wordt genoemd | Kwantificeren wanneer toxiciteit op kan treden |
| Omstandigheden voor gebrek | <p>zandgronden met lage organische-stofgehalten, maar het kan ook voorkomen op löss- en dalgronden. Het wordt versterkt bij lage pH (pH < 4) of juist hoge pH (pH > 6, onder andere vlak na bekalking) in combinatie met droogte. Met name op zand- en dalgronden kan borium gemakkelijk uitspoelen, waardoor vooral bij suikerbieten, maïs en kool tekorten kunnen optreden. Soms bij bieten op kleigrond door een droge zomer en droog najaar.</p> | <p>zand- en dalgronden met een laag gehalte aan organische stof en klei (zowel een lage adsorptie capaciteit als uitspoelingsgevoelig) droogte na bekalking</p> <p>Op 25% van de alluviale zandgronden zijn de B-gehalten laag (Ros en Den Boer, 2011)</p> |
| Omstandigheden voor toxiciteit | Te hoge giften kunnen leiden tot toxiciteit | |
| Interactie met andere nutriënten | B heeft weinig competitie en/of interactie met andere nutriënten. Het effect van competitie is gering maar de belangrijkste andere anionen, in orde van grootte zijn fosfaat (P) > Molybdaat (Mo) > Sulfaat (S). | |
| Is grondonderzoek nodig? | Ja bij de gewassen suikerbiet, maïs, luzerne, koolraap, knolselderij, bloemkool, broccoli of peen wordt geadviseerd grondonderzoek te verrichten. | <p>Grondonderzoek om te bepalen of de B-status te laag is, is niet relevant voor kleigronden met een organische stofgehalte van meer dan 5%. Voor deze gronden is het B-gehalte (meer dan) hoog genoeg, en door de lage bindingssterkte ook voldoende beschikbaar.</p> <p>Grondonderzoek kan wel nuttig zijn op klei en zand gronden met een organisch stofgehalte hoger dan 5% voor gewassen die gevoelig zijn voor B-toxiciteit; bijv. maïs.</p> <p>Bekalken heeft een negatief effect op de beschikbaarheid van B. Voor de meest betrouwbare resultaten zou bij voorkeur het B bodemonderzoek moeten worden uitgevoerd in het voorjaar voor het groeiseizoen, maar na kalken.</p> |

| | | |
|---|--|---|
| Welke meetmethodiek(en) bodem | <p>huidig Eurofins: 0,01M CaCl₂ (schudverhouding 1 op 10) historisch: heet water (schudverhouding 1 op 10) meting AES-ICP</p> | <p>Heet water meest algemeen toegepaste methode. Andere methodes worden ook gebruikt bv 0,05 M HCl (beter volgens Li and Gupta, 1991); Combinatie B-CaCl₂ + pH afhankelijk model perspectiefvol</p> |
| Welke meetmethodiek(en) gewas | <p>Bij twijfel of gebrek optreedt kan een gewasonderzoek worden uitgevoerd door een erkend laboratorium. Er zijn echter geen algemeen geldende richtlijnen voor de wijze van bemonstering (gewasstadium, te nemen plantendeel enz.), de analysemethode en het kritisch gehalte per gewas, uitgezonderd voor suikerbieten.</p> | <p>Indien gebreksverschijnselen optreden is het leed deels al geleden.</p> |
| Relatie bodem (meetresultaten) en gewasrespons | <p>Het advies is gebaseerd op het meten van het B-gehalte van de bodem in zandgronden waarop in 1955 en 1956 zieke en geheel gezonde bieten voorkwamen. Bij een B-water <0,35 mg/kg waren 73% van de percelen ziek en boven 0,35 mg/kg waren 38% van de percelen ziek in het droge jaar 1955 terwijl in het natte jaar 1956 veel minder percelen ziek waren (De Vries en Dechering, 1960)</p> | <p>De hoeveelheid B dat wordt geextraheerd (B-CaCl₂ en B-hot water) wordt bepaald door het gehalte aan organische stof (OM), het kleigehalte en de pH-waarde van de bodem (Van Rotterdam en Bussink, 2017). Dit geeft aan dat adsorptie-desorptie de belangrijke processen zijn die de B-oplosbaarheid tijdens de extractieprocedure controleren.</p> <p>Een recente studie in de kas met tarwe toont een relatie tussen de B-concentratie in het gewas en B-CaCl₂ ($r^2=0,65$, door C. Terrones). In veldproeven was de directe relatie met B-CaCl₂ beperkt maar waren de belangrijkste bodemparameters die gerelateerd zijn aan B-beschikbaarheid, ook gerelateerd aan de B-opname door het gewas (pH, organische stof-, en kleigehalte).</p> |
| Relatie meetresultaten en advies | <p>Op basis van het B-gehalte in de grond wordt een adviesgift gegeven, waarbij een keuze kan worden gemaakt tussen bodem- dan wel bladmeststoffen. Een voorraadbemesting voor een aantal jaren is niet mogelijk omdat borium gemakkelijk uitspoelt.</p> | <p>Te hoge giften zijn niet wenselijk omdat B gemakkelijk uitspoelt. Daarnaast kunnen mogelijk problemen met toxiciteit optreden.</p> <p>Een B-tekort kan het gevolg zijn van lage B-gehalten in de bouwvoor van de bodem (door een lage adsorptiecapaciteit van de bodem of omdat het door een groot neerslagoverschot uit de bouwvoor is uitgespoelt) of omdat het aanwezige B door droogte niet beschikbaar is. Als droogte de oorzaak is, heeft bemesting geen zin.</p> |
| Gewas specifiek advies | <p>Als boriumgebreksverschijnselen optreden, moet zo snel mogelijk een B-gewasbespuiting worden uitgevoerd.</p> | <p>De huidige bemestingsadviezen kunnen worden verbeterd door onderscheid te maken tussen gewassen op basis van hun B-behoefte. Het wordt aanbevolen om een advies voor peulvruchten te ontwikkelen als gevolg van de relatief hoge B-behoefte en de rol van B bij de vorming van wortelknollen.</p> <p>Gewassen verschillen in grenswaardes voor B-toxiciteit, dit kan worden meegenomen in het advies.</p> |

| | |
|--|--|
| <p>Geadviseerde methode van bemesting Advies bevat zowel een gewas- als bodemadvies</p> | <p>Bekalken kan de beschikbaarheid van B (sterk) verlagen. Geadviseerd wordt om niet meer dan de geadviseerde kalkgift te geven.</p> <p>Het voorkomen van een achteruitgang van het organische stofgehalte en het onderhouden van de bodem pH op een voldoende en zeker niet te hoog niveau is belangrijk voor het behoud van de B-beschikbaarheid.</p> <p>Geadviseerd wordt om een weer-module te integreren in het advies; beschikbaarheid daalt sterk onder droge omstandigheden en bemesting heeft dan weinig zin. Als het duidelijk is dat aanhoudend droge weer de oorzaak is van een waargenomen niet-ernstig tekort is het raadzaam om te irrigeren of te wachten op regen. Onder aanhoudend natte omstandigheden kan B gemakkelijk uitspoelen en tot gebrek leiden.</p> |
| <p>Mogelijke risico's voor de toekomst</p> | <p>Klimaatverandering leidt in toenemende mate tot weersextremen. Omdat de beschikbaarheid van B op zand- en dalgronden sterk wordt bepaald door het weer (gebrek bij zowel droogte als natte omstandigheden) leidt klimaatverandering waarschijnlijk tot een toename in het risico op B-gebrek.</p> |

Bijlage 7. Overzichtstabel Koper (Cu)

| Vraag | Huidig advies | Uitbreiding adviesbasis? |
|--|--|---|
| <p>Is er een huidig advies? En is uitbreiding nodig?</p> | <p>Ja, zeer summier</p> | <p>Ja</p> |
| <p>Welke gewassen zijn gevoelig voor gebrek?</p> | <p>Cu-gebrek is in eerste instantie waargenomen bij granen en stond bekend als ontginningsziekte (de Vries en Dechering, 1960).</p> <p>Problemen met Cu-gebrek zijn van oudsher vooral gemeld voor granen op humusrijke podzolgronden, dalgronden, veengronden, en andere gronden met een hoog gehalte aan organische stof en met minder dan 3-4 mg kg⁻¹ Cu-HNO₃ (gebaseerd op talrijke veldproeven in de jaren 50 en 60, en praktische ervaring van Driel en Smilde, 1990).</p> | <p>Granen zijn gevoelig voor Cu-tekort, vooral tarwe en haver maar ook spinazie. De Cu-behoefte is hoog voor suikerbieten, spinazie, tarwe, haver, alfalfa, sla en ui.</p> <p>Bij gebrek treden opbrengstverliezen eerder op dan gebreksverschijnselen.</p> |

| | | |
|---|---|--|
| Rol in het gewas | <p>Koper (Cu) activeert enzymen en katalyseert reacties in verschillende plantengroeiprocessen. De aanwezigheid van koper is nauw verbonden met de productie van vitamine A en draagt bij aan een succesvolle eiwitsynthese.</p> <p>De kritische gehalten van Cu variëren van 1 tot 5 mg kg⁻¹ Cu droge stof, afhankelijk van het gewastype. Cu heeft een zeer lage mobiliteit in de plant aangezien 98% van de Cu gebonden is. Symptomen treden daarom op bij de jongste bladeren en ook is de remobilisatie beperkt.</p> | |
| Belangrijkste bodemprocessen bepalend voor beschikbaarheid | <p>In de bodem is koper (Cu) vooral geassocieerd met organische stof (OS). Een modelstudie laat zien dat meer dan 95% van de Cu in de bodem is gerelateerd aan OS (Terrones en Supriatin 2015). Naast de adsorptie aan OS wordt Cu ook gebonden aan de andere oppervlakken in de bodem zoals klei en Al- en Fe (hydr-) oxides (Shuman, 1991 in Fageria et al., 2002).</p> <p>De bodem pH speelt ook een belangrijke rol omdat de Cu beschikbaarheid afneemt met toenemende pH. Met elke toename van de pH met 1-eenheid neemt de Cu-beschikbaarheid met een factor 100 af. Ook de opname door planten neemt overeenkomstig af met toenemende pH (Fageria et al., 2002). De reden hiervoor is dat naarmate de pH-waarde stijgt, het oppervlak waar het Cu aan kan binden in de bodem toeneemt (Geering en Hodgson, 1969 in Fageria et al., 2002).</p> <p>In de bodemoplossing wordt het grootste deel van Cu (99%, Terrones en Supriatin, 2015) geassocieerd met opgeloste organische moleculen (DOC). Slechts relatief weinig is in de Cu²⁺-vorm die gemakkelijk door de plantenwortels kan worden opgenomen. De sterke reactie van Cu met DOC heeft een tweeledig effect; enerzijds zit er meer Cu in de bodemoplossing waardoor het mobieler wordt (Lindsay, 1979). Aan de andere kant is de beschikbaarheid voor opname door de wortel van organisch gecomplexeerd Cu lager dan die van vrije Cu²⁺ ionen. De hoeveelheid Cu in de bodemoplossing wordt voornamelijk bepaald door de hoeveelheid Cu dat is gebonden aan bodembestanddelen (Barber, 1995).</p> | |
| Is er een risico op gebrek en / of toxiciteit? | gebrek | gebrek (toxiciteit) |
| Omstandigheden voor gebrek | Bij een lage Cu-toestand va de bodem | <p>Cu-gebrek komt voor in gronden waar te weinig Cu aanwezig is, b.v. door een laag organische stofgehalte.</p> <p>Cu-gebrek komt echter ook voor in gronden waar veel Cu aanwezig is, maar vanwege de sterke binding dit niet beschikbaar is voor gewasopname, b.v. in veen en andere organische bodems en in bodems met een hoge pH.</p> |
| Omstandigheden voor toxiciteit | nvt | Toxiciteit door natuurlijke omstandigheden is zeldzaam. Toxiciteit is alleen een risico door het overdadig toedienen van Cu met fungiciden, herbiciden, of meststoffen (Welch et al., 1991). |

| | | |
|---|---|---|
| Interactie met andere nutriënten | | Andere elementen zijn van invloed op de beschikbaarheid van Cu. Zo vindt er competitie plaats tussen Cu en Ca kationen voor de adsorptie aan organisch materiaal. Cu adsorbeert in principe veel sterker aan de organische stof, maar de concentratie van Ca-kationen is weer veel hoger, zodat competitie relevant wordt. Voor de opname van Cu aan het worteloppervlak is competitie weinig relevant, behalve de competitie tussen Zn en Cu (Mengel en Kirkby 1987). Cu-gebrek kan ook worden veroorzaakt door management zoals kalkbemesting en P-bemesting. |
| Is grondonderzoek nodig? | Ja voor granen | Ja voor granen op zand- en dalgronden. Voor andere behoeftige gewassen zou eerst een relatie tussen Cu-toestand en gewasrespons moeten worden afgeleid. Ook zou meer onderzoek moeten worden verricht naar bodems met een zeer lage Cu beschikbaarheid door een hoge pH en/of organische stofgehalte. Geadviseerd wordt het grondonderzoek uit te voeren na (en niet voor) een mogelijke kalkgift |
| Welke meetmethodiek(en) bodem | De extractiemethodes 0,43M HNO ₃ en ammoniumoxalaat extraheren het reactief Cu. Deze fractie is voornamelijk geassocieerd met het gehalte aan organische stof in de bodem. Deze methode werd tot 2004 gebruikt om Cu in de bodem te meten en vormt de basis voor de Nederlandse bemestingsadviezen. Sinds 2004 wordt 0,01M CaCl ₂ gebruikt. Dit onttrekt slechts ongeveer 1% van het in de bodem aanwezige reactieve Cu. Door de sterke associatie met OS is er echter een redelijk goede relatie tussen Cu-CaCl ₂ and Cu-HNO ₃ ($r^2=0,79$, Supriatin et al., 2015). | Verschillende extractiemethodes zijn bekend zoals 0,43M HNO ₃ en 0,01M CaCl ₂ die in Nederland gebruikt worden maar ok DTPA en EDTA zijn bekende extractiemethodes voor Cu. Cu-HNO ₃ is een sterke extractie en is een slechte voorspeller van Cu beschikbaarheid. |
| Welke meetmethodiek(en) gewas | | |
| Relatie bodem (meetresultaten) en gewasrespons | De huidige adviesbasis geldt slechts met enige zekerheid voor haver en tarwe. De waardering van de Cu-toestand van de bodem is gebaseerd op de relatie tussen relatieve korrelopbrengst van tarwe en Cu-HNO ₃ op proefvelden (1954 en 1955) en in een potproef met verschillende dal- en zandgronden (1957, De Vries en Dechering, 1960). | De huidige adviesbasis geldt slechts met enige zekerheid voor haver en tarwe. De waardering van de Cu-toestand van de bodem is gebaseerd op de relatie tussen relatieve korrelopbrengst van tarwe en Cu-HNO ₃ op proefvelden (1954 en 1955) en in een potproef met verschillende dal- en zandgronden (1957, De Vries en Dechering, 1960). |

| | | |
|--|--|---|
| Relatie meetresultaten en advies | Indien het te laat is voor een koperbodembemesting kan een gewasbespuiting met kopermeststoffen worden uitgevoerd | |
| Gewas specifiek advies | Adviesbasis alleen van toepassing op tarwe en haver. | Advies om te onderzoeken of de adviesbasis moet worden uitgebreid met suikerbieten, spinazie, alfalfa, sla en ui omdat deze gewassen een hoge Cu-behoefte hebben. |
| Geadviseerde methode van bemesting | Bodembemesting en indien te laat een gewasbemesting | De effectiviteit van de Cu-bemesting met Cu-zouten is laag. Bemesting met Cu-chelaten is (hoewel ook laag) effectiever dan met Cu-zouten zoals Cu-sulfaat. |
| Mogelijke risico's voor de toekomst | Gebruik van dierlijke mest bepaalt in hoge mate de belasting van landbouwgrond met metalen als Cu en Zn. Tussen 1996 en 2008 is de Cu-gehalte in varkensdrijfmest gelijkgebleven (rond 400 mg/kg ds) maar in runderdrijfmest is het Cu-gehalte met een factor 3 gestegen (naar 135 mg/kg ds, Römken en Rietra, 2008). Tussen 2008 en 2017 is sprake van gelijkblijvende of licht dalende gehalten (Klein en Roskam, 2018). Varkensdrijfmest bevat hoge Cu-gehalten. Het effect van afnemende dierlijkemestgiften op de Cu-beschikbaarheid in de bodem vergt met name in regio's waar runderdrijfmest wordt toegediend nader onderzoek. | |

Bijlage 8. Overzichtstabel Zink (Zn)

| Vraag | Huidig advies | Uitbreiding adviesbasis? |
|--|---|--|
| Is er een huidig advies? En is uitbreiding nodig? | Er is geen officieel, op basis van grondonderzoek, vastgesteld zinkbemestingsadvies beschikbaar. | Ja |
| Welke gewassen zijn gevoelig voor gebrek? | | Maïs is gevoelig voor Zn-gebrek maar ook fruitbomen, peulvruchten, sla, spinazie, bonen en uien zijn gevoelig voor Zn-tekort (NMI-rapport M925, Eurofins, 2015). In Duitsland: worden maïs en bonen als zeer Zn-behoefstig beschouwd |
| Rol in het gewas | In planten is zink een belangrijk bestanddeel van veel enzymen en is betrokken bij de synthese van aminozuren en eiwitten. Het speelt een belangrijke rol in een breed scala van processen, zoals de productie van groeihormoon. Zn is belangrijk voor de stressbestendigheid van planten. Zn-gebrek is één van de meest voorkomende gebreken op het terrein van sporelementen in de wereld (Mengel & Kirkby, 1987). Zn wordt door de plantenwortels opgenomen als Zn ²⁺ . Omdat de concentratie Zn ²⁺ in de bodemoplossing laag is en Zn niet erg mobiel wordt het slechts over korte afstand getransporteerd door de bodem naar de plantenwortel (diffusie gedreven transport). Voor een goede opname van Zn is daarom een voldoende groot wortelstelsel, eventueel in combinatie met mycorrhizaschimmels, en een goede vochthuishouding belangrijk. | |

| | |
|---|--|
| Belangrijkste bodemprocessen bepalend voor beschikbaarheid | <p>De processen die zijn betrokken bij het gedrag van zink (Zn) in de bodem zijn dezelfde als die voor Cu. Binding van Zn aan vaste bodembestanddelen vindt plaats aan kleimineralen, metaal(hydr)oxiden en organische stof. De affiniteit van Zn voor de binding aan deze materialen is lager dan van Cu. In zandgronden wordt de beschikbaarheid van Zn vooral bepaald door de binding aan het organische stofgehalte in de bodem (Weng, Temminghoff, Riemsdijk, & Hiemstra, 2001). Enerzijds neemt met een toename van het OS-gehalte de totale hoeveelheid Zn toe, en anderzijds neemt door de sterke binding de Zn-beschikbaarheid af (Duffner, 2014). Op kalkrijke gronden is de beschikbaarheid van Zn zeer laag en wereldwijd is dit de grootste oorzaak van Zn-gebrek.</p> <p>De voor plantenwortels beschikbare vorm van Zn (Zn²⁺) is in de bodemoplossing slechts in lage concentraties aanwezig en is niet erg mobiel. De oplosbaarheid van Zn is sterk afhankelijk van de pH. De Zn-concentratie in de bodemoplossing neemt sterk af per eenheid dat de pH toeneemt. Hierdoor neemt ook de opname van Zn door de plant sterk af bij verhoging van de pH.</p> |
| Is er een risico op gebrek en / of toxiciteit? | <p>Zn-gebrek kan voorkomen bij Zn-concentraties in een gewas lager dan 10 tot 20 mg kg⁻¹ droge stof, afhankelijk van de gewassoort en van concentraties van andere elementen die voorkomen in de plant.</p> <p>Toxiciteitsverschijnselen kunnen optreden wanneer het Zn-gehalte hoger is dan 100 tot 500 mg kg⁻¹ droge stof (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).</p> |
| Omstandigheden voor gebrek | <p>Zn-gebrek kan optreden op gronden met pH ≥ 7 met een hoog organische-stofgehalte. Een hoge fosfaattoestand en een hoge fosfaatgift bevorderen het optreden van een Zn-gebrek.</p> <p>Een hoge pH, organische stofgehalte en fosfaattoestand in de bodem en koude en natte omstandigheden verlagen de beschikbaarheid van Zn en kunnen leiden tot Zn-gebrek.</p> <p>Het risico op Zn-gebrek is (zeer) laag wanneer structureel dierlijke mest, en met name varkensmest, wordt toegediend. Het gehalte in de mest kan echter sterk variëren.</p> <p>Zn-gebrek kan optreden wanneer de totale Zn-gehalten in de bodem laag zijn, bijvoorbeeld in zandgronden met een lage organische stofgehalte óf wanneer het aanwezige Zn slechts beperkt beschikbaar is. De Zn-beschikbaarheid wordt beperkt door een hoge pH op kalkhoudende bodems of sterk bekalkte bodems, hoge zoutconcentraties (verzilting), hoge organische stofgehalte (oa veengronden), hoge fosfaattoestand of langdurige waterverzadiging of overstrooming.</p> <p>Zn-transport naar de wortel vindt voornamelijk plaats door middel van diffusie. Hierdoor kan droogte ook leiden tot Zn-gebrek.</p> |
| Omstandigheden voor toxiciteit | <p>Te hoge Zn-giften kunnen leiden tot toxiciteitsproblemen.</p> |

| | |
|---|--|
| Interactie met andere nutriënten | <p>Een hoge P-beschikbaarheid in de bodem en/of een ruime P-voorziening kan de opname van Zn door het gewas negatief beïnvloeden. Naast een negatieve P-Zn interactie in de plant beperkt een hoge P-beschikbaarheid in de bodem de grootte van het wortelstelsel en de interactie met mycorrhizaschimmels. Bovendien kan door een goede P-voorziening meer gewas worden geproduceerd waardoor verdunning van de Zn-concentratie in het gewas plaatsvinden, waardoor Zn-gebrek kan optreden (Loneragan & Webb, 1993).</p> <p>Verhogen van de pH door bekalking kan een negatief effect hebben op de Zn-beschikbaarheid. Té hoge kalkgiften kunnen tot Zn-gebrek leiden.</p> |
| Is grondonderzoek nodig? | <p>Nader onderzoek moet uitwijzen wanneer grondonderzoek nodig is. Grondonderzoek lijkt het meest zinvol op gronden met potentieel lage Zn-gehalten zoals zandgronden met een laag organische stofgehalte. Voor gronden waar de Zn-beschikbaarheid laag is door een hoge pH (kalkgronden) of een hoog organische stofgehalte moet nader onderzoek ook uitwijzen of Zn-gebrek voorkomt. Grondonderzoek naar de Zn-beschikbaarheid lijkt dan minder voor de hand liggend omdat op basis van pH of organische stofgehalte kan worden afgeleid of een gebrek verwacht wordt of niet. In beide situaties zou het onderzoek zich moeten richten op Zn-gevoelige gewassen waar de (historische) dierlijke mestgift laag is (met name varkensmest bevat hoge Zn-gehalten).</p> |
| Welke meetmethodiek(en) bodem | <p>Verschillende extractiemiddelen worden gebruikt voor de evaluatie van de Zn-toestand in de bodem, bijvoorbeeld complexeers als EDTA en DTPA (diethyleen triamine penta-azijnzuur), 0,1 M HCl en verdunde zoutoplossing zoals 0,002 M CaCl₂, 0,01 M CaCl₂ en 0,01 M Ca(NO₃)₂.</p> |
| Welke meetmethodiek(en) gewas | <p>Destructie</p> |
| Relatie bodem (meetresultaten) en gewasrespons | <p>De correlatie tussen de gemeten Zn-opname door gewassen en de hoeveelheid Zn geëxtraheerd met de verschillende methoden is vaak relatief laag. Door het meenemen van eigenschappen als de pH en het organischestof- en kleigehalte van de grond kan de correlatie vaak worden verbeterd (Brennan et al., 1993).</p> <p>De Zn-opname door verschillende gewassen in het gebied de Kempen kan goed worden voorspeld op basis van Zn-CaCl₂ ($r^2=0,81$) en deze voorspellingen wordt nog beter wanneer ook pH wordt meegenomen ($r^2=0,9$, Rietra et al., 2004).</p> |
| Relatie meetresultaten en advies | <p>De Zn-balans van de Nederlandse landbouw is positief, maar is gedaald als gevolg van de aanscherping van de gebruiksnormen. Voor de vollegrondsgroenteteelt is de balans zelfs negatief wanneer weinig tot geen dierlijke mest wordt gebruikt. Of</p> |

| | | |
|--|---|--|
| | | er een risico is op Zn-gebrek bij behoeftige gewassen zoals sla en spinazie is niet duidelijk. |
| Gewas specifiek advies | | De ontwikkeling van een advies voor gewassen met een hoge Zn-behoefte lijkt gewenst met name als de dierlijke mestgift beperkt is. Maïs, peulvruchten, bonen en uien en de Zn-behoeftige vollegrondsgroenten sla en spinazie, maar ook fruitbomen zouden in aanmerking kunnen komen voor een Zn-advies. |
| Geadviseerde methode van bemesting | Zinkgebrek kan meestal worden verholpen door te sproeien met zinksulfaat of zinkchelaten. | Zn-gebrek kan meestal worden verholpen door het gewas te besproeien met zinksulfaat of zinkchelaten. Deze meststoffen kunnen ook aan de bodem worden toegediend, liefst in de rij bij het zaad. De effectiviteit van bodembemesting hangt af van de oorzaak van het gebrek. Bij een lage hoeveelheid Zn in de bodem (bv zandgronden) is dit een effectieve strategie bij een lage beschikbaarheid wellicht minder. Dit is ook gewas, en zelfs variatie afhankelijk. Indien een Zn-gebrek wordt verwacht kan ook Zn behandeld zaad worden gebruikt. Indien gebreksverschijnselen al zijn opgetreden zal een reparatiebemesting slechts deels effectief zijn. |
| Mogelijke risico's voor de toekomst | | <p>Een studie van Eurofins laat een dalende trend in het gemiddelde Zn-gehalte van de bodem zien van 1,8 mg/kg in 2004 naar 1,4 mg/kg in 2012. Deze gehalten vallen in de range van de kritische Zn-concentraties van 0,5-2,0 mg Zn kg⁻¹ in een DTPA extractie voor de meeste gewassen. De context van deze dalende trend (welk gebied, hoeveel monsters, landgebruik etc wordt niet gegeven) en daarom kan er aan deze trend weinig waarde worden toegekend.</p> <p>Het zinkgehalte in varkensmest is hoog (gemiddeld rond 1000 mg/kg) en ook ruim hoger dan in rundveemest (200 mg/kg) en vleeskuikenmest (350 mg/kg; Klein en Roskam, 2018). Tussen 1996 en 2008 was het Zn-gehalte in varkensmest bijna verdubbeld. Tussen 2008 en 2017 is het Zn-gehalte in de mest ongeveer gelijk gebleven. De afnemende trend in Zn-beschikbaarheid in de bodem is dus waarschijnlijk het gevolg van de aanscherping van de gebruiksnormen en niet van lagere gehalten in de mest. Echter, van deze monsters is niet bekend hoe andere belangrijke parameters die de directe Zn-beschikbaarheid bepalen zijn veranderend gedurende deze periode (organische stofgehalte, fosfaattoestand, pH).</p> <p>Een goede Zn voorziening wordt steeds belangrijker omdat Zn in gewassen belangrijk is voor de stress-tolerantie en er met klimaatverandering meer droge en zeer natte periodes zullen zijn (Broadley et al., 2012).</p> |

Bijlage 9. Overzichtstabel Molybdeen (Mo)

| Vraag | Huidig advies | Uitbreiding adviesbasis? |
|---|---|--|
| <p>Is er een huidig advies? En is uitbreiding nodig?</p> | <p>Er is geen officieel, op basis van grondonderzoek, vastgesteld molybdeenbemestingsadvies beschikbaar.</p> | <p>Meer onderzoek nodig naar Mo-gebrek in de praktijk, met name bij vlinderbloemigen.</p> |
| <p>Welke gewassen zijn gevoelig voor gebrek?</p> | | <p>Mo is essentieel voor het vastleggen van N₂ door bacteriën. Mo is daarom vooral van belang voor vlinderbloemigen zoals erwten, bonen, klaver en luzerne omdat deze in symbiose leven met N₂-bindende bacterien. Voor vlinderbloemigen betekent een Mo-tekort ook een N-gebrek, omdat dan te weinig N uit de lucht wordt gebonden. Mo-gebrek komt voor bij bloemkool (smalle misvormde bladeren) en bij bieten (kleine lichtgele, lepelvormige, steile bladeren). Maïs, kool, sla, spinazie, tomaat en rogge zijn ook gevoelig voor Mo-gebrek. De gewasbehoefte aan Mo is zeer laag, lager dan van alle andere micronutriënten; 50 gram Mo per hectare is voldoende om in de behoeften van de meeste gewassen te voorzien.</p> |
| <p>Rol in het gewas</p> | <p>In planten is Mo nodig voor chemische processen die zijn geassocieerd met stikstof (N). Mo zorgt er voor dat N uit de bodem wordt opgenomen en in de plant wordt omgezet in eiwitten. Bij een Mo-tekort lijkt het daarom alsof de plant een N-tekort heeft. Bij veel gewassen verkleuren de wortels en treedt slijmvorming op. Kritische gehalten van Mo variëren van 0,1 tot 1,0 mg kg⁻¹ droge stof. Mo is mobiel in de plant (zowel in floëem als xyleem) en kan goed via bladbemesting worden toegediend. Mo speelt een rol bij de binding van moleculaire N door onder andere vlinderbloemigen.</p> | |
| <p>Belangrijkste bodemprocessen bepalend voor beschikbaarheid</p> | <p>De grootste hoeveelheid molybdeen (Mo) is in de bodem aanwezig in de vorm van mineralen (ijzermolybdaat, loodmolybdaat en calciummolybdaat). In deze vorm komt Mo langzaam vrij en is dus slechts in geringe mate beschikbaar voor plantopname. Voor de beschikbaarheid van Mo is de adsorptie aan, met name, ijzer – en aluminium(hydr)oxiden van belang. Adsorptie aan andere bodembestanddelen is voor Mo van geringere betekenis. De pH heeft een sterke invloed op de adsorptie van Mo. De adsorptie is het hoogst bij lage pH, met een maximum bij pH-CaCl₂ 3-5. Boven pH -CaCl₂ 5 neemt de adsorptie van Mo sterk af. Boven pH-CaCl₂ 8 treedt vrijwel geen adsorptie op. Mo is het enige micronutriënt dat een toename in beschikbaarheid vertoont bij stijging van de pH. De beschikbaarheid van molybdeen (Mo) is daarnaast afhankelijk van de mate van waterafvoer. In situaties waar water niet weg kan verandert de redoxpotentiaal van de bodem en kan de beschikbaarheid van Mo sterk toenemen tot zelfs toxische concentraties. In Nederland is het gebruik van varkensmest een belangrijke bron van Mo.</p> | |
| <p>Is er een risico op gebrek en / of toxiciteit?</p> | <p>Ja, in specifieke situaties</p> | |

| | | |
|---|--|--|
| Omstandigheden voor gebrek | Mo-gebrek komt vooral voor op ijzerrijke zand- en dalgronden met een lage pH (<5,4). | Mo-gebrek is het meest waarschijnlijk op minerale gronden met een pH-CaCl ₂ kleiner dan 5,5 en met een hoog gehalte aan Fe(hydr)oxiden. In Nederland is van oudsher Mo-gebrek geconstateerd langs rivieren in het oostelijk deel van Nederland met veel ijzer in de bovengrond en die meer of minder slib bevatten en een pH-KCl lager dan 5,4 (De Vries en Dechering 1960). Bij een standaard bemesting met dierlijke mest wordt voldoende Mo aangevoerd en is de balans (input - onttrekking) positief. |
| Omstandigheden voor toxiciteit | | Op percelen waar door bodemverdichting het water niet vrij kan draineren en de bodem verzadigd raakt met water verandert de redoxpotentiaal van de bodem en kan de beschikbaarheid van Mo sterk toenemen tot zelfs toxische concentraties. |
| Interactie met andere nutriënten | | Er is competitie tussen Fosfaat (P) en Mo voor de adsorptie aan Fe(hydr)oxiden met een voorkeur voor de adsorptie van P dan van Mo. Ook kan er fosfomolybdaat worden gevormd, dat direct door planten kan worden opgenomen. Hoge P-giften kunnen dus leiden tot een toename in Mo beschikbaarheid. Er zijn echter ook bronnen die vermelden dat P de Mo-concentratie in planten juist kan verlagen (Fageria et al., 2002). Het toedienen van zwavel kan leiden tot een afname van de Mo-beschikbaarheid door de vorming van thiomolybdaten. Zwavelgiften kunnen Mo-gebrek versterken. |
| Is grondonderzoek nodig? | nee | Nee, eerst moet in de praktijk onderzocht worden of, en zo ja op welke schaal, Mo-gebrek voorkomt. Mogelijk dat pH voldoende is om een inschatting te maken van de beschikbaarheid van Mo. |
| Welke meetmethodiek(en) bodem | Er is geen standaard meetmethodiek voor Mo in bodem | In Amerika wordt, op basis van een extractie met heet water, vaak geadviseerd om 0,1 tot 0,3 mg Mo kg ⁻¹ grond aan te houden als minimaal niveau. In Duitsland bestaan adviezen voor Mo-bemesting gebaseerd op de methode Grigg. Daarbij wordt een Mo-getal afgeleid, wat een functie is van pH en Mo-gehalte in de grond. |
| Welke meetmethodiek(en) gewas | | |
| Relatie bodem (meetresultaten) en gewasrespons | | Weinig onderzoek naar gedaan |
| Relatie meetresultaten en advies | | |

| | |
|--|---|
| Gewas specifiek advies | Er is vrij weinig bekend over de beschikbaarheid van Mo in de bodem in relatie tot aanvoerposten (organische- en kunstmest) en de gewasbehoefte. Vlinderbloemigen hebben de grootste behoefte aan Mo. De ontwikkeling van een advies voor vlinderbloemigen lijkt wenselijk. |
| Geadviseerde methode van bemesting | In het geval van Mo-gebrek wordt geadviseerd te bekijken tot de voor het bouwplan optimale pH. Directe bestrijding is mogelijk door gebruik van vaste en vloeibare (gewasbespuiting) met molybdeenmeststoffen. |
| Mogelijke risico's voor de toekomst | Het op peil houden van de zuurgraad van de bodem is onderdeel van goed bodembeheer dat vaak wordt onderschat. Het risico op Mo-gebrek kan met goed beheer van de bodem pH eenvoudig worden vermeden. |

Bijlage 10. Overzichtstabel IJzer (Fe)

| Vraag | Huidig advies | Uitbreiding adviesbasis? |
|--|---|---|
| Is er een huidig advies? En is uitbreiding nodig? | Er is geen officieel, op basis van grondonderzoek, vastgesteld ijzerbestedingsadvies beschikbaar omdat ijzergebrek in akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten niet van betekenis is. | Lijkt weinig zinvol. |
| Welke gewassen zijn gevoelig voor gebrek? | | |
| Rol in het gewas | Fe-gebrek veroorzaakt een afname in de aanmaak van chlorofyl in bladweefsel. Fe-gebrek wordt daarom aangeduid als Fe-chlorose. Wanneer Fe-gebrek dreigt kunnen planten verschillende stoffen uitscheiden om rond de plantenwortel de Fe-beschikbaarheid te verhogen. Deze stoffen leiden tot gereduceerde omstandigheden (Fe-III wordt het voor plantenwortels opneembare Fe-II), zuurdere omstandigheden (toename Fe-oplosbaarheid) en het in oplossing brengen en houden door middel van organische verbindingen die Fe-complexeren (fytosideroforen). | |
| Belangrijkste bodemprocessen bepalend voor beschikbaarheid | Fe is overvloedig aanwezig in de bodem omdat het deel uitmaakt van bodemmineralen en na verwerking neerslaat als Fe(hydr)oxiden. De totale hoeveelheid Fe staat in schril contrast met de zeer lage Fe-concentraties in de bodemoplossing. De oplosbaarheid van deze Fe(hydr)oxiden bepaalt in sterke mate de Fe-beschikbaarheid in de bodem. Deze oplosbaarheid neemt af bij een toenemende pH van de bodem. Fe-gebrek komt daarom met name voor op kalkrijke gronden. In de bodem kan vrij Fe ook worden geadsorbeerd aan vaste organische stof en aan metaal(hydr)oxiden. Bij hogere pH neemt de Fe-beschikbaarheid ook sterk af door een sterkere adsorptie. In de bodemoplossing kan Fe in verschillende vormen voorkomen (FeOH ²⁺ , Fe(OH) ²⁺ , Fe(OH) ³ en Fe(OH) ⁴⁻), vormt het opgeloste complexen met anorganische anionen zoals chloride, sulfaat en fosfaat (Lindsay, 1991) en met organische liganden zoals opgeloste organische stof (humus- en fulvazuren of de kleinere organische zuren zoals citraat en oxalaat). | |
| Is er een risico op gebrek en / of toxiciteit? | Nee | In theorie zou Fe-gebrek kunnen voorkomen op kalkrijke gronden. In Nederland is ijzergebrek van geringe betekenis voor de akkerbouw. Van oudsher is Fe-gebrek aangetroffen op onvoldoende bekalkte of slecht ontgonnen dalgronden (onvoldoende bezanding van de bonkaarde, Smilde, 1965). |
| Omstandigheden voor gebrek | Gebrek aan Fe kan optreden op basische gronden, waaronder kalkrijke gronden, die dus een hoge pH hebben. De zuurgraad beïnvloedt de oplosbaarheid van Fe(hydr)oxiden en de adsorptie van Fe aan bodemdeeltjes. Ook de directe opname van Fe door de plantenwortel wordt beperkt bij een hoge pH. | |
| Omstandigheden voor toxiciteit | | |
| Interactie met andere nutriënten | | |
| Is grondonderzoek nodig? | Nee | |

| | |
|--|---|
| <p>Welke meetmethodiek(en) bodem</p> | <p>Een geschikte methode om de hoeveelheid beschikbaar Fe te bepalen ontbreekt . Er bestaan diverse methoden om Fe te extraheren, zoals met dithioniet, oxalaat en pyrofosfaat, maar geen van alle lijken een goede weergave te geven van de werkelijke hoeveelheid beschikbaar Fe. De Kreij et al. (1996) hebben aangetoond dat de correlatie tussen Fe in verschillende extracten (H₂O, CaCl₂, DTPA) en het Fe-gehalte in testplanten zwak is. Mogelijk wordt dit mede veroorzaakt door een groot verschil in de mate van phytosiderofore-uitscheiding tussen verschillende plantensoorten (Wattel-Koekkoek and Bussink 2013)</p> |
| <p>Welke meetmethodiek(en) gewas</p> | |
| <p>Relatie bodem (meetresultaten) en gewasrespons</p> | |
| <p>Relatie meetresultaten en advies</p> | |
| <p>Gewas specifiek advies</p> | |
| <p>Geadviseerde methode van bemesting</p> | <p>Bladbespuiting met chelaten of eventueel een bemesting van de bodem met Fe-chelaten. Fe-sulfaten worden ook gebruikt maar zijn veel minder effectief dan Fe-chelaten.</p> |
| <p>Mogelijke risico's voor de toekomst</p> | |

