



Effecten van bemesting op de weerbaarheid tegen ziekten en plagen in de akkerbouw

A.J. Termorshuizen, A. Mager & R. Postma



Termorshuizen, A.J., Mager, A., Postma, R. 2021. Effecten van bemesting op de weerbaarheid tegen ziekten en plagen in de akkerbouw. Aad Termorshuizen Consultancy, NMI en Hilbrands laboratorium B.V. 27 pp.

Aad Termorshuizen Consultancy, www.bodemplant.nl, Doorwerth.

Arjan Mager, Hilbrands laboratorium B.V., www.hlbbv.nl, Wijster.

Romke Postma, NMI (Nutriënten Management Instituut), www.nmi-agro.nl, Wageningen.

Deze deskstudie is gefinancierd door BO-Akkerbouw.

Dit rapport is te downloaden op www.bodemplant.nl/nieuws.

In deze deskstudie worden de mogelijkheden om met minerale bemesting de weerbaarheid tegen ziekten en plagen te beïnvloeden verkend. Effecten van de macronutriënten N, P, K, Ca, Mg en S en de micronutriënten Fe, Mn, Zn, Cu, Mo en B worden samengevat. Daarnaast wordt ook aandacht besteed aan Cl en Si, die door sommige buitenlandse auteurs gezien worden als 'quasi-essentiële' elementen, maar die in Nederland mogelijk als biostimulant moeten worden beschouwd. Aanbevelingen voor verder onderzoek worden gegeven.

Trefwoorden: akkerbouw, IPM, minerale bemesting, plantweerbaarheid, gewasweerbaarheid.

©Aad Termorshuizen Consultancy, NMI en Hilbrands laboratorium B.V, 2021. Teksten uit deze publicatie mogen worden overgenomen mits met bronvermelding zoals bovenaan deze pagina weergegeven.

De auteurs bedanken Rogier Kolnaar (Linge Agroconsultancy), Arjan Reijneveld (Eurofins, Wageningen), Laura van Schöll (NMI) en Gert C. van den Berg voor hun inbreng.

Publicatiedatum: 1 oktober 2021.



Inhoud

Samenvatting	4
1. Inleiding	6
2. Effecten van bemesting op de weerbaarheid van gewassen tegen ziekten en plagen	8
2.1. Stikstof (N)	8
2.2. Fosfor (P)	10
2.3. Kalium (K)	10
2.4. Calcium (Ca)	11
2.5. Magnesium (Mg)	12
2.6. Zwavel (S)	12
2.7. IJzer (Fe)	13
2.8. Mangaan (Mn)	13
2.9. Zink (Zn)	15
2.10. Koper (Cu)	15
2.12. Borium (B)	16
2.13. Chloor (Cl)	16
2.14. Silicium (Si)	17
3. Discussie	20
3.1. Nutriënttekorten	20
3.2. Experimentele aanpak	23
4. Conclusies	24
5. Referenties	25

Samenvatting

In deze deskstudie worden de mogelijkheden verkend om middels bemesting het gewas weerbaarder te maken tegen ziekten en plagen. Dat bemesting duidelijke effecten kan hebben op de gezondheid van het gewas is makkelijk in te zien onder omstandigheden van grote nutriëntentekorten: slecht groeiende planten zijn in het algemeen vatbaarder voor zwakteparasieten. Maar kan los van nutriëntentekorten de weerbaarheid verbeterd worden door de samenstelling van minerale bemesting aan te passen?

In het algemeen kan de weerbaarheid van planten tegen ziekten en plagen op drie manieren worden beïnvloed door toedoen van bemesting, nl. door effecten op:

- De anatomie (bv. chemische veranderingen in de epidermis of het aantal huidmondjes).
- De verdeling van nutriënten over de plant.
- De biochemische samenstelling.

Daarnaast zijn er ook indirecte effecten bekend:

- Versnelde ontwikkeling van een plant zodat het kiemplantstadium korter duurt leidt tot vermindering van het optreden van kiemplantschimmels.
- Bevordering van het bodemleven (bv. door de toepassing van organische mest of compost of verbetering van de bodemstructuur) vermindert de infectiekans door bodempathogenen.
- Met name stikstofbemesting beïnvloedt de stand en daarmee het microklimaat van het gewas.

De invloed van aangepaste bemesting op ziekten en plagen is beperkt. Daarom is een aangepaste bemesting weinig effectief bij zeer vatbare rassen en ook niet bij een hoge infectiedruk. Nutriëntentekorten kunnen de weerbaarheid van planten sterk verlagen, terwijl een supra-optimale bemesting meestal maar hooguit beperkte effecten heeft.

In de deskstudie wordt aandacht besteed aan effecten van bemesting op de weerbaarheid van planten voor wat betreft de macronutriënten N, P, K, Ca, Mg en S en de micronutriënten Fe, Mn, Zn, Cu, Mo en B. Daarnaast wordt ook aandacht besteed aan Cl en Si, die door sommige buitenlandse auteurs gezien worden als 'quasi-essentiële' elementen, maar die in Nederland waarschijnlijk als biostimulant moeten worden beschouwd.

Weliswaar bestaan er in de literatuur veel meldingen van effecten van bemesting op ziekten en plagen, maar de interpreteerbaarheid hiervan is vaak lastig omdat onduidelijk is of in experimenten is uitgegaan van een nutriëntentekort of niet. Waar er effecten op bovengrondse ziekten en plagen zijn gemeld, is de toepasbaarheid niet eenvoudig omdat het optreden van zulke ziekten en plagen lastig te voorspellen is.

De belangrijkste perspectieven om bemesting aan te passen met als doel een weerbaarder gewas te creëren staan samengevat in onderstaande tabel. Aanbevolen wordt om met name effecten van Si op de weerbaarheid van planten te onderzoeken. Ook wordt aanbevolen te onderzoeken of en in welke mate nutriëntentekorten in de akkerbouw optreden. Als deze optreden, dan zijn hier wat betreft de optimalisatie van weerbaarheid van gewassen quick wins te maken.

Samenvatting van de belangrijkste resultaten.

gewas	nutriënt	reduceert ziekte/plaag ¹
diverse	Ca (structuurverbetering)	diverse
diverse	hoger dan optimaal N	necrotrofe pathogenen
diverse	lager dan optimaal N	biotrofe pathogenen en insecten
diverse	Mn	verwelkingsziekte (<i>Fusarium</i> en <i>Verticillium</i>)*, biotrofe pathogenen
diverse	Si	diverse (zie par. 2.14)
aardappel	Ca	zwartbenigheid

gewas	nutriënt	reduceert ziekte/plaag ¹
aardappel	Mn	aardappelschurft (<i>Streptomyces scabies</i>)*
aardappel	N-NH ₄	aardappel X virus, gewone schurft (<i>Streptomyces scabies</i>)*, <i>Verticillium (V. dahliae)</i> *
aardappel	N-NO ₃	lakschurft (<i>Rhizoctonia solani</i> AG3)*
asperge	Cl	<i>Fusarium (F. oxysporum f. sp. asparagi)</i> *
gerst	Cl	diverse (zie par. 2.13)
kool	Ca en pH-verhogende meststoffen	knolvoet (<i>Plasmodiophora brassicae</i>)*
kool	Ca	stengelkanker (<i>Plenodomus lingam = Leptosphaeria maculans</i>)*
maïs	Cl	diverse soorten <i>Fusarium</i> incl. <i>Gibberella</i> (zie par. 2.13)*.
peulvruchten	N-NH ₄	wortelrot (<i>Berkeleyomyces basicola = Thielavia basicola = Chalara elegans</i>) (boon)*
peulvruchten	N-NO ₃	<i>Fusarium (F. solani)</i> (boon)*, <i>Rhizoctonia, (R. solani)</i> (boon)*
peulvruchten	Zn	wortel- en voetrot en kiemplantziekte (diverse pathogenen)*
peulvruchten	N-NH ₄	wortelrot (<i>Pythium spp.</i>) (erwt)*
peulvruchten	N-NO ₃	<i>Rhizoctonia</i> -kiemplantziekte (<i>R. solani</i>) (erwt)*
suikerbiet	Ca	kiemplantziekte (<i>Aphanomyces cochlioides</i>)*
rode biet	Cl	<i>Rhizoctonia</i> -wortelrot (<i>R. solani</i> AG2-2 IIIB)*
tarwe	N-NH ₄	tarwehalmdoder (<i>Gaeumannomyces graminis</i>)*
tarwe	N-NO ₃	oogvlekkenziekte (<i>Cercospora herpotrichoides</i>)*
tarwe, gerst, rogge, triticale	Cl	tarwehalmdoder (<i>Gaeumannomyces graminis</i>)*
tarwe, gerst, rogge, triticale	Mn	tarwehalmdoder (<i>Gaeumannomyces graminis</i>)*
tarwe, gerst, rogge, triticale	optimale, evenwichtige bemesting	tarwehalmdoder (<i>Gaeumannomyces graminis</i>)*

¹ Bodemgebonden ziekten zijn aangeduid met een *.

1. Inleiding

Kan bemesting ingezet worden op een manier dat het gewas weerbaarder wordt tegen ziekten en plagen? Dat is het onderwerp van deze deskstudie. Bemesting zal duidelijke effecten hebben op de gezondheid van het gewas bij een extreem tekort of overmaat van een nutriënt of wanneer de nutriënten in het geheel niet gebalanceerd zijn. Hierdoor slecht groeiende planten zijn in het algemeen vatbaarder voor zwakteparasieten. Het is de vraag in hoeverre in de Nederlandse landbouw nutriëntentekorten in die mate optreden dat ze de vatbaarheid voor ziekten en plagen significant verhogen. In deze literatuurstudie gaat het vooral om de vraag of bij een min of meer optimaal aanbod van nutriënten er nog aanpassingen mogelijk zijn in het bemestingsschema die maken dat de plant weerbaarder wordt tegen ziekten en plagen. Daarnaast wordt ook aandacht besteed aan mogelijke effecten van nutriëntentekorten.

Kader: Tolerante, weerbare of resistente planten?

Vaak worden de termen tolerantie, weerbaarheid en resistentie met elkaar verward. Weerbaarheid is synoniem met tolerantie. In de wetenschappelijke literatuur is tolerantie meer gangbaar, terwijl in Nederland de term weerbaarheid meer gebruikt wordt. Hier gebruiken we de term weerbaarheid. Het verschil tussen (partiële) resistentie en weerbaarheid/tolerantie zit in de mate waarin groei van het pathogeen in de plant mogelijk is. Weerbare planten hebben geen of minder last ondanks dat het pathogeen zich normaal ontwikkelt in de plant. Bij (partieel) resistente planten wordt het pathogeen in zijn groei (partieel) geremd. Voor deze deskstudie werd bij het zoeken naar literatuur geen strikt onderscheid gemaakt tussen resistentie en weerbaarheid, temeer omdat het onderscheid vaak lastig is (Pagán & García-Arenal, 2020).

Weerbaarheid tegen ziekten of plagen kan op drie manieren veranderen door toedoen van bemesting:

- Verandering in anatomie (bv. chemische veranderingen in de epidermis (bv. vorming van lignine) of het aantal huidmondjes).
- Verandering van de verdeling van nutriënten over de plant.
- Biochemische aanpassingen die leiden tot productie van stoffen die een negatief effect hebben op ziekte- en plaagorganismen.

Weerbaarheid tegen bepaalde ziekten en plagen kan ook schijnbaar worden aangepast door vermindering van het contact tussen waardplant en ziekte- en plaagorganisme, zoals bijvoorbeeld:

- Een versnelde ontwikkeling van een plant zodat het kiemplantstadium korter duurt. In zo'n geval zal het gewas minder worden aangetast door typische kiemplantschimmels. Bij peen bestaat de ervaring dat het verlagen van de basisbemesting leidt tot versnelde beginontwikkeling en dus een kortere duur van het stadium waar kiemplantschimmels kunnen toeslaan.
- Bevordering van het bodemleven (bv. door de toepassing van organische mest of compost, of verbetering van de bodemstructuur), zodat ziekte- en plaagorganismen minder in staat zijn de wortels van de waardplant te lokaliseren.
- Het door nutriëntenbeheer beïnvloeden van de wortelgroei. Een groter wortelstelsel zorgt ervoor dat deze gemakkelijker gevonden wordt door ziekte- en plaagorganismen, anderzijds is een groot wortelstelsel beter in staat schade te compenseren. Een groot wortelstelsel maakt planten weerbaarder tegen droogte, wat ook gunstige effecten heeft op de weerbaarheid tegen ziekten en plagen, en met name tegen zwakteparasieten.
- Een wijdere stand van het gewas leidt tot minder vochtophoping en daarmee minder infectie door vochtminnende schimmels, zoals bv. *Botrytis (B. cinerea)*.

Het is lastig om in zijn algemeenheid uitspraken te doen hoe een gewas door aanpassing van de bemesting weerbaarder kan worden gemaakt tegen ziekte- en plaagorganismen. Of dit mogelijk is hangt veelal af van de specifieke interactie tussen het gewas en het ziekte- of plaagorganisme. Toch zijn er wel enkele algemene uitspraken mogelijk:

- Het door bemesting beïnvloeden van het weerstandsniveau heeft weinig kans bij zeer vatbare rassen. Zulke rassen worden zelfs bij geringe infectiedruk behoorlijk ziek. Een aangepaste bemesting zal de ziektesymptomen dan nauwelijks beïnvloeden.
- Bij hoge infectiedruk zal aangepaste bemesting weinig effectief zijn.
- Bij hoog-resistente rassen zal aangepaste bemesting in het algemeen niet nodig zijn.
- Het opheffen van een nutriëntentekort heeft in het algemeen een duidelijk positief effect op de weerbaarheid tegen ziekte- en plaagorganismen. Hierdoor functioneert het resistentiemechanisme van de plant beter; bovendien wordt het compenserend vermogen van de plant versterkt (d.w.z. door infectie of vraat afgestorven plantendelen kan de plant makkelijker vervangen).

Bij onderzoek naar effecten van bemesting op de weerbaarheid tegen ziekten en plagen is het van belang wat het uitgangspunt van bemesting is. Wordt als uitgangspunt een suboptimale bemesting genomen, dan zal al snel blijken dat bemesting de weerbaarheid duidelijk verhoogt. Suboptimaal kan hier zowel betekenen een suboptimaal niveau als een suboptimale verhouding tussen de verschillende nutriënten (onbalans). Uitgangspunt voor deze studie is geweest een optimale bemesting zoals beschreven in www.handboekbodembemesting.nl. De vraag is of aanpassingen hierin de weerbaarheid van planten kan versterken. Daar waar een tekort of onbalans voor grote problemen kan zorgen zal dit wel worden aangegeven. Ook situaties waarin tekorten aan specifieke micronutriënten kunnen optreden zullen worden aangegeven.

In deze deskstudie zijn enkele literatuuroverzichten als uitgangspunt genomen: met name het uitgebreide boek *Mineral nutrition and plant disease* van Datnoff et al. (2007), Huber et al. (2012) in het standaardwerk *Marschner's mineral nutrition of higher plants* en het review door Deliopoulos et al. (2010). Uiteraard is ook de meer recente literatuur onderzocht.

Momenteel staan nanodeeltjes met o.a. de essentiële micronutriënten Cu en Zn in de belangstelling, waarbij er ook effecten zijn op plantenziekten (Elmer & White, 2018; Elmer et al., 2019; Adisa et al., 2019). Nanodeeltjes zouden bij veel geringere concentraties werkzaam zijn als gewasbeschermingsmiddel dan traditionele gewasbeschermingsmiddelen gebaseerd op deze micronutriënten. Ook voor nanodeeltjes van andere elementen is in de wetenschappelijke literatuur aandacht, zoals van MgO, SiO, Mn, Fe en S, alsmede Ag, Al, Au en Ce. Deze ontwikkelingen worden hier verder niet behandeld, omdat we hiermee op het terrein komen van de gewasbeschermingsmiddelen.

In hoofdstuk 2 wordt de relatie tussen bemesting en ziekten en plagen besproken per element. Ook is aandacht voor chloor (Cl) en silicium (Si) vanwege specifieke effecten die in de literatuur worden gemeld. In hoofdstuk 3 worden de resultaten samengevat, en in hoofdstuk 4 worden conclusies getrokken.

2. Effecten van bemesting op de weerbaarheid van gewassen tegen ziekten en plagen

Dit hoofdstuk behandelt mogelijke effecten van bemesting per nutriënt, met de macronutriënten N, P, K, Ca, Mg en S in par. 2.1 t/m 2.6 en de micronutriënten Fe, Mn, Zn, Cu, Mo en B in par. 2.7 t/m 2.12. Bij de behandeling van de micronutriënten is dankbaar gebruik gemaakt van het recente rapport van Brinks & van Rotterdam (2020). Tot slot wordt aandacht besteed aan Cl (par. 2.13) en aan Si (par. 2.14), die soms quasi-essentiële nutriënten worden genoemd.

2.1. Stikstof (N)

De rol van N-bemesting in ziekteontwikkeling is nogal eens tegenstrijdig. Redenen daarvoor kunnen zijn:

- Studies geven niet aan wat het basisniveau van N-bemesting is geweest.
- Studies geven niet aan wat de vorm van N-bemesting is geweest.
- Biotrofe en facultatieve pathogenen reageren verschillend (zie onder).

Het algemene effect van de hoeveelheid door de plant opgenomen N als functie van het type pathogeen is afgebeeld in Figuur 1. Biotrofe pathogenen en parasieten zijn afhankelijk van suikers die bij de fotosynthese gevormd worden. In dit verband heeft N-bemesting de volgende effecten:

- De groei van planten wordt bevorderd, wat resulteert in een toename in de verhouding van jong blad ten opzichte van oud blad, wat gunstig is voor biotrofe pathogenen.
- Aminozuren accumuleren in cellen, wat aantrekkelijk is voor biotrofe pathogenen.
- Typische stoffen die bekend staan om hun associatie met plantweerbaarheid, zoals accumulatie van fenolen en lignine, raken meer verdund.
- Accumulatie van Si (zie par. 2.14) vermindert.

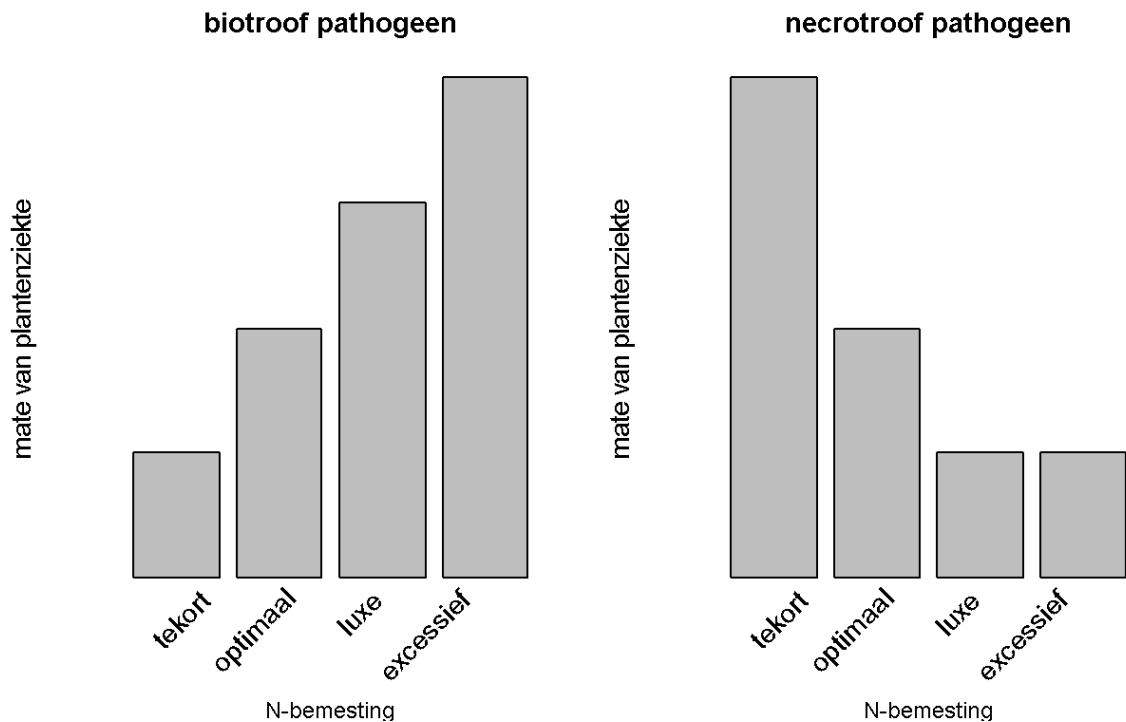
Al deze effecten van verhoogde N-bemesting maken dat biotrofe pathogenen worden gestimuleerd. Genoemde effecten worden nog versterkt bij tekorten aan B, Ca en Zn.

Kader: Biotrofe en necrotrofe pathogenen en insecten

Biotrofe (= obligate) pathogenen en insecten zijn organismen die zich alleen kunnen voeden met levende planten en deze niet doden. Voorbeelden: valse en echte meeldauwschimmels, roestschimmels, bladluizen.

Necrotrofe (= facultatieve) pathogenen doden planten door zich daarmee te voeden. Vaak leven ze nog voort op het gedode plantenmateriaal. Voorbeelden: bladvlekkenziektes, wortelrot, omvalziekte. Kiemplantziektes worden veroorzaakt door necrotrofe pathogenen.

De effecten op biotrofe en necrotrofe pathogenen hoeven echter niet zo duidelijk te zijn als het hier lijkt: zo geeft meer stikstof minder kans aan de necrotrofe *Botrytis* (*Botrytis cinerea*; Hoffland et al., 1999), maar als dit een meer weelderig gewas tot gevolg heeft, dan kunnen de vochtigere omstandigheden in het gewas de ontwikkeling van *Botrytis* toch sterk stimuleren. Dit kan dan tot gevolg hebben dat het op zich gunstige effect van N-bemesting tenietgedaan wordt; het uiteindelijke effect van N-bemesting kan dan zelfs negatief zijn. Iets vergelijkbaars geldt voor rattenkeutelziekte (*Sclerotinia sclerotiorum*; necrotroof), waarbij het pathogeen onder vochtige omstandigheden van een dicht gewas meer vruchtlichamen produceert en daardoor voor hogere infectiedruk zorgt. Dit geeft aan dat concentreren op één factor (hier de N-bemesting) hachelijk kan zijn.



Figuur 1. Schematische weergave van het algemene effect van N-bemesting. Bij biotrofe pathogenen (bv. roesten, meeldauwen) en parasieten (bladluizen) is de aantasting heftiger bij boven-optimale N-bemesting; bij necrotrofe pathogenen (bv. bladvlekkenziekten) is dit effect juist omgekeerd (naar Huber et al., 2012).

Naast de hoeveelheid N-bemesting kan ook de vorm, ammonium (NH_4) of nitraat (NO_3), een rol spelen. In de literatuur wordt vaak beïnvloeding van de pH van de directe wortelomgeving (de rhizosfeer) genoemd als mogelijk mechanisme: NO_3 leidt tot een minder zuur milieu en NH_4 tot een zuurder milieu. De pH kan directe effecten hebben op de dynamiek van het pathogeen; vaak spelen ook effecten op antagonisten een rol. Tabel 1 geeft een overzicht van plant-pathogeeninteracties waarbij is aangetoond dat de vorm van N een rol speelt. Het gaat hier weliswaar om significante effecten die ook in veldexperimenten zijn toegepast, maar de omvang hiervan is bijna steeds gering. Daarnaast zijn effecten van NH_4 in de praktijk waarschijnlijk beperkt omdat dit snel nitrificeert tot NO_3 , tenzij nitrificatieremmers worden toegepast.

Management van ziekten en plagen via N-bemesting is lastig omdat meestal van tevoren niet bekend is welk pathogeen of insect tot een schadelijk optreden zal leiden. Daarom bevelen Huber & Thompson (2007) vooral aan om de N-bemesting zodanig te optimaliseren dat niet te grote hoeveelheden N in één keer in beschikbare vorm in de grond terechtkomen en wel zodanig, dat de plant noch tekorten ondervindt, noch dat er een surplus van plant-beschikbare N in de grond aanwezig is.

Tabel 1. Effecten van toegenomen ziektevering bij toepassen van N in de vorm van nitraat (NO₃) en ammonium (NH₄).

gewas	ziekte
minder ziekte bij toepassing van NO₃ c.q. bij hogere pH	
asperge	Fusarium (<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>asparagi</i>)
boon	Fusarium (<i>F. solani</i>), Rhizoctonia (<i>R. solani</i>)
kool	knolvoet (<i>Plasmodiophora brassicae</i>)
erwt	Rhizoctonia-kiemplantziekte (<i>R. solani</i>)
aardappel	lakschurft (<i>Rhizoctonia solani</i>)
tarwe	oogvlekkenziekte (<i>Cercospora herpotrichoides</i>)
minder ziekte bij toepassing van NH₄ c.q. bij lagere pH	
boon	wortelrot (<i>Berkeleyomyces basicola</i> = <i>Thielavia basicola</i> = <i>Chalara elegans</i>)
ui	witrot (<i>Sclerotium cepivorum</i>)
erwt	wortelrot (<i>Pythium</i> spp.)
aardappel	aardappel X virus, gewone schurft (<i>Streptomyces scabies</i>), Verticillium (<i>V. dahliae</i>)
tarwe	tarwehalmdoder (<i>Gaeumannomyces graminis</i>)

2.2. Fosfor (P)

In de literatuur zijn vele voorbeelden te vinden van positieve of negatieve effecten van P op plantenziektes (Prabhu et al., 2007; Deliopoulos et al., 2010), waarbij het dan lang niet altijd duidelijk is wat de uitgangssituatie van P is geweest (tekort, optimaal, surplus). Bovendien is in veel studies ook niet duidelijk hoe de situatie was met betrekking tot de andere elementen, met name N, wat de interpretatie van veel studies nog lastiger maakt. Hoe dan ook, effecten van verhoogde P-bemesting ten opzichte van de al hoge P-status in de meeste Nederlandse landbouwgronden zijn niet waarschijnlijk. Daarom lijken er momenteel weinig opties om door middel van aangepaste P-bemesting ziektes en plagen te onderdrukken.

De hoge P-status van de meeste Nederlandse landbouwbodems belemmert de ontwikkeling van arbusculaire mycorrhiza. Van arbusculaire mycorrhiza wordt soms aangenomen dat die de plantgezondheid bevordert. Als dat zo is, dan zou een lage P-status van de bodem moeten worden nagestreefd, in combinatie met een beperkte P-bemesting. Het lijkt echter uitgesloten dat arbusculaire mycorrhiza dan de voordelen biedt die er nogal eens aan worden toegeschreven, zoals verhoogde weerbaarheid tegen ziekten en plagen en verbeterde tolerantie voor droogte. Deze eventuele voordelen zouden dan groter moeten zijn dan de opbrengstderving ten gevolge van de beperkte beschikbaarheid van P. Reviews geven vooralsnog geen aanleiding om hoge infecties door mycorrhiza na te streven (Yakhin et al., 2017; Lekberg & Koide, 2005). Los hiervan is het voor zeer veel percelen problematisch om een lage P-status te verwezenlijken.

2.3. Kalium (K)

K is in de plant nodig o.a. voor de productie van complexe verbindingen, en het speelt een belangrijke rol bij het reguleren van de osmotische potentiaal van plantencellen (Hawkesford et al., 2012). Een K-tekort leidt tot accumulatie van laag-moleculaire, makkelijk afbreekbare verbindingen, die aantrekkelijk zijn voor zowel biotrofe als voor necrotrofe pathogenen en insecten; daarnaast maakt K-tekort planten ook vatbaarder voor abiotische stress (Cakmak, 2005; Huber et al., 2012; Zörb et al., 2014). Duidelijke effecten van meer K-bemesting boven wat optimaal is voor plantengroei zijn er niet.

Effecten van K zijn dus asymmetrisch: een tekort kan aanzienlijke problemen opleveren voor de gezondheid van een gewas, een teveel heeft geen toegevoegde waarde.

Kader: kali-bemestingsadvies

Het K-bemestingsadvies is opgebouwd uit een bodemgericht en een gewasgericht advies (zie www.handboekbodemenbemesting.nl). Het bodemgerichte advies is gericht op het handhaven van de K-toestand in de bodem door het compenseren van de onttrekking en afvoer met gewassen. Het gewasgerichte advies is gericht op het realiseren van een goede opbrengst en kwaliteit van het gewas bij een bepaalde K-toestand van de bodem. Hiertoe zijn gewassen ingedeeld in gewasgroepen met een verschillende K-behoefte: poot- en consumptieaardappelen, suikerbieten en uien vallen in gewasgroep 1 en hebben een hoge K-behoefte, zetmeelaardappelen en aardappelen voor de verwerkende industrie vallen in gewasgroep 2 en granen en maïs in gewasgroep 4 met de laagste K-behoefte (gewasgroep 3 bestaat alleen uit voederbieten). Bij aardappelen heeft een hoge K-gift een negatief effect op het zetmeelgehalte c.q. het onderwatergewicht en een positief effect op het voorkomen van blauwgevoeligheid. Dat is de reden dat het K-advies voor consumptieaardappelen hoger is dan voor zetmeelaardappelen. Bij suikerbieten is K eveneens van belang voor de groei maar tegelijkertijd dient het K-gehalte vanuit het oogpunt van winbaarheid niet te hoog te zijn (Bussink et al., 2020). De K-afvoer met de oogst van een aardappelgewas is ca. 300 kg K₂O/ha, met suikerbieten ca. 175 kg K₂O/ha en met tarwe (incl. stro) en uien ca. 100 kg K₂O/ha.

2.4. Calcium (Ca)

In deze paragraaf wordt ook het effect van pH-verhoging van de grond meegenomen. Die wordt vaak bereikt door toepassing van CaCO₃ of door een mengsel van CaCO₃ en MgCO₃ (dolokal). Ca speelt een belangrijke rol in de fysiologie van planten. Een plant met Ca-tekort functioneert daarom niet goed en is daarmee in het algemeen vatbaarder voor stress. De effecten van Ca vallen uiteen in directe effecten op de plant-pathogeeninteractie en indirecte effecten via structuurverbetering van grond. Ook pH-verhoging kan hierbij een rol spelen.

Ca-effecten op de plant-pathogeeninteractie.

- Verhoging van de pH door bekalking tot een pH van 7 of hoger¹ reduceert de aantasting door knolvoet (*Plasmodiophora brassicae*) bij koolgewassen. De rustsporen van de ziekteverwekker kunnen dan niet kiemen; ze blijven echter wel intact. Bekalking met een Ca-houdende kalkstof zoals CaCO₃ heeft de voorkeur omdat uit onderzoek gebleken is dat ook Ca zelf knolvoet onderdrukt. Ca-bemesting heeft ook een gunstig effect op knolvoet via de structuurverbeterende effecten die het teweeg brengt (zie onder).
- Mogelijk speelt pH-verhoging tot 7 of hoger een rol bij de onderdrukking van roodrot (*Phytophthora erythroseptica*) in aardappelen (Benson et al., 2009ab). Wellicht speelt Ca-voeding ook een directe rol bij de onderdrukking van dit pathogeen.
- Hogere Ca-gehalten zijn gecorreleerd met verminderde stengelkanker (*Plenodomus lingam* = *Leptosphaeria maculans*) bij koolzaad en andere cruciferen (Rhaman & Punja, 2007). Of Ca-bemesting ook daadwerkelijk helpt om de ziekte te onderdrukken is niet duidelijk.
- Een verhoogd Ca-gehalte van pootaardappelen vermindert de aantasting door zwartbenigheid.
- Bij vaatschimmels (*Fusarium oxysporum* en *Verticillium dahliae*) lijkt een negatief verband te zijn tussen de Ca-concentratie in het sap van de houtvaten (xyleem) en vatbaarheid. Of Ca-bemesting daadwerkelijk helpt de ziekte te onderdrukken is niet duidelijk.

¹ In de internationale literatuur kan dit pH-H₂O, pH-CaCl₂ of pH-KCl zijn, de bronnen variëren, maar meestal wordt pH-H₂O aangegeven.

Overigens stimuleert bekalking tot pH > 7 aardappelschurft (*Streptomyces* spp.). Het doelgericht verzuren van de bodem met een volveldse toepassing van zwavelzure ammoniak voor het poten kan effectief zijn (Bus, 2002).

Indirecte effecten van Ca door structuurverbetering.

Veel bodempathogenen zijn schadelijk op bodems met slechte structuur (Termorshuizen et al., 2020). Het betreft pathogenen die gedijen op natte gronden, zoals poederschurft (*Spongospora subterranea*) en roodrot (*Phytophthora erythroseptica*) in aardappel en wortelrot en kiemplantuitval bij peulvruchten (*Aphanomyces euteiches*, *Pythium*, bodemgebonden *Phytophthora*) en Rhizoctonia (zowel AG2-1 (kiemplantziekte en zwartpoot bij o.a. kool) als bij AG2-2 IIIB (wortelrot bij o.a. suikerbiet). Ook bij knolvoet (*Plasmodiophora brassicae*) heeft structuurverbetering een gunstig effect. Verder zijn er aanwijzingen dat de pH van de bodem een rol speelt bij cavity spot bij peen, veroorzaakt door *Pythium violae* (vooral op lichte klei) en *P. sulcatum* (vooral op zand): meer ziekte bij pH < 6,5 en ziekte ontbrekend bij pH > 8,0² (Scaife et al., 1983; White, 1988). Bekalking tot een Ca-AL-gehalte³ > 250 mg/100 g wordt geadviseerd op probleempercelen met kiemplantziekte en wortelrot in bieten veroorzaakt door *Aphanomyces cochlioides* (Olsson et al., 2019).

2.5. Magnesium (Mg)

Net als bij K (par. 2.3) heeft een Mg-tekort grote gevolgen voor de gezondheid van een gewas. Allerlei essentiële fysiologische processen worden beïnvloed door een Mg-tekort. Met name de verdeling van fotosyntheseproducten over de plant wordt verstoord. Anders dan bij K worden effecten van Mg-tekort op de weerbaarheid tegen ziekten en plagen nauwelijks genoemd in de literatuur. Voor akkerbouwgewassen zijn er geen effecten van een supra-optimale Mg-bemesting die leiden tot toegenomen ziekteverendheid.

2.6. Zwavel (S)

S is een essentieel element voor planten omdat de aminozuren cysteïne en methionine dit bevatten. Deze aminozuren zijn de hoofdcomponenten van de meeste planteneiwitten. Gedurende de laatste decaden van de 20ste eeuw was S-tekort geen issue vanwege de hoge gehalten aan SO₂ in de lucht door luchtverontreiniging. Tegenwoordig is S-bemesting weer noodzakelijk. S-tekorten leiden duidelijk tot een verlaagde weerbaarheid tegen diverse plantenziekten. S speelt een essentiële rol in de opbouw van ziekteverendheid in planten (Haneklaus et al., 2007): het is o.a. in verband gebracht met processen die geïnduceerde resistentie teweegbrengen, meer specifiek met de productie van H₂O₂ en salicylzuur door planten. In wortellexudaten kunnen bepaalde gassen aanwezig zijn (H₂S en dimethylsulfide (CH₃-S-S-CH₃)), die in verband gebracht zijn met ziekteverendheid, maar niet bekend is hoe de productie van deze exudaten kan worden bevorderd door manipulatie met bemesting. Een supra-optimale bemesting lijkt in elk geval niet tot een verhoogde ziekteverendheid te leiden. Ditzelfde geldt voor andere moleculen met S die in verband gebracht zijn met ziekteverendheid (elementaire S, fytoalexines, specifieke eiwitten).

Toepassing van 50 kg/ha S, zowel in de vorm van S (elementair) als K₂SO₄, bleek de resistentie van de aardappelplant tegen lakschurft (*Rhizoctonia solani* AG3) significant te verhogen (onderzoek uit Polen op een zavelige grond met hoog (10%) organische-stofgehalte; Klikocka et al., 2005). Het

² De pH-analysemethode (pH-H₂O, -CaCl₂ of -KCl) staat in de bronnen niet aangegeven.

³ Ca-AL = calcium bepaald in ammoniumlactaat-extract.

betreft één onderzoek. Voor Nederland vonden Hospers et al. (2015) onvoldoende aanwijzingen voor zo'n effect.

Aan de S-bevattende glucosinolaten wordt ook een dodende werking op plantenpathogenen toegeschreven. Dit effect, dat in Nederland nog onvoldoende resultaten heeft om aan te bevelen voor de praktijk, wordt evenwel niet verkregen door bemesting maar door de teelt van specifieke gewassen die hoge gehalten aan isothiocyanaten bevatten, waarbij dan bij de microbiële afbraak isothiocyanaten worden gevormd die toxisch zijn voor diverse bodempathogenen. Zie verder Termorshuizen et al. (2020, p. 18) en voor de toepassing van zaadmeel ook Termorshuizen & Postma (2021).

Naast S als meststof wordt S ook toegepast als gewasbeschermingsmiddel. Het kan hierbij gaan om elementair S, maar ook om allerlei verbindingen waarin S aanwezig is. In Nederland is het middel spuitzwavel toegelaten voor de bestrijding van meeldauw in een aantal fruitteelt- en sierteeltgewassen (www.ctgb.nl).

2.7. IJzer (Fe)

Fe is een essentieel microelement voor alle planten (Expert, 2007). Het is benodigd voor de aanmaak van chlorofyl. Fe-tekort komt met name voor op kalkrijke gronden (Brinks & van Rotterdam, 2020).

In het verleden is veel onderzoek gedaan naar de mogelijkheid van het inzetten van bacteriële antagonisten (vooral *Pseudomonas fluorescens*) die in de rhizosfeer zodanig efficiënt kunnen concurreren om Fe dat diverse plantenpathogenen door Fe-tekort onderdrukt werden. Evenwel blijkt dit vooral, of alleen, te werken in gronden met een Fe-gebrek.

In onderzoek naar poederschurft bij aardappelen (*Spongospora subterranea*) is de toepassing van Fe-EDTA in onderzoek, maar nog niet rijp voor de praktijk (Balendres et al., 2018). Fe-EDTA zou de kieming van de rustsporen stimuleren. Als dat zo is dan verlaagt dat de besmetting in de bodem.

2.8. Mangaan (Mn)

Mn is een essentieel microelement dat een rol speelt bij de fotosynthese en bij de productie van afweerstoffen. Mn-tekorten kunnen vooral optreden bij granen, aardappel, bieten, bonen, erwten en gerst (Brinks & van Rotterdam, 2020). Voor aardappel en gerst is aangetoond dat de reactie op Mn-bemesting rasafhankelijk is, waarbij verschillen in reactie van aardappelrassen waarschijnlijk samenhangen met verschillen in beworteling en vroegrijpheid (o.a. Wattel-Koekkoek & Postma, 2003). Er is vooral een risico op Mn-tekort bij hoge pH (op zand en klei vanaf resp. pH-KCl > 5,4 en pH-KCl > 7); verder bevorderen een hoog organische-stofgehalte en droge omstandigheden het risico op Mn-tekort. Een rol speelt hierbij dat Mn onder zuurstofrijke omstandigheden makkelijk oxideert in vormen die niet opneembaar zijn voor planten: Mn²⁺ is de opneembare vorm, Mn³⁺ en Mn⁴⁺ zijn geoxideerde vormen die niet opneembaar zijn. Mn²⁺ domineert in zuurdere gronden.

Mn-tekort kan ontstaan door toedoen van de tarwehalmdoder (*Gaeumannomyces graminis*) bij tarwe, triticale, rogge en gerst. Deze pathogene schimmel concurreert met de plant om Mn en zet Mn²⁺ door oxidatie ook om in voor de plant niet opneembare Mn³⁺ en Mn⁴⁺. Vaak wordt beweerd dat bemesting met N-NH₄ en de toepassing van nitrificatieremmers de ziekte voldoende kan onderdrukken (Thompson & Huber, 2007), maar zulke ervaringen zijn er in Nederland niet, waarschijnlijk omdat N-NH₄ snel wordt omgezet in N-NO₃. Los van Mn is van de tarwehalmdoder ook bekend dat een evenwichtige, optimale bemesting van groot belang is bij de plantweerbaarheid. Met name tekorten aan N, P en Cu bevorderen de ziekte.⁴

⁴ In wetenschappelijk onderzoek is aangetoond dat de werking van sommige antagonistische bacteriën (vooralsnog niet beschikbaar voor de praktijk) gebaseerd is op concurrentie met het pathogeen om Mn. Er is veel geschreven over de ecologie en beheersing van de tarwehalmdoder, en Mn is hier [zie verder p. 14...]

Zoals bij veel literatuur over het effect van meststoffen op de plantweerbaarheid is het ook bij Mn vaak niet duidelijk of bepaalde effecten toe te schrijven zijn aan evidente tekorten of dat er ook meerwaarde zit in een hoger dan optimale bemesting. Toch is de hoeveelheid literatuur over effecten van Mn-bemesting op plantweerbaarheid opmerkelijk omvangrijk (Thompson & Huber, 2007). In zijn algemeenheid is er een negatieve correlatie gevonden tussen Mn-beschikbaarheid en plantenpathogene schimmels en bacteriën, en een positieve correlatie met virusziektes. Effecten van vermindering van ziekte ten gevolge van Mn-bemesting zijn gevonden zowel voor bovengrondse als voor ondergrondse pathogenen. Bij de bovengrondse schimmels gaat het zowel om biotrofe schimmels (roesten, echte en valse meeldauwen) als om necrotrofe schimmels en bacteriën (o.a. aardappelziekte (*Phytophthora infestans*)). Effecten op aardappelziekte zijn uit Nederland niet bekend, en voor de praktijk zinvolle effecten zijn onwaarschijnlijk. Effecten van Mn op vaatschimmels (*Fusarium* en *Verticillium*) worden nadrukkelijk genoemd. Mn-bemesting blijkt aardappelschurft (*Streptomyces scabies*) te onderdrukken. Twee mechanismen spelen hierbij: toegenomen resistentie van de aardappelknol en beperking van de groei van de schurftbacterie voorafgaand aan infectie. In praktijkonderzoek zijn deze effecten op aardappelschurft echter lang niet altijd vastgesteld. De weerbaarheid tegen voor het voor Nederland op dit moment belangrijker wordende Havercysteeltje (*Heterodera avenae*) in gerst, met vooral haver en tarwe en daarnaast andere granen en grassen als waardplanten, bleek fors toe te nemen door Mn-bemesting (Huber et al., 2012).

Omdat Mn niet vanuit de spruit naar het wortelsysteem wordt getransporteerd, worden bodempathogenen alleen beïnvloed met een bodembemesting. Vaatschimmels reageren zowel op een blad- als bodembemesting.

Het is interessant om na te gaan of Mn-gevoelige gewassen in situaties waar Mn-tekorten kunnen optreden (zoals bij droogte) geholpen kunnen zijn met additionele bemesting. In situaties waarin Mn in de bodem wordt geïmmobiliseerd (gronden met hoge pH, zie boven) heeft het vanuit het oogpunt van de nutriëntenvoorziening de voorkeur om bladbemesting toe te passen, waarmee dan eventueel alleen bovengrondse aantastingen zullen verminderen.

Zoals bij meer micronutriënten is het moeilijk om conclusies te trekken omdat bij veel onderzoek niet duidelijk is of het plaatsvond onder Mn-limiterende omstandigheden. Bovendien is veel van het onderzoek dat in Thompson & Huber (2007) geciteerd wordt mogelijk gedateerd. Ten opzichte van andere micronutriënten is de situatie hier iets anders omdat Mn-tekorten ook kunnen ontstaan bij voldoende Mn-bemesting, nl. op niet-zure zandgronden (vanaf pH-KCl > 5,4), na bekalking, onder droge omstandigheden en bij bemesting met N-NO₃. Dit laatste zal in de praktijk niet vaak voorkomen gezien de substantiële hoeveelheden N-NH₄ die in de praktijk worden toegepast. Aanbevolen wordt om situaties van potentiële Mn-tekorten op te zoeken, en als deze blijken te bestaan (middels gewasanalyse) te zien of Mn-bemesting tot weerbaardere planten leidt. Als bodempathogenen een knelpunt vormen kan dat het best gebeuren via een bodembemesting, terwijl in andere situaties bladbemesting de voorkeur heeft.

[...voortzetting voetnoot p. 13] maar één onderdeel van. Het belangrijkste aspect is dat vooral op zavelgronden de ziekte bij continueelt van waardplanten spontaan afneemt nadat gedurende de eerste jaren de ziekte sterk toenam. Gevonden is dat dit veroorzaakt wordt door de spontane ontwikkeling van antagonistische bacteriën die voor het pathogeen toxische stoffen vormen.

2.9. Zink (Zn)

Zn is voor planten een essentieel micronutriënt dat een rol speelt bij de synthese van aminozuren en eiwitten. Het speelt o.a. een rol bij allerlei stress-gerelateerde processen, zowel abiotische als biotische, waaronder die de weerbaarheid van het gewas beïnvloeden. Echter, effecten van Zn hierop uiten zich vooral in situaties van een Zn-tekort. Zn-tekorten doen zich volgens Brinks & van Rotterdam (2020) vooral voor in maïs en daarnaast ook in peulvruchten, sla, spinazie, bonen en uien, maar het is twijfelachtig of Zn-tekorten in Nederland van belang zijn gezien de algemene toepassing van organische mest en compost. De oplosbaarheid bij hoge pH is gering, zodat vooral daar Zn-tekorten optreden. Zn-tekorten kunnen ook de effectiviteit van biologische bestrijders beïnvloeden (Duffy, 2007). Effecten lijken vooral op te treden bij antagonistische bacteriën, die bij Zn-tekort kunnen worden geremd in hun productie van toxines die werken tegen plantenpathogenen, zoals fenazine en 2,4-diacetylfloroglucinol. Evenwel lijkt dit alleen van belang te zijn bij gronden met een Zn-tekort.

Opvallend is de relatief grote hoeveelheid literatuur die aangeeft dat allerlei ziekten bij peulvruchten kunnen worden gereduceerd door adequate niveaus van Zn. Zo vonden Kalim et al. (2003) bij een niveau van 20 mg ZnSO₄/kg grond 44% reductie van *Rhizoctonia (R. solani)* in kikkererwt. Soortgelijke meldingen zijn er voor de pathogenen *Peyronella pinodes* (= *Didymella pinodes* = *Mycosphaerella pinodes*), *Didymella pinodella* (= *Phoma medicaginis*), valse meeldauw (*Peronospora viciae*), *Phytophthora megasperma* f. sp. *medicaginis* en *Pseudopeziza medicaginis* in allerlei peulvruchten. Hoewel de meeste of al deze studies betrekking hadden op gronden met een Zn-tekort, is hier toch wel duidelijk dat Zn bij peulvruchten aparte aandacht verdient, mede ook omdat rassen sterk kunnen verschillen in Zn-behoefte en/of -opnamecapaciteit (Duffy, 2007). Mogelijk speelt Zn een rol bij het herstelvermogen van de wortels als reactie op bodempathogenen. Het verdient aanbeveling nader onderzoek te doen naar het effect van Zn op percelen met problemen met voetziekte bij peulvruchten.

Het gebruik van zinkoxide (ZnO) in hogere hoeveelheden als gewasbeschermingsmiddel tegen poederschurft in aardappelen (*Spongospora subterranea*) is niet effectief gebleken (Falloon et al., 1996). Dit onderzoek was opgezet omdat bleek dat ZnO wel werkt tegen deze schimmel in waterkers (*Spongospora subterranea* f. sp. *nasturtii*).

Bij Zn-bemesting kan bij overdosering flinke schade optreden.

2.10. Koper (Cu)

Cu is een essentieel microelement dat nodig is bij allerlei fysiologische processen in planten. In sommige gevallen wordt Cu ook als essentieel gezien bij de expressie van resistentie tegen bepaalde schimmelziekten. Voorbeelden hiervan die relevant zijn voor de Nederlandse akkerbouw ontbreken echter. Beïnvloeding van plantenziekten of -plagen door Cu-bemesting lijkt alleen een rol te spelen daar waar een Cu-tekort is. Volgens Brinks & van Rotterdam (2020) is het risico op Cu-tekort het grootst bij granen op gronden met een hoog organische-stofgehalte. Bij een lage of vrij lage Cu-toestand van de bodem bestaat het bemestingsadvies uit een advies van 2,5-6 kg Cu/ha (www.handboekbodemenbemesting.nl).

Samen met zwavel behoort Cu tot de oudste chemische gewasbeschermingsmiddelen van schimmels. Hierbij gaat het dan om bladbespuitingen in concentraties die ongeveer een factor 100 hoger liggen dan die gebruikelijk zijn bij bemesting. Er zijn op dit moment in Nederland geen gewasbeschermingsmiddelen op basis van kopersulfaat of koperoxychloride toegelaten (www.ctgb.nl).

2.11. Molybdeen (Mo)

Mo is een essentieel microelement dat vooral nodig is bij processen die gerelateerd zijn aan stikstof, zoals de opname en de omzetting in eiwitten. Ook is het bij vlinderbloemigen van belang bij de vorming van wortelknolletjes. Mo-tekort kan voorkomen bij vlinderbloemigen, bloemkool en bieten en in mindere mate bij maïs, kool, sla, spinazie, tomaat en rogge, vooral op ijzerrijke zand- en dalgronden met $\text{pH-CaCl}_2 < 5,4$. Op waterrijke, slecht gedraineerde gronden kan Mo-toxiciteit optreden. Er zijn praktisch geen aanwijzingen dat gerichte Mo-bemesting de weerbaarheid van het gewas kan bevorderen (Graham & Stangoulis, 2007a).

2.12. Borium (B)

B is een essentieel microelement bij fysiologische processen in planten, vooral die te maken hebben met celdeling. Volgens Brinks & van Rotterdam (2020) zijn de meest voor B-gebrek gevoelige gewassen suikerbieten, maïs, luzerne, koolzaad, selderij, bloemkool, broccoli en wortel. Bij droogte kan de beperkte opname leiden tot acuut B-gebrek, zoals wel is waargenomen in aardappelen. B is uitspoelingsgevoelig. B-tekorten worden versterkt bij $\text{pH} < 4$ en $\text{pH} > 6$, dus ook vlak na bekalking. B-gebrek is afwezig op kleigronden met een organische-stofgehalte $> 5\%$. B-toxiciteit kan ook door overdosering optreden; vooral maïs is hiervoor gevoelig.

Veruit de meeste gevallen waarin sprake is van effect van B-bemesting op plantenziekten is het effect het gevolg van het verhelpen van B-tekort. Effecten van B op knolvoet (*Plasmodiophora brassicae*) treden wellicht ook op als er geen B-tekort is.

Er is vrij veel literatuur over de synergistische werking van diverse gewasbeschermingsmiddelen in combinatie met B-bemesting (Graham & Stangoulis, 2007b).

2.13. Chloor (Cl)

In de Nationale en Europese wet- en regelgeving heeft Cl niet de status van een nutriënt, zoals dat wel het geval is voor K en Na. Broadley et al. (2012) beschouwen Cl echter wel als essentieel element: Cl is in de meeste planten aanwezig in allerlei essentiële moleculen, in concentraties van ca. 2-20 g/kg drooggewicht. Aangezien Cl veelal als begeleidend element aanwezig is in K- en Na-meststoffen, zijn er voldoende mogelijkheden voor de toediening van Cl.

Cl-tekort is nauwelijks een probleem vanwege de natuurlijke aanwezigheid van Cl en ook omdat Cl in K- of Na-houdende minerale meststoffen aanwezig is. Cl kan een rol spelen bij de onderdrukking van sommige ziekten. De literatuur meldt twee mechanismen:

- Als remmer van nitrificatie en daarmee pH-effecten in de rhizosfeer, die bv. nadelig zijn voor de tarwehalmdoder (zie par. 2.8). Om dit effectief te laten zijn, zijn waarschijnlijk veel te hoge hoeveelheden Cl-houdende meststoffen nodig.
- Effecten van een milde verzilting van de grond. Dit soort toepassingen zijn alleen te overwegen voor zouttolerante gewassen: asperge, gerst, tarwe, maïs, suikerbiet en selderij.

Bij asperge vond Elmer (1992; Elmer et al., 1996) forse reductie van aantasting door *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* f. sp. *asparagi*) door toepassing van ca. 500-1000 kg NaCl per jaar. Dit zijn erg hoge giften die ongewenst zijn vanuit het oogpunt van plantenvoeding en bemesting. Het mechanisme van dit effect was onduidelijk, de auteurs suggereerden dat de resistentie van de plant was versterkt. Ook werden effecten van Cl gevonden in combinatie met andere kationen dan Na, zoals KCl, MgCl_2 of CaCl_2 , maar de effecten waren dan iets minder groot. Elmer (2002) vond geen effect van toepassing van NaCl op de bezetting van aspergewortels door arbusculaire mycorrhizaschimmels.

In gerst is herhaaldelijk gevonden dat K toegediend als KCl tot meer ziektevering tegen wortelrot veroorzaakt door *Bipolaris sorokoniana* en *Fusarium culmorum* leidt dan K toegediend als K_2SO_4 . Daarnaast is ook een ziektebestrijdend effect tegen echte meeldauw (*Blumeria graminis*) en dwergroest (*Puccinia hordei*) gevonden van bladbemesting met 0,64 M KCl/ha (Kettlewell et al., 1990). Ook bladvlekkenziekte (*Septoria tritici* = *Zymoseptoria tritici*) in wintertarwe werd ca. 50% gereduceerd door een bladbemesting met KCl (Mann et al., 2004). Mogelijk dat soortgelijke effecten optreden bij tarwe. Wellicht zijn deze effecten terug te voeren op een eenvoudig zouteffect. In maïs werden in diverse onderzoeken gunstige effecten gevonden van KCl ten opzichte van K_2SO_4 tegen allerlei Fusariumsoorten (*Fusarium graminearum*, *F. verticillioides*, *Gibberella zeae* en *G. moniliforme*) (Elmer, 2007). Voor rode biet werd een ziekte-onderdrukkend effect gevonden tegen Rhizoctonia (*R. solani* AG2-2 IIIB) bij toepassing van Cl (als NaCl, KCl, $CaCl_2$ of $MgCl_2$) (Elmer, 2007). Cl-bemesting (als KCl had ook een bestrijdend effect op de tarwehalmdoder (*Gaeumannomyces graminis*).

Samenvattend: Bij toepassing van Cl moet op de eerste plaats gedacht worden aan vervanging van het anion bij bemesting (dus bv.: KCl in plaats van K_2SO_4). Hoewel toepassing van NaCl vaak een iets beter effect had dan KCl en andere meststoffen met Cl, lijkt toepassing van NaCl in verband met verziltingseffecten niet of beperkt inpasbaar in de vruchtwisseling. Overigens is Na op kleigronden ongewenst vanwege negatieve effecten op de bodemstructuur. Voor Nederland lijkt het interessant te zien of Cl-bemesting in situaties van problemen bij asperge met Fusarium en gerst met diverse ziekten kan helpen.

2.14. Silicium (Si)

De mogelijke rol van Si bij verbetering van de weerbaarheid van planten staat momenteel volop in de belangstelling. Er zijn veel aanwijzingen dat Si, toegediend in de vorm van monosiliciumzuur (H_4SiO_4 ; ook wel geschreven als $Si(OH)_4$) effectief de weerbaarheid van planten verhoogt, zowel tegen abiotische stress (droogte- en zoutstress) als tegen ziekten en plagen. Recente reviews zijn van Rodrigues & Datnoff (2015), Debona et al. (2017), Wang et al. (2017) en Artyszak et al. (2018). De nadruk in deze reviews ligt weliswaar op verbetering van de weerbaarheid tegen abiotische stress (droogte- en zoutstress) en ziektes, maar ook is toegenomen weerbaarheid tegen plaaginsecten gerapporteerd (Alhousari & Greger, 2018). Daarnaast zijn er ook duidelijke effecten op de tolerantie voor toxische zware metalen, die hier verder niet behandeld wordt. Omdat Si zo'n breed effect heeft op de weerbaarheid van planten tegen stress wordt Si ook wel een quasi-essentieel element genoemd; 'quasi', omdat planten tot volledige ontwikkeling kunnen komen zonder Si, maar 'essentieel' omdat het in de aanwezigheid van stress belangrijke en significante effecten heeft.

Kader: Status van Si

Si heeft op Nederlands en Europees niveau geen wettelijke status als meststof. Aangezien het voor plantengroei geen essentieel nutriënt is, maar het wel de gezondheid van het gewas beïnvloedt, lijkt dit een typische vertegenwoordiger van een biostimulant te zijn. Biostimulanten zijn op dit moment (medio 2021) in Nederland nog niet gereguleerd, en producten met Si mogen dus als biostimulant worden verhandeld. Per juli 2022 gaat dit veranderen, aangezien dan de nieuwe Europese meststoffenverordening 2019/1009 in werking treedt. Daarin hebben biostimulanten een plek. In België (Fytoweb) en Duitsland zijn producten op basis van Si geregistreerd en mogen ze worden gebruikt als meststof of biostimulant.

Een grote hoeveelheid literatuur is verschenen over de effecten van Si op ziekte- en plaagorganismen in allerlei gewassen. Tabel 2 geeft een overzicht van positieve effecten van Si in de onderdrukking van plant/pathogeen-combinaties die in Nederland voorkomen. Met name echte-meeldauwschimmels worden vaak genoemd (ook bij allerlei tropische gewassen). Daarnaast wordt ook verminderde

aantasting door insecten genoemd, bv. Groene perzikluis (*Myzus persicae*), Engelse graanluis (*Sitobion avenae*) en witte vlieg (*Bemisia tabaci*) (Debona et al., 2017). In enkele gevallen zijn geen effecten gevonden, zoals bij Botrytis (*B. cinerea*) in aardbei, aardappelziekte (*Phytophthora infestans*) in aardappel, dollar spot (*Sclerotinia homeocarpa*) in gras en echte meeldauw (*Uncinula necator*) in druif (Fortunato et al., 2015; Rodrigues et al., 2015; Debona et al., 2017).

Tabel 2. Schimmelziekten waartegen verhoogde weerstand is gevonden na toepassing van Si.^{1,2}

gewas	Ziekte
aardappel	droogrot (<i>Fusarium sulphureum</i>)
aardbei	echte meeldauw (<i>Sphaerotheca macularis</i>), bladvlekkenziekte (<i>Pestalotia longistula</i>), anthracnose (<i>Colletotrichum acutatum</i>)
asperge	<i>Phomopsis asparagi</i>
boon	vlekkenziekte (<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>), <i>Pseudocercospora griseola</i>
courgette	echte meeldauw (<i>Sphaerotheca xanthii</i>)
Engels raaigras	<i>Microdochium nivale</i> , <i>Pyricularia oryzae</i>
erwt	<i>Peyronella pinodella</i> (= <i>Didymella pinodes</i> = <i>Mycosphaerella pinodes</i>)
gerst	<i>Alternaria</i> , <i>Blumeria graminis</i>
maïs	brand (<i>Ustilago maydis</i>), Pythium (<i>P. aphanidermatum</i>)
pompoen	echte meeldauw (<i>Sphaerotheca xanthii</i>)
rogge	echte meeldauw (<i>Blumeria graminis</i>)
sla	valse meeldauw (<i>Bremia lactucae</i>), <i>Fusarium</i> (<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lactucae</i>)
tarwe	<i>Bipolaris sorokiniana</i> , <i>Blumeria graminis</i> , <i>Drechslera tritici-repentis</i> , fusarium-voetrot (<i>Fusarium</i> spp.), <i>Puccinia triticina</i> , <i>Pyricularia oryzae</i> , <i>Septoria nodorum</i>
wit struisgras	Pythium (<i>P. aphanidermatum</i>), Rhizoctonia (<i>R. solani</i>), dollar spot (<i>Sclerotinia homeocarpa</i>)

¹ Deliopoulos et al., 2010; Fortunato et al., 2015; Huber et al., 2012; Rodrigues et al., 2015; Wang et al., 2017).

² Het aantal plant-pathogeen/insect-combinaties waarbij verhoogde weerstand is gevonden na toepassing van Si is veel groter; deze tabel laat alleen de effecten zien voor in Nederland geteelde gewassen.

Voor Nederland schetsten Bussink & van Schöll (2010) de mogelijkheden van toepassing in de aardappelteelt. Op basis van deze deskstudie suggereren zij dat oriënterend praktijkonderzoek nuttig is op de gebieden van⁵:

- Vermindering van abiotische stress (droogtetolerantie).
- Een mogelijk effect van Si op de beschikbaarheid van P.
- Effecten van verhoogde weerbaarheid tegen aardappelschurft (*Streptomyces scabies*), droogrot (*Fusarium oxysporum*), verwelkingsziekte (*Verticillium dahliae*), en de bacterieziekten bruinrot (*Ralstonia solanacearum*) en zwartbenigheid.

Dit oriënterend praktijkonderzoek heeft niet plaatsgevonden, waarschijnlijk omdat er nog geen goede methode is om Si-concentraties in de plant te bepalen (mond. comm. W. Bussink, NMI, maart 2021). Momenteel levert Groen Agro Control deze bepaling wel, maar de vraag is in hoeverre deze nodig is, omdat aangetoond is dat Si-bemesting ook effectief kan zijn zonder dat dit leidt tot verhoogde concentraties van Si in het gewas.

Van nature ontstaat H_4SiO_4 door oplossing van zand (SiO_2) in water. Door de geringe oplosbaarheid van SiO_2 is de concentratie van H_4SiO_4 in de grond in het algemeen laag, wat in de akkerbouw versterkt wordt door het wegnemen van geoogst product. Bij Eurofins wordt sinds een aantal jaren Si in grondextracten van 0,01 M $CaCl_2$ gemeten. De grootte-orde varieert van 0 tot ca. 125 mg/kg grond (mond. comm. A. Reijneveld, Eurofins, maart 2021). Deze grootte-orde is, gemiddeld,

⁵ Zoals reeds aangegeven is geen effect van Si op aardappelziekte (*Phytophthora infestans*) bekend.

hoger dan die vermeld in Tubaña & Heckman (2015): 0,09-23,4 mg per liter grond. De hoeveelheid Si die met 0,01 M CaCl₂ geëxtraheerd wordt neemt ongeveer lineair toe op het traject van pH 3,7-8 (mond. comm. A. Reijneveld, Eurofins, maart 2021).

In het verleden is de aandacht van toepassing van Si vooral uitgegaan naar gewassen die Si van nature accumuleren, met name de monocotylen, en nog het meest die groeien op vochtige grond (bv. rijst, sorghum). Recenter bleek echter dat Si ook kan accumuleren in dicotyle gewassen, zoals suikerbiet. Accumulatie hoeft niet over de gehele plant egaal plaats te vinden. Inmiddels is duidelijk geworden dat Si ook effecten heeft bij dicotylen die Si niet actief accumuleren en dus lagere Si-gehaltenes hebben (<0,2%).

De wijze waarop Si interfereert met de plantweerbaarheid is complex en nog niet helemaal opgehelderd. Het lijkt erop dat diverse mechanismen tegelijk actief kunnen zijn, waaronder (o.a. Debona et al., 2017):

- Het creëren van een fysieke barrière waardoor ziekte- en plaagorganismen minder goed kunnen penetreren. Hierbij wordt Si in de vorm van silicagel (SiO₂.nH₂O) vastgelegd, met name in de epidermis van stengels, de vaatbundels en de endodermis van de wortels, maar ook elders, zoals in de epidermis van bladeren. Eenmaal vastgelegd kan Si niet worden herverdeeld over de plant, dus planten zijn gebaat bij een continue aanvoer van Si.
- Stimulering van de beschikbare verdedigingsmechanismen van planten, zoals productie van fenolen, lignine en bepaalde eiwitten.
- Vermindering van de smakelijkheid voor herbivoren (insecten, konijnen).
- De neergeslagen silicagel absorbeert makkelijk water, waardoor planten meer droogtetolerant worden. Dit is evenwel niet het enige mechanisme van Si dat droogtetolerantie verklaart, zo heeft Si waarschijnlijk ook effect op de fysiologie van de huidmondjes (Debona et al., 2017).
- Vorming van dikkere bladeren, leidend tot minder transpiratie en daarmee verhoogde droogtetolerantie. Dit zou kunnen betekenen dat onder omstandigheden van voldoende bodemvocht de gewasgroei zou kunnen worden geremd.

Bij de verhoging van tolerantie tegen zware metalen (hier niet verder behandeld) speelt complexering met Si een rol.

In veruit de meeste gevallen wordt Si als bladbemesting toegediend. Daar waar Si effecten heeft op het verdedigingsmechanisme van de plant lijken deze systemisch te werken, dus ook in het wortelsysteem. Door bladbemesting toegediende Si wordt echter niet naar het wortelsysteem getransporteerd. Vastlegging in de vorm van silicagel in het wortelsysteem heeft dus alleen plaats als Si aan het wortelsysteem wordt toegediend.

Wellicht zijn positieve effecten van extracten van wieren en algen op het functioneren van planten, inclusief de weerbaarheid, toe te schrijven aan het Si-gehalte hiervan (Mizuta & Yasui (2020)). De vele manieren waarop extracten van wieren en algen verkregen kunnen worden, en de vele soorten die hierbij worden gebruikt, verklaart wellicht ook de variatie die deze extracten kunnen hebben (Yakhin et al., 2017).

Samenvattend is de rol van Si, met name van H₄SiO₄, in de plantweerbaarheid onder Nederlandse omstandigheden onvoldoende bekend. Gezien de vele effecten die gerapporteerd zijn en de mechanismes waarlangs Si in de plant werkt, is het aan te bevelen hier meer onderzoek naar te doen. Wellicht is het eenvoudiger om te onderzoeken of Si-bemesting kan helpen een gewas droogtetoleranter te maken dan effecten op weerbaarheid te onderzoeken. Gewassen die op de eerste plaats in aanmerking komen zijn granen, maïs, peulvruchten en aardappel. Aangezien op aardappelziekte (*Phytophthora infestans*) zoals hiervoor gemeld geen effecten zijn te verwachten, dient deze chemisch te worden bestreden. Bij peulvruchten zou gedacht kunnen worden aan een gecombineerde behandeling met H₄SiO₄ en Zn (zie par. 2.9), bij voorkeur op percelen met bekende voetrotproblematiek. Locaties die in aanmerking komen voor Si-onderzoek zijn die waarbij de grond laag scoort in plant-beschikbaar Si.

3. Discussie

Wat opvalt in de literatuur is een schijnbaar grenzeloos optimisme dat door middel van bemesting vooral plantenziekten onderdrukt kunnen worden c.q. planten weerbaarder gemaakt kunnen worden. Dit blijkt uit de ellenlange opsommingen in reviews van onderzoek waarin een relatie tussen bemesting en ziekten werd gevonden (bv. Datnoff et al., 2007). De meerderheid van dit onderzoek betreft echter het effect van het wegnemen van nutriëntentekorten (par. 3.1).

Deliopoulos et al. (2010) vatten de mogelijke rol van bemesting in het weerbaarder maken van planten als volgt goed samen. Ze geven aan dat meststoffen fungiciden niet kunnen vervangen, en dat ze alleen een rol kunnen spelen in geïntegreerde gewasbescherming (integrated pest management, IPM). Dit betekent dat ze onder sommige omstandigheden wel effectief kunnen zijn, maar dat deze effectiviteit het best tot uiting komt in combinatie met andere maatregelen. Een combinatie van diverse maatregelen kan dan leiden tot verminderd gebruik van gewasbeschermingsmiddelen. Dit geeft ook aan waar het probleem zit in het testen van effecten van componenten van IPM, waaronder in sommige gevallen bemesting: door hun geringe individuele effect is hun effectiviteit lastig aan te tonen. Zoals in de inleiding al is aangegeven, wordt aanbevolen effecten van bemesting niet te testen onder omstandigheden van te hoge infectiedruk. Verder zijn effecten eerder te verwachten bij partieel resistente rassen dan bij volledig vatbare rassen.

Tabel 3 vat de belangrijkste resultaten uit hoofdstuk 2 samen. Wat opvalt is dat parasitaire aaltjes nauwelijks in de literatuur worden genoemd als beïnvloedbaar door bemesting. Ook plaaginsecten worden weinig genoemd, hoewel afweermechanismen ten dele dezelfde zijn als die worden genoemd bij plantenpathogene schimmels. Een probleem bij de interpretatie van Tabel 3 voor de praktijk is, dat gewoonlijk niet bekend is welke de belangrijkste belagers zullen worden in een groeiseizoen. Zouden we zeker weten dat biotrofe pathogenen zullen domineren, dan zou een lager dan optimale N-bemesting ideaal zijn, en voor necrotrofe pathogenen geldt het omgekeerde (zie Fig. 1). Maar het is onbekend welke pathogenen zullen domineren en bovendien komen er meestal meerdere pathogenen tegelijk voor in een gewas. Dat maakt dat vooral bodempathogenen in principe beter stuurbaar kunnen zijn door bemesting, omdat hun voorkomen meestal wel bekend en daardoor enigszins voorspelbaar is. Daarnaast zijn meststoffen die een effect hebben op het afweermechanisme interessant voor bovengrondse ziekten en plagen. Op de eerste plaats moet hierbij gedacht worden aan het terugdringen van tekorten van vooral micronutriënten die mogelijk plaatselijk in Nederland voorkomen (zie par. 3.1). Daarnaast lijkt Si en in minder mate Cl, hoewel beide in Nederland formeel geen meststof, serieuze aandacht te verdienen.

3.1. Nutriëntentekorten

Zoals hiervoor reeds is aangegeven is er vooral op zandgronden sprake van een risico op het optreden van tekorten van vooral K, Mg en B, aangezien de gehalten in de bodem voor die nutriënten in een deel van de gevallen als laag worden beoordeeld (Beltman et al., 2019). Ook de pH van zandgronden in Drenthe en de kop van Overijssel is regelmatig te laag. Vooral op die gronden is het dus van belang om de pH op orde te houden door bekalking en voldoende K, Mg en B te bemesten en zodoende tekorten te voorkomen. Dit kan worden gedaan door het bemestingsadvies op te volgen en regelmatig grondonderzoek te doen. Daarnaast kunnen ook tekorten aan andere micronutriënten voorkomen (zie verder).

Tabel 3. Belangrijkste resultaten uit hoofdstuk 2. Bodemgebonden ziekten zijn aangeduid met een *.

gewas	nutriënt	reduceert ziekte/plaag
diverse	Ca (structuurverbetering)	diverse
diverse	hoger dan optimaal N	necrotrofe pathogenen
diverse	lager dan optimaal N	biotrofe pathogenen en insecten
diverse	Mn	verwelkingsziekte (<i>Fusarium</i> en <i>Verticillium</i>)*, biotrofe pathogenen
diverse	Si	diverse (zie par. 2.14)
aardappel	Ca	zwartbenigheid
aardappel	Mn	aardappelschurft (<i>Streptomyces scabies</i>)*
aardappel	N-NH ₄	aardappel X virus, gewone schurft (<i>Streptomyces scabies</i>)*, <i>Verticillium</i> (<i>V. dahliae</i>)*
aardappel	N-NO ₃	lakschurft (<i>Rhizoctonia solani</i> AG3)*
asperge	Cl	<i>Fusarium</i> (<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>asparagi</i>)*
gerst	Cl	diverse (zie par. 2.13)
kool	Ca en pH-verhogende meststoffen	knolvoet (<i>Plasmodiophora brassicae</i>)*
kool	Ca	stengelkanker (<i>Plenodomus lingam</i> = <i>Leptosphaeria maculans</i>)*
maïs	Cl	diverse soorten <i>Fusarium</i> incl. <i>Gibberella</i> (zie par. 2.13)*.
peulvruchten	N-NH ₄	wortelrot (<i>Berkeleyomyces basicola</i> = <i>Thielavia basicola</i> = <i>Chalara elegans</i>) (boon)*
peulvruchten	N-NO ₃	<i>Fusarium</i> (<i>F. solani</i>) (boon)*, <i>Rhizoctonia</i> , (<i>R. solani</i>) (boon)*
peulvruchten	Zn	wortel- en voetrot en kiemplantziekte (diverse pathogenen)*
peulvruchten	N-NH ₄	wortelrot (<i>Pythium</i> spp.) (erwt)*
peulvruchten	N-NO ₃	<i>Rhizoctonia</i> -kiemplantziekte (<i>R. solani</i>) (erwt)*
suikerbiet	Ca	kiemplantziekte (<i>Aphanomyces cochlioides</i>)*
rode biet	Cl	<i>Rhizoctonia</i> -wortelrot (<i>R. solani</i> AG2-2 IIIB)*
tarwe	N-NH ₄	tarwehalmdoder (<i>Gaeumannomyces graminis</i>)*
tarwe	N-NO ₃	oogvlekkenziekte (<i>Cercospora herpotrichoides</i>)*
tarwe, gerst, rogge, triticale	Cl	tarwehalmdoder (<i>Gaeumannomyces graminis</i>)*
tarwe, gerst, rogge, triticale	Mn	tarwehalmdoder (<i>Gaeumannomyces graminis</i>)*
tarwe, gerst, rogge, triticale	optimale, evenwichtige bemesting	tarwehalmdoder (<i>Gaeumannomyces graminis</i>)*

De meeste literatuur die het verband legt tussen bemesting en weerbaarheid van gewassen tegen ziekten en plagen is erg optimistisch. Dit komt vooral doordat in veel studies al dan niet bewust is gekeken naar het wegnemen van nutriëntentekorten. Bijna zonder uitzondering, en afhankelijk van de mate van het tekort, kunnen nutriëntentekorten grote effecten hebben op het functioneren van planten, inclusief hun weerbaarheid. Tabel 4 vat de situaties samen waar micronutriëntentekorten kunnen optreden in Nederland volgens Brinks & van Rotterdam (2020).

Tabel 4. Omstandigheden waaronder tekorten aan micronutriënten zich kunnen voordoen in Nederland volgens Brinks & van Rotterdam (2020) en Beltman et al. (2019).

micronutriënt	gevoelige gewassen	gevoelige omstandigheden
Fe	geen	Geen
Mn	granen, bieten, bonen, erwten en gerst	primair (zand)gronden met pH-KCl > 6,2; secundair hoog organische-stofgehalte en droge omstandigheden; ook jonge zeekleigronden met hoge pH en hoog CaCO ₃ -gehalte
Zn ¹	primair maïs; daarnaast ook peulvruchten, sla, spinazie, bonen en uien	kalkrijke bodems
Cu	granen	gronden met een hoog organische-stofgehalte
Mo	primair vlinderbloemigen, bloemkool en bieten; daarnaast ook maïs, kool, sla, spinazie, tomaat en rogge	ijzerrijke zand- en dalgronden met pH-CaCl ₂ < 5,4
B	suikerbieten, maïs, luzerne, koolzaad, selderij, bloemkool, broccoli en wortel, bij droogte ook aardappel	uitspoelingsgevoelige zandgronden; pH boven streeftraject; droogte

¹ Gezien de ruime toepassing van organische mest en compost is het optreden van Zn-tekorten minder waarschijnlijk.

Uit Tabel 4 blijkt dat tekorten onder sommige omstandigheden in Nederland kunnen voorkomen bij Mn (vooral op niet-zure zandgronden), Zn (op kalkrijke bodems; echter zie voetnoot bij de tabel), Cu (voor granen op gronden met een hoog organische-stofgehalte) en Mo (op ijzerrijke, vrij zure tot zure zand- en dalgronden).

Door tabellen 3 en 4 te combineren krijgen we situaties waar de meeste kansen liggen voor aandacht voor micronutriënten (Tabel 5).

Tabel 5. De meest kansrijke toepassingen ten aanzien van micronutriënten.

gewas	meststof	reduceert ziekte/plaag	gevoelige omstandigheden
diverse	Mn	verwelkingsziekte (<i>Fusarium</i> en <i>Verticillium</i>), biotrofe pathogenen, <i>Rhizoctonia solani</i> (erwt)	granen, aardappel, bieten, bonen, erwten en gerst op niet-zure zandgronden
aardappel	Mn	aardappelschurft (<i>Streptomyces scabies</i>)	niet-zure zandgronden
peulvruchten	Zn	wortel- en voetrot en kiemplantziekte (diverse pathogenen)	kalkrijke bodems
tarwe, gerst, rogge, triticale	Mn	tarwehalmdoder (<i>Gaeumannomyces graminis</i>)	zie ook par. 2.8

Wat in Tabel 5 opvalt is dat vooral Mn als potentieel interessant micronutriënt naar voren komt. Evenwel is de verwachting dat dit hier vooral interessant is in situaties van mogelijke Mn-tekorten. Als enig ander micronutriënt wordt Zn vermeld (Tabel 5), maar de mate waarin hiervan tekorten voorkomen is onzeker. Weliswaar komen volgens Brinks & van Rotterdam Zn-tekorten met name voor op kalkrijke bodems, en Duffy (2007) beweerde dat peulvruchten een grote Zn-behoefte kunnen hebben, dus extra gevoelig kunnen zijn voor Zn-tekorten. Dit zou sterk rasafhankelijk zijn (Duffy, 2007).

In situaties waarin het wortel- en voetrotcomplex bij peulvruchten optreedt is het zeker nuttig te onderzoeken of Zn-tekort een rol kan spelen.

3.2. Experimentele aanpak

De vraag is hoe effecten van aangepaste bemesting onderzocht kunnen worden. Effecten zijn vaak beperkt omdat vooral resultaten te verwachten zijn bij milde stress. Het lastige van het aanleggen van een milde stress is dat de effecten hiervan beperkt zullen zijn, en dus zullen daarmee ook de effecten van bemesting in absolute termen van aantasting of opbrengst beperkt zijn. Ook is het in experimenten lastig om een milde stress aan te leggen: zo'n 'milde' stress kan anders uitpakken dan gepland (nl. heftiger of juist te mild), waardoor het experiment mislukt. Het is daarom de vraag of het aanleggen van deterministische experimenten met één of enkele (milde) stressfactor(en) de optimale benadering voor onderzoek is, zeker als aangepaste bemesting gezien wordt als onderdeel van een breder pakket aan maatregelen (IPM). Ook is het de vraag of kas- of klimaatcelexperimenten nuttig zijn, omdat dan altijd de vraag komt hoe de resultaten kunnen worden geëxtrapoleerd naar de veldpraktijk.

Gezien de hierboven beschreven problemen bij het aanleggen van een milde stress kan het nuttig zijn om het aanleggen van praktijkproeven te overwegen, waarbij het aan de veldsituatie overgelaten wordt welke stressfactor optreedt. Hierbij dienen dan gewasbeschermingsmiddelen verminderd of niet te worden toegepast. Evenwel moet hierbij dan ook bedacht worden dat bij zware ziekte- of plaagdruk effecten minder of niet te verwachten zijn. Zeker bij onderzoek aan Si is dit wellicht een juiste benadering, omdat Si werkzaam kan zijn tegen vele soorten stressfactoren (zie par. 2.14). Treden effecten op bij praktijkproeven, dan zijn eventuele positieve resultaten direct interpreteerbaar.

Nadeel van praktijkproeven is dat ze minder controleerbaar zijn en dat achteraf vaak niet aangegeven kan worden welke stressfactoren aanwezig zijn geweest. Resultaten kunnen alleen worden geïnterpreteerd als er veel praktijkproeven worden gedaan, op verschillende locaties. Vaak gebeuren praktijkproeven op ad hoc basis, waarbij een teler een deel van een perceel behandelt en de rest niet. Zo'n opzet is verre van optimaal, omdat de behandeling niet is herhaald en de teler vaak weet waar de behandeling is uitgevoerd, wat de evaluatie van de resultaten sterk kan beïnvloeden. Een correcte praktijkproef omvat in elk geval de volgende elementen:

- Selectie van een homogeen areaal, met geschiktheid zoals blijkt uit een bodemanalyse (bv. in het geval van Si is het nuttig een locatie uit te zoeken met een laag gehalte aan plant-beschikbaar Si).
- Herhaling van de behandeling (minimaal 3, liever 4 herhalingen per behandeling).
- Het experiment wordt 'blind' uitgevoerd, d.w.z. de persoon die de resultaten evalueert heeft geen weet van waar de behandelingen zijn uitgevoerd.
- Representatieve bemonstering van de gewassen voor bepaling van de opbrengst en kwaliteit.

4. Conclusies

Het vermijden van nutriëntentekorten is bij de optimalisatie van de weerbaarheid van een gewas belangrijk. Of en in welke mate nutriëntentekorten daadwerkelijk optreden in de Nederlandse landbouw is onvoldoende bekend. Aanpassing van de richtlijnen voor bemesting zoals vermeld in www.handboekbodembemesting.nl kan een rol spelen bij het weerbaar maken van sommige ziekten maar kan nooit een ziekte geheel tenietdoen: het is hooguit een onderdeel in IPM. De belangrijkste kansen zijn vermeld in Tabel 3. Duidelijk is dat nutriënten maar een beperkte rol spelen bij het weerbaar maken van planten tegen ziekten en plagen. De belangrijkste effecten van nutriënten liggen op het vlak van beïnvloeding van de pH van de bodem (Tabel 3). Mogelijke effecten van Si op de weerbaarheid van planten verdienen meer aandacht.

5. Referenties

- Adisa, I.O., Reddy Pullagurala, V.L., Peratta-Videa, J.R., Dimkpa, C.O., Elmer, W.H., Gardea-Torresdey, J.L., White, J.C. 2019. Recent advances in nano-enabled fertilizers and pesticides: a critical review of mechanisms of action. *Environmental Science Nano* 6: 2002-2030.
- Alhousari, F., Greger, M. 2018. Silicon and mechanisms of plant resistance to insect pests. *Plants* 7: 33.
- Artyszak, A. 2018. Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality – A literature review in Europe. *Plants* 7: 54.
- Balendres, M.A., Clark, T.J., Tegg, R.S., Wilson, C.R. 2018. Germinate to exterminate: chemical stimulation of *Spongospora subterranea* resting spore germination and its potential to diminish soil inoculum. *Plant Pathology* 67: 902-908.
- Beltman, W., Boesten, J., Reinds, G.J., Reijneveld, A., Rietra, R., Römkens, R., Velthof, G. 2019. Chemische bodemkwaliteit in Nederland. Wageningen Environmental Research & Eurofins-Agro. 32 pp.
- Benson, J.H., Geary, B., Miller, J.S., Hopkins, B.G., Jolley, V.D., Stevens, M.R. 2009a. *Phytophthora erythroseptica* (pink rot) development in Russet Norkotah potato grown in buffered hydroponic solutions II. pH Effects. *American Journal of Potato Research* 86: 472-475.
- , –, –, Jolley, V.D., Hopkins, B.G., Stevens, M.R. 2009b. *Phytophthora erythroseptica* (Pink Rot) development in Russet Norkotah potato grown in buffered hydroponic solutions I. calcium nutrition effects. *American Journal of Potato Research* 86: 466-471.
- Brinks, H., van Rotterdam, D., Houten, S. 2020. Effecten van (blad)bemesting met sporenelementen. Delphy en NMI. 64 pp.
- Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., Zhao, F. 2012. Function of nutrients: Micronutrients. pp. 191-248 in Marschner's mineral nutrition of higher plants. Springer.
- Bus, C.B. 2002. Onderzoek bestrijding gewone schurft in aardappel. Een documenterend verslag van 26 veldproeven over de periode 1995-2000. WUR, PPO 1154381.
- Bussink, D.W., van Schöll, L. 2010. Effecten van silicium op aardappel. NMI, rapport 1361.
- Cakmak, I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168: 521-530.
- Datnoff, L.E., Elmer, W.H., Huber, D.M. 2007. Mineral nutrition and plant disease. American Phytopathological Society, USA, 278 pp.
- , Rodrigues, F.A., Seebold, K.W. 2007. Silicon and plant disease. pp. 233-246 in: L.E. Datnoff, W.H. Elmer & D.M. Huber, Mineral nutrition and plant disease, American Phytopathological Society, 278 pp.
- Debona, D., Rodrigues, F., Datnoff, L.E. 2017. Silicon's role in abiotic and biotic plant stress. *Annual Review of Phytopathology* 55: 85-107.
- Deliopoulos, T., Kettlewell, P.S., Hare, M.C. 2010. Fungal disease suppression by inorganic salts: A review. *Crop Protection* 29: 1059-1075.
- Duffy, B. 2007. Zinc and plant disease. pp. 155-175 in: L.E. Datnoff, W.H. Elmer & D.M. Huber, Mineral nutrition and plant disease, American Phytopathological Society, 278 pp.
- Elmer, W.H. 1992. Suppression of Fusarium crown and root rot of asparagus with sodium chloride. *Phytopathology* 82: 97-104.
- , Johnson, D.A., Mink, G.I. 1996. Epidemiology and management of the diseases causal to asparagus decline. *Plant Disease* 80: 177-125.
- . 1997. Influence of chloride and nitrogen form on Rhizoctonia root and crown rot of table beets. *Plant Disease* 81: 635-640.
- . 2002. Influence of formononetin and NaCl on mycorrhizal colonization and Fusarium crown and root rot of asparagus. *Plant Disease* 86: 1318-1324.
- . 2007. Chlorine and plant disease. pp. 189-202 in: L.E. Datnoff, W.H. Elmer & D.M. Huber, Mineral nutrition and plant disease, American Phytopathological Society, 278 pp.

- . 2018. The future of nanotechnology in plant pathology. *Annual Review of Phytopathology* 56: 111-133.
- , Ma, C., White, J. 2018. Nanoparticles for plant disease management. *Current Opinion in Environmental Science & Health* 6: 66-70.
- Evans, I., Solberg, E., Huber, D.M. 2007. Copper and plant disease. pp. 177-188 in: L.E. Datnoff, W.H. Elmer & D.M. Huber, *Mineral nutrition and plant disease*, American Phytopathological Society, 278 pp.
- Expert, D. 2007. and plant disease. pp. 119-137 in: L.E. Datnoff, W.H. Elmer & D.M. Huber, *Mineral nutrition and plant disease*, American Phytopathological Society, 278 pp.
- Falloon, R.E., Wallace, A.R., Braithwaite, M., Genet, R.A., Nott, H.M., Fletcher, J.D., Braam, W.F. 1996. Assessment of seed tuber, in-furrow, and foliar chemical treatments for control of powdery scab (*Spongospora subterranea* f.sp. *subterranea*) of potato, *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 24: 341-353.
- Fortunato, A.A., Rodrigues, F.A., Datnoff, L.E. 2015. Silicon control of soil-borne and seed-borne diseases. pp. 53-66 in: F.A. Rodrigues & L.E. Datnoff, *Silicon and plant diseases*. Springer, 159 pp.
- Graham, R.D., Stangoulis, J.C.R. 2007a. Molybdenum and plant disease. pp. 203-205 in: L.E. Datnoff, W.H. Elmer & D.M. Huber, *Mineral nutrition and plant disease*, American Phytopathological Society, 278 pp.
- , –. 2007b. Boron and plant disease. pp. 207-214 in: L.E. Datnoff, W.H. Elmer & D.M. Huber, *Mineral nutrition and plant disease*, American Phytopathological Society, 278 pp.
- Haneklaus, S., Bloem, E., Schnug, E. 2007. Sulfur and plant disease. pp. 101-118 in: L.E. Datnoff, W.H. Elmer & D.M. Huber, *Mineral nutrition and plant disease*, American Phytopathological Society, 278 pp.
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Møller, I.S., White, P. Functions of macronutrients. pp. 135-189 in *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Springer.
- Hoffland, E., van Beusichem, M.L., Jeger, M.J. 1999. Nitrogen availability and susceptibility of tomato leaves to *Botrytis cinerea*. *Plant & Soil* 210: 263-272.
- Hospers, M., Lamers, J., Cuijpers, W., van den Broek, R. 2015. Samen met ondernemers naar een weerbare bodem. Louis Bolk Instituut en PPO Wageningen.
- Huber, D., Römheld, V., Weinmann, M. 2012. Relationship between nutrition, plant diseases and pests. pp. 283-298 in *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Springer.
- , Thompson, I.A. 2007. Nitrogen and plant disease. pp. 31-44 in: L.E. Datnoff, W.H. Elmer & D.M. Huber, *Mineral nutrition and plant disease*, American Phytopathological Society, 278 pp.
- Jones, J.B., Huber, D.M. 2007. Magnesium and plant disease. pp. 95-100 in: L.E. Datnoff, W.H. Elmer & D.M. Huber, *Mineral nutrition and plant disease*, American Phytopathological Society, 278 pp.
- Kalim, S., Luthra, Y.P., Gandhi, S.K. 2003. Role of zinc and manganese in resistance of cowpea root rot. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 110: 235-243.
- Klikocka, H., Haneklaus, S., Bloem, E., Schnug, E. 2005. Influence of sulfur fertilization on infection of potato tubers with *Rhizoctonia solani* and *Streptomyces scabies*. *Journal of Plant Nutrition* 28: 819-833.
- Lekberg, Y., Koide, R.T. 2005. Is plant performance limited by abundance of arbuscular mycorrhizal fungi? A meta-analysis of studies published between 1998 and 2003. *New Phytologist* 168: 189-204.
- Mann, R.L., Kettlewell, P.S., Jenkinson, P. 2004. Effect of foliar-applied potassium chloride on septoria leaf blotch of winter wheat. *Plant Pathology* 53: 653-659.
- Olsson, Å., Persson, L., Olsson, S. 2019. Influence of soil characteristics on yield response to lime in sugar beet. *Geoderma* 337: 1208-1217.

- Pagán, I., García-Arenal, F. 2020. Tolerance of plants to pathogens: A unifying view. *Annual Review of Phytopathology* 58: 77-96.
- Prabhu, A.S., Fageria, N.K., Berni, R.F., Rodrigues, F.A. 2007a. Phosphorus and plant disease. pp. 45-55 in: L.E. Datnoff, W.H. Elmer & D.M. Huber, *Mineral nutrition and plant disease*, American Phytopathological Society, 278 pp.
- , –, –. 2007b. Potassium and plant disease. pp. 57-78 in: L.E. Datnoff, W.H. Elmer & D.M. Huber, *Mineral nutrition and plant disease*, American Phytopathological Society, 278 pp.
- Rahman, M., Punja, Z.K. 2007. Calcium and plant disease. pp. 79-93 in: L.E. Datnoff, W.H. Elmer & D.M. Huber, *Mineral nutrition and plant disease*, American Phytopathological Society, 278 pp.
- Rodrigues, F.A., Datnoff, L.E. (eds.). 2015. *Silicon and plant diseases*. Springer, 159 pp.
- , Dallagnol, L.J., Duarte, H.S.S., Datnoff, L.E. Silicon control of foliar diseases in monocots and dicots. pp. 67-108 in: F.A. Rodrigues & L.E. Datnoff, *Silicon and plant diseases*. Springer, 159 pp.
- Ryan, M.H., Graham, J.H. 2018. Little evidence that farmers should consider abundance or diversity of arbuscular mycorrhizal fungi when managing crops. *New Phytologist* 220: 1092-1107.
- Scaife, M.A., Turner, M.K., Barnes, A., Hunt, J. 1983. Cavity spot of carrots - observations on a commercial crop. *Annals of Applied Biology* 102: 567-575.
- Stangoulis, J.C.R., Graham, R.D. 2007. Boron and plant disease. pp. 207-214 in: L.E. Datnoff, W.H. Elmer & D.M. Huber, *Mineral nutrition and plant disease*, American Phytopathological Society, 278 pp.
- Termorshuizen, A.J., Molendijk, L.P.G., Postma, J. 2020. Beheersing van bodempathogenen via bodemgezondheidsmaatregelen. Een overzicht van de beschikbare kennis voor een selectie van akkerbouwgewassen met hun bijbehorende bodemziekten. Wageningen Research, rapport WPR-955. Online op <https://doi.org/10.18174/513197>.
- , Postma, R. 2021. Effecten van toevoer van organische stof op bodemgezondheid en bodemvruchtbaarheid. Aad Termorshuizen Consultancy en NMI. 69 pp. Online op www.bodemplant.nl/nieuws.
- Thompson, I.A., Huber, D.M. 2007. and plant disease. pp. 139-153 in: L.E. Datnoff, W.H. Elmer & D.M. Huber, *Mineral nutrition and plant disease*, American Phytopathological Society, 278 pp.
- Velthof G.L., Koeijer T. de, Schröder, J.J., Timmerman, M., Hooijboer, A., Rozemeijer, J., van Bruggen, C. & Groenendijk, P. 2017. Effecten van het mestbeleid op landbouw en milieu; Beantwoording van de ex-postvragen in het kader van de evaluatie van de Meststoffenwet. Wageningen Environmental Research, Rapport 2782, 140 pp.
- Wang, M., Gao, L., Dong, S., Sun, Y., Shen, Q., Guo, S. 2017. Role of silicon on plant-pathogen interactions. *Frontiers in Plant Science* 8: 701.
- White, J.G. 1988. Studies on the biology and control of cavity spot of carrots. *Annals of Applied Biology* 113: 259-268.
- Yakhin, O.I., Lubyaynov, A.A., Yakhin, I.A., Brown, P.H. 2017. Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in Plant Science* 7: 2049.
- Zörb, C., Senbayram, M., Peiter, E. 2014. Potassium in agriculture - Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology* 171: 665-669.