



Effecten bemesting K, Mg, Ca, N, Cl en hun interacties op de gewasopbrengst en –kwaliteit

Wim Bussink

Johan Specken

Janjo De Haan

Referaat

Bussink, D.W., J. Specken en J. de Haan (2020). Effecten bemesting K, Mg, Ca, N, Cl en hun interacties op de gewasopbrengst en –kwaliteit, Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1763.N.19, pp 43

Deze studie gaat in op interacties tussen elementen als K, Mg, Ca, N, Cl en in hoeverre deze van invloed zijn op de opbrengst en kwaliteit van akkerbouwgewassen. De werkingsmechanismen worden toegelicht. Voor belangrijke akkerbouwgewassen als aardappel en suikerbieten wordt nagegaan hoe deze onder Nederlandse omstandigheden kunnen uitwerken en of dit gevolgen dient te hebben voor de bemestingsadvisering. De gangbare bemestingsadvisering is gebaseerd op het uitgangspunt dat er een minimum hoeveelheid van een nutriënt beschikbaar moet zijn in de bodem voor een goede opbrengst. Daarnaast is er een alternatieve benadering waarbij nutriënten als K, Mg, Ca in een vaste verhouding in de bodem aanwezig moeten zijn. Hier wordt nader op ingegaan.

© 2020 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

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

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

Disclaimer

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

Verspreiding

BO Akkerbouw

digitaal

Inhoudsopgave

Management samenvatting	2
Samenvatting en conclusies	3
1 Inleiding K, Mg, Ca, N, Cl interacties	7
1.1 Aanleiding	7
1.2 Doel	8
1.3 Verwachte resultaten	8
2 Opzet en uitvoering	9
2.1 Verdiepende literatuurstudie en data-analyse	9
2.2 Mogelijke veldproeven	9
3 Grondonderzoek en interacties	10
3.1 Algemeen	10
3.2 Nutriëntinteracties in relatie tot de opbrengst: algemeen	11
4 Grondonderzoek, multi-nutriëntinteracties en elementratio's	14
4.1 Twee richtingen: beschikbare hoeveelheid en BCSR insteek	14
4.2 Beschikbare hoeveelheid: van enkelvoudig naar multi-nutriënt	14
4.3 Grondonderzoek op basis van BCSR	15
4.3.1 Gewasgroei en gewassamenstelling	15
4.3.2 Bodemstructuur en biologische activiteit	16
4.3.3 Slotopmerkingen	17
5 Nutriëntinteracties bij aardappel en suikerbiet voor N, K, Ca, Mg en Cl-	18
5.1 De functie van N, K, Mg, Ca en Cl	18
5.1.1 Stikstof	18
5.1.2 Kalium	18
5.1.3 Magnesium	19
5.1.4 Calcium	21
5.1.5 Chloride	21
5.2 Aardappelkwaliteit en bemesting algemeen	22
5.2.1 Aardappelkwaliteit algemeen	22
5.2.2 Effect N, K, Cl, Mg en Ca	22
5.3 Nutrient (N, K, Ca, Mg, K) interacties bij aardappel	26
5.3.1 N-K interactie	26
5.3.2 K-Mg, Ca-Mg en K-Ca interactie	26
5.4 Suikerbietkwaliteit en bemesting algemeen	29
5.4.1 Suikerbietkwaliteit algemeen	29
5.4.2 Interacties	30
5.4.3 Interacties andere gewassen	33
6 Ca-meststoffen bodem of blad	34
7 Beantwoording onderzoeksvragen, praktijktips en advies voor vervolgonderzoek	35
7.1 Beantwoording onderzoeksvragen	35
7.2 Praktijktips	37
7.3 Advies voor vervolgonderzoek	38
Literatuur	40

Management samenvatting

In de praktijk leven vragen over de bemesting met kalium (K), magnesium (Mg) en calcium (Ca) van akkerbouwgewassen en de interactie tussen deze elementen. Kan een hoge kaligift zoals bij aardappelen tot magnesium- en calciumgebrek in het gewas leiden en is dan extra magnesium of calciumbemesting nodig en calciumbladbemesting zinvol. In de markt wordt hierop ingespeeld met producten worden naast het advies uit het Handboek Bodem en Bemesting ook geadviseerd volgens de balansbenadering (Albrecht, Kinsey). Dit leidt tot verschillende en soms tegenstrijdige adviezen. Daarom is een literatuurstudie uitgevoerd met focus op aardappelen gericht op de achtergrond van nutriëntinteracties en op de interpretatie van regulier grondonderzoek versus de balansbenadering voor de bemestingsadvisering. De studie heeft als belangrijkste resultaten opgeleverd:

1. Indien de streeftoestanden voor Ca- en Mg- op orde zijn, zijn er op basis van de literatuur geen aanwijzingen dat interacties van K met Mg en Ca effect hebben op kwaliteit en opbrengst. Meer Mg of Ca verstrekken dan het bodemadvies aangeeft is dus niet nodig.
2. Het is niet nodig om een bij hoge kaligift ook Mg en/of Ca te bemesten, verondersteld dat de Mg-toestand minimaal voldoende is. De beste strategie is om K-overmaat en vochttekort te vermijden.
3. Ruim bemesten van aardappel met K vindt plaats uit kwaliteitsoverwegingen. Bij de huidige N- en K-niveaus heeft verhogen/verlagen van de bemesting een beperkt effect op de blauwgevoeligheid. Uit onderzoek blijkt dat slechts 10% van de kwaliteitskenmerken worden verklaard door bemesting. De rest wordt veroorzaakt door raseffecten, jaarinvloeden en andere factoren. De optimale N/K/Cl-voorziening voor (zetmeel)aardappelen en andere gewassen dient vooral gestuurd te worden door de basis stelregel is dat de hoeveelheid N en K niet groeibepkend mag zijn. Met toepassing van de huidige bemestingsadviezen is een optimale opbrengst te realiseren. Vanuit kwaliteitsoverwegingen en teeltdoel kan wat meer of minder N en K worden gegeven.
4. In de wetenschappelijk literatuur is er beperkte informatie over de rol van Ca en de kwaliteit van consumptie- en pootaardappelen. Kennelijk betekent dit dat de Ca-voorziening veelal gewaarborgd is. Een eventueel Ca-tekort bij aardappelen is vooral het gevolg van of een te lage bodem-pH en/of een gebrekkige vochtvoorziening. Voor Ca geldt als eerste dat de pH op orde moet zijn. Met een kalkgift om de pH op peil te brengen, verhoogt men ook de Ca-beschikbaarheid. Verder is een goede vochtvoorziening van belang.
5. Bij de Albrecht (Kinsey) methode is de filosofie dat K, Ca, Mg in een vaste ratio aan het adsorptiecomplex moet zitten voor een optimale opbrengst en goede bodemkwaliteit. Wetenschappelijk is daar geen bewijs voor, wel leidt het tot een sterke verhoging van de bemestingskosten. Veel belangrijker is dat de bodemvoorraad van deze elementen voldoende is. Daarvoor volstaat regulier grondonderzoek.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

- Het verdient aanbeveling om te na te gaan of het Na-advies voor suikerbiet op zandgronden nog steeds actueel is en of dit niet gekoppeld moet worden aan de kaliumstatus van een perceel.
- De zwaveladviezen voor uien zijn in internationaal perspectief gezien laag. Het verdient aanbeveling om het zwavelbemestingsadvies te actualiseren, o.a. op basis van recente proefdata.
- Het advies is om veldproeven met aardappel uit te voeren gericht op de interactie tussen kalium en calcium. Verder verdient het aanbeveling om nader onderzoek te doen naar de effectiviteit van plaatsing van calcium nabij de wortel. Plaatsing lijkt de werking te verbeteren, maar dit moet met meer zekerheid worden vastgesteld.

Samenvatting en conclusies

Aanleiding

In praktijk leven om diverse redenen vragen over de bemesting met kalium (K), magnesium (Mg) en calcium (Ca) van akkerbouwgewassen en de interactie tussen deze elementen.

Er zijn verschillende leveranciers van producten op de markt en er worden naast het advies uit het Handboek Bodem en Bemesting ook adviessystemen als de balansbenadering (Albrecht, Kinsey) gebruikt, waarbij gestreefd wordt naar een optimale verhouding tussen de nutriënten K, Mg en Ca in de bodem. Dit leidt tot verschillende en soms tegenstrijdige bemestingsadviezen.

In de teelt van consumptie- en zetmeelaardappelen neigt de praktijk naar hogere kalibemestingen dan de adviezen aangeven. De zorg leeft dat dit de Mg- en Ca-opname negatief beïnvloedt door antagonisme en tot Mg- en Ca gebrek in het gewas kan leiden. Te veel chloride (Cl) werkt negatief op het onderwatergewicht en zetmeelgehalte van aardappelen. De vraag is met hoeveel chloride een gewas mag worden bemest voordat negatieve effecten optreden en in hoeverre het tijdstip van toediening een rol speelt. Ook worden er diverse Ca-meststoffen (Ca) aangeboden. Hiervan is in praktijk onvoldoende bekend hoe de producten werken en wat precies het effect per product is. Afhankelijk van het product, toepassingswijze en de plaatsing van het product zijn bij aardappel effecten waargenomen op knolaantal, schurft, schilkwiteit, interne kwaliteit, langer groen blijven, etc. De voornoemde kwaliteitseigenschappen zijn vooral relevant bij consumptie- en pootaardappel.

Uit bovenstaande vragen zijn de volgende onderzoeksvragen afgeleid:

1. In hoeverre leidt een hoge kaligift tot magnesium- en calciumgebrek in het gewas?
2. Is het nodig en rendabel om bij hoge kaligift ook magnesium en/of calcium te bemesten?
3. Wat is de optimale N/K/Cl-voorziening voor (zetmeel)aardappelen en andere gewassen?
4. Wat is het effect van verschillende calciummeststoffen en de manier van toepassing ervan op de opbrengst en verschillende kwaliteitseigenschappen van consumptie- en pootaardappelen?

Opzet

Er is een literatuurstudie uitgevoerd met focus op aardappelen. Daarbij is eerst ingegaan op de achtergrond van nutriëntinteracties en de interpretatie van zowel regulier grondonderzoek, gebaseerd op multi-nutriënt extractie, als de balansbenadering. Aansluitend zijn de relaties tussen K, Mg en Ca en tussen N, K en Cl in de bodem bestudeerd om antwoord te geven op de vraag bij welk kaliumaanbod een Mg- of Ca-gebrek is te verwachten en wat het effect is van stikstof, kalium en chloride, inclusief de N/K/Cl-verhouding, op de opbrengst en kwaliteit van gewassen met de focus op aardappel. Verder is nagegaan wat het effect is van verschillende Ca-meststoffen, toegediend via de bodem of het blad. Getracht is om de studie te onderbouwen met recente Nederlandse proefresultaten. Daarvoor is contact gelegd met Agrifirm, Cropsolutions, Delphy, Eurofins Agro, het IRS en Van Iperen. Dit heeft echter nauwelijks aanvullende informatie opgeleverd ondanks een positieve houding t.a.v. het project.

Grondonderzoek en nutriëntinteracties

Veel nutriënten vertonen interacties met elkaar. Zo leidt een hoog aanbod van kalium in de bodem tot onderdrukking van de opname van Ca, Mg en Na in het gewas. Evenzo geldt dat voor anionen. Een hoog aanbod van bijvoorbeeld chloride onderdrukt de opname van fosfaat en sulfaat. Dit kan van invloed zijn op de opbrengst en gewaskwaliteit. Interacties kunnen zowel synergistisch (elkaar

versterkend), antagonistisch (elkaar tegenwerkend) of als geen interactie uitwerken op de opbrengst en of minerale samenstelling. Een van de bekendste interacties is het Liebig synergisme, typisch voor situaties waar één nutriënt de gewasproductie beperkt. Dan heeft de toevoeging van een ander nutriënt geen effect op de opbrengst, zolang het beperkende nutriënt niet is aangevuld.

Is er een overaanbod van een nutriënt, dan kan dat tot luxe consumptie leiden. Het leidt niet tot een hogere gewasopbrengst maar alleen tot hogere gehalten. Bij sommige gewassen kan luxe consumptie gewenst zijn omdat het bijvoorbeeld positief is vanuit oogpunt van een adequate voeding van mens en dier of omdat het de productkwaliteit ten goede komt. Een te ruim aanbod van een nutriënt bijvoorbeeld een kation wordt het gehalte van andere kationen onderdrukt. Het leidt meestal niet tot een opbrengstderving mits de bodemtoestand voor deze andere kationen voldoende is. Vanuit oogpunt van meststofbenutting en het minimaliseren van verliezen naar het milieu dient luxe consumptie zoveel mogelijk te worden vermeden (wel rekening houdend met kwaliteitsdoelstellingen).

Grondonderzoek regulier en elementratio's

Grondonderzoek is de basis van de bemestingsadviezen. Doel van grondbemonstering is om vast te stellen hoeveel nutriënten nodig zijn om een voldoende hoge nutriëntbeschikbaarheid in de bodem te realiseren voor een goede gewasgroei. Dit beschikbare hoeveelheidsconcept gaat in essentie terug naar de wet van Liebig (het nutriënt dat het minst beschikbaar is, bepaalt de groei). De adviezen zijn veelal enkelvoudig en dus niet afhankelijk van het niveau van de andere nutriënten. Met de vernieuwing die in het grondonderzoek heeft plaatsgevonden wordt nu ook meer rekening gehouden met direct beschikbaar nutriënten in de bodemoplossing (intensiteit) en de (nalever)capaciteit. Dit is een ontwikkeling die de komende jaren zal doorzetten. De direct beschikbare hoeveelheid wordt nu zowel voor de macro- als micronutriënten gemeten met één extractiemiddel wat rekening houden met interacties beter mogelijk maakt. De adviezen worden regelmatig geactualiseerd bijvoorbeeld op basis van proeven en worden vermeld in het Handboek "Bodem en bemesting".

Een andere richting in het grondonderzoek gaat uit van het BCSR (basic cation saturation ratios) concept ook wel "gebalanceerde bemesting" genoemd. Doel is te bemesten naar de bodembehoefte met een gebalanceerde ratio tussen de basische kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} en K^+ . Verondersteld wordt dat de gewasgroei wordt beperkt als gronden deze elementen niet in vaste verhoudingen bevatten. De basis voert terug op ideeën uit de jaren 40-50. Deze zijn verder uitgedragen/ontwikkeld door Albrecht en Kinsey. Streefwaarden voor BCSR (als verzadigingspercentage van de CEC) zijn: 65 tot 85% Ca, 6 tot 12% Mg, en 2 tot 5% K. De afgelopen decennia is internationaal veel onderzoek verricht naar deze methodiek. Zowel in de Verenigde Staten als elders komt men tot de conclusie dat BCSR-benadering geen toegevoegde waarde heeft. Er is geen bewijs voor de het feit dat bemesting gericht zou moeten zijn op het realiseren van optimale Ca-, Mg- en K-ratio's in de bodem als het gaat om chemische, fysische of biologische bodemeigenschappen. Bovendien is de conclusie dat BCSR-benadering leidt tot een onnodig gebruik van meststoffen en daarmee tot verspilling en hogere kosten.

Nutriëntinteracties bij aardappel

N-K

Kwaliteitseigenschappen bij aardappel - zowel uitwendige als inwendige – zijn belangrijk. Afhankelijk van het teeltdoel, zijn eigenschappen als zetmeelgehalte en blauwgevoeligheid meer of minder belangrijk. Bekend is dat de stikstofbemesting en kalibemesting van invloed zijn op bijvoorbeeld het zetmeelgehalte. Voor een ras als Bintje leidde 100 kg minder N-bemesting per ha tot een verlaging van het onderwatergewicht met 10 gram. Bemesting met 300 kg patentkali per ha gaf ruwweg ook een verlaging van 10 gram en in de vorm van KCl nog eens ongeveer 10 gram extra. Er is hier dus sprake van negatieve interactie van N en K op onderwatergewicht. Daarentegen neemt de blauwgevoeligheid sterker af bij gebruik van KCl dan bij patentkali, vooral bij gebruik in het voorjaar. Onderzoek geeft aan dat een ruime inzet van KCl goed mogelijk is zonder risico van zoutschade. Hoewel er effecten zijn van N en K (en hun interactie) op kwaliteitskenmerken zijn deze beperkt. Een integrale analyse 20 jaar

geleden over 21 Nederlandse proeven laat zien dat N-K interactie een zwak positieve invloed heeft op de bruto- en netto-opbrengst (hoog N en hoog K geeft de hoogste opbrengst). Er was geen N-K interactie-effect met betrekking tot blauwverkleuring, bakkleur en grauwwerking mede doordat effecten niet consistent waren over de rassen. Rasverschillen verklaarden 10-40%. Het grootste deel werd echter verklaard door locatie- en jaarinvloeden en interacties met andere experimentele factoren.

K-Mg, Ca-Mg en K-Ca interactie

Op basis van de literatuur (en een enkele Nederlandse proef) zijn er geen duidelijke aanwijzingen dat bij een verhoogde K-bemesting (en hoge bodemtoestand) extra Mg-bemesting nodig is voor een maximale opbrengst en het realiseren goede aardappelkwaliteit zo lang de Mg-bodemtoestand minimaal voldoende is. Alleen bij lage bodemtoestanden kan een tekort aan Mg verergerd worden door K-bemesting. Het advies blijft dan ook om de Mg-toestand op peil te houden en te bemesten volgens advies.

Een hoog aanbod aan Ca onderdrukt in principe de opname van Mg en vice versa. In de praktijk leidt dat kennelijk zelden tot problemen omdat er in de literatuur vrijwel geen aandacht is voor deze interactie. Studies met betrekking tot het gewas aardappel ontbraken. Er zijn weinig data over Ca-K interactie. Een enkel onderzoek geeft aan dat een stijgende K-bemesting leidt tot lagere Ca-gehalten in de knol. Een enkel ander onderzoek toont aan dat een ruime Ca-voorziening van invloed is op het percentage grote knollen. Nader onderzoek zou moeten uitwijzen of bij ruime kalibemestingen de kosten van extra Ca-bemesting worden terugverdiend of dat een kalibemesting conform advies tot eenzelfde resultaat leidt.

Nutriëntinteracties bij suikerbiet

Er is een breed palet aan kwaliteitseigenschappen relevant voor de suikerbiet met betrekking tot het winnen van zoveel mogelijk suiker uit de biet. Stikstof en kali zijn vooral van belang voor de opbrengst maar hebben weinig effect op de kwaliteit. De N-bemesting bij bieten luistert nauw. In de adviesbasis is het N-advies onafhankelijk van de bemesting met andere elementen (kalium, magnesium). Bekend is wel dat een optimale stikstofbenutting gepaard gaat met een juiste voorziening met kalium. De adviesbasis is nu juist gestoeld op een optimaal advies voor elk element passend bij de teelt.

De interactie tussen K en Na is bekend, waarbij Na deels de rol van K kan overnemen. Recent Brits onderzoek geeft aan dat dit vooral het geval is bij zeer lage kalitoestanden. Dit onderzoek geeft aan dat Na-bemesting weinig meerwaarde heeft bij een goede kalivoorziening. Nederlands onderzoek op zandgronden van ruim 20 jaar geleden lijkt dat deels te bevestigen. Het verdient aanbeveling om te na te gaan of het Na-advies voor zandgronden nog steeds klopt en of dit mogelijk gekoppeld moet worden aan de kaliumstatus van een perceel.

Een tekort aan magnesium kost wortelgewicht en/of suikergehalte. Volgens het IRS blijkt uit buitenlandse onderzoeksresultaten dat ook bij hoge voorraden in de grond, een magnesiumgift aan suikerbieten gunstig is voor de opbrengst en interne kwaliteit. Oud IRS-onderzoek heeft eveneens uitgewezen dat een magnesiumbemesting gunstig is voor opbrengst en interne kwaliteit bij ruime kalium-magnesiumverhouding. Dit interactie-effect werd in recenter onderzoek niet gevonden. Vermoedelijk zijn de effecten niet heel sterk want in de recentere literatuur is er eigenlijk geen informatie aanwezig over de Mg-K interactie bij bieten.

Eventuele interacties met calcium zijn praktisch gezien niet te verwachten daar bieten een hoge bodem pH verlangen, waarmee een ruime calciumvoorziening is geborgd.

Interacties andere gewassen: uien & tarwe

Uien kennen geen specifiek gewasadvies voor Ca, Mg en K. Op bouwplanniveau is veelal aardappel leidend. In de literatuur is weinig informatie aanwezig over interacties. Er zijn indicaties dat een hoge K-beschikbaarheid onderdrukkend is voor de Mg- en Ca-opname maar het heeft geen effect op de

opbrengst of de kwaliteit. Dit is op basis van de beperkte informatie die beschikbaar is. Een referentie meldt dat extra Ca- en Mg-bemesting positief is voor de ui kwaliteit.

Er zijn aanwijzingen dat er voldoende aandacht voor de S-bemesting moet zijn om K-bemesting beter te laten renderen. K-bemesting aangevuld met S-bemesting leidde tot hogere opbrengsten in buitenlandse proeven. In recente Nederlandse proeven leidde S-bemesting niet tot een betere opbrengst of kwaliteit van uien. De S-bemestingsadviezen worden de komende tijd geactualiseerd.

De bemestingsadviezen voor tarwe houden geen rekening met interacties. Er is geen specifiek advies voor elementen als Ca, Mg en K. In de literatuur is weinig informatie aanwezig over interacties.

Beantwoording onderzoeksvragen

1. Indien de streeftoestanden voor Ca- en Mg- op orde zijn, zijn er op basis van de literatuur geen aanwijzingen dat interacties van K met Mg en Ca effect hebben op kwaliteit en opbrengst. Meer Mg of Ca verstrekken dan het bodemadvies aangeeft is dus niet nodig. Voor Ca geldt als eerste dat de pH op orde moet zijn. Gronden met een lagere pH-waarde hebben ook vaak een lagere Ca-beschikbaarheid. Met een kalkgift om de pH op peil te brengen, verhoogt men ook de Ca-beschikbaarheid. Verder is een goede vochtvoorziening van belang. Bladbemesting met Ca-meststoffen is bij aardappel niet effectief. Het leidt niet tot hogere Ca-gehalten in de knol. Ruim bemesten van aardappel met K vindt plaats uit kwaliteitsoverwegingen. Bij de huidige N- en K-niveaus heeft verhogen/verlagen van de bemesting een beperkt effect op de blauwgevoeligheid. Uit onderzoek blijkt dat slechts 10% van de kwaliteitskenmerken worden verklaard door bemesting. De rest wordt veroorzaakt door raseffecten, jaarinvloeden en andere factoren.
2. Het is niet nodig om een bij hoge kaligift ook Mg en/of Ca te bemesten, verondersteld dat de Mg-toestand minimaal voldoende is. De beste strategie is om K-overmaat en vochttekort te vermijden. Bij de Albrecht (Kinsey) methode is de filosofie dat K, Ca, Mg in een vaste ratio aan het adsorptiecomplex moet zitten voor een optimale opbrengst. Wetenschappelijk is daar geen bewijs voor, wel leidt het tot een sterke verhoging van de bemestingskosten. Veel belangrijker is dat de bodemvoorraad aan deze elementen voldoende is. Daarvoor volstaat regulier grondonderzoek.
3. De optimale N/K/Cl-voorziening voor (zetmeel)aardappelen en andere gewassen dient vooral gestuurd te worden door de basis stelregel is dat de hoeveelheid N en K niet beperkend mag zijn voor de groei. Met toepassing van de huidige bemestingsadviezen kan een optimale gewasopbrengst worden gerealiseerd. Vanuit kwaliteitsoverwegingen en teeltdoel kan wat meer of minder N en K worden gegeven zoals hiervoor is aangegeven.
4. In de wetenschappelijk literatuur is er beperkte informatie over de rol van Ca en de kwaliteit van consumptie- en pootaardappelen. Kennelijk betekent dat de Ca-voorziening veelal gewaarborgd is. Een eventueel calciumtekort bij aardappelen is vooral het gevolg van of een te lage bodem-pH en/of een gebrekkige vochtvoorziening. Eventuele tekorten bij het gewas aardappel niet opgelost worden via bladbemesting. Omdat calcium niet via bladbemesting nooit de knol kan komen. Bemesting zal moeten geschieden via de bodem bij voorkeur geplaatst bij de knollen/wortels. Er zal aandacht moeten zijn voor een goede vochtvoorziening.

Aanbevelingen

- Het verdient aanbeveling om te na te gaan of het Na-advies voor suikerbiet op zandgronden nog steeds actueel is en of dit niet gekoppeld moet worden aan de kaliumstatus van een perceel.
- De zwaveladviezen voor uien zijn in internationaal perspectief gezien laag. Het verdient aanbeveling om het zwavelbemestingsadvies te actualiseren, o.a. op basis van recente proefdata. Dat staat op de onderzoeksagenda van de CBAV.
- Het advies is om veldproeven met aardappel uit te voeren gericht op de interactie tussen kalium en calcium. Verder verdient het aanbeveling om nader onderzoek te doen naar de effectiviteit van plaatsing van calcium nabij de wortel. Plaatsing lijkt de werking te verbeteren, maar dit moet met meer zekerheid worden vastgesteld.

1 Inleiding K, Mg, Ca, N, Cl interacties

1.1 Aanleiding

In praktijk leven vragen over de bemesting met kalium (K), magnesium (Mg) en calcium (Ca) van akkerbouwgewassen vooral over de interactie tussen deze elementen en typen meststoffen. Een aantal voorbeelden hiervan zijn:

- Er zijn nu bodemanalyses op de markt die sturen op de verhouding van K, Mg en Ca in de bodem voor een optimale gewasvoeding van het gewas. Voorbeelden zijn de bodemanalyses van Kinsey (VS) of van Hortinova die worden vertaald naar K-, Mg- en Ca-adviezen voor alle akkerbouw- en groentegewassen.
- In de teelt van consumptie- en zetmeelaardappelen neigt de praktijk tegenwoordig naar een hogere kalibemesting dan de adviezen aangeven. Nu ontstaat bezorgdheid of die hoge kaligiften de opname van magnesium en mogelijk ook calcium negatief beïnvloeden door antagonisme en tot Mg- en Ca-gebrek in het gewas leiden. Het is de vraag of bij een hoge kaligift een aanvullende bemesting met magnesium en calcium zinvol is.
- Stikstof (N) en kalium (K) hebben een positief effect op de opbrengst. Een te hoog stikstof- en/of kaliaanbod verlaagt echter het onderwatergewicht en zetmeelgehalte bij zetmeelaardappelen en de winbaarheid van suiker bij suikerbieten. In de praktijk wordt in zetmeelaardappel al minder stikstof en meer kali gegeven dan het advies. De vraag is of dit ook tot de optimale (zetmeel)opbrengst leidt en wat de interacties zijn van de elementen.
- Te veel chloride (Cl) werkt negatief op het onderwatergewicht en zetmeelgehalte van aardappelen. Het samen toedienen van K en Cl versterkt het negatief effect op het zetmeelgehalte. Cl zit als complementair ion van K^+ of Na^+ in o.a. kalizout (KCl), dierlijke mest, bewerkte mest en mineralenconcentraat. Het Cl-gehalte van deze producten varieert. Rundveedrijfmest bevat bijvoorbeeld twee keer zoveel K^+ als varkensdrijfmest. Door het mestoverschot in de melkveehouderij komt er meer rundveedrijfmest op de markt. Gebruik van drijfmest is aantrekkelijk (goedkoop). Bij gebruik van kunstmest is KCl goedkoper dan Cl-arme kalimeststoffen zoals kaliumsulfaat. Chloride leidt in de bodem tot een hogere zoutconcentratie, wat schadelijk is voor gewassen. Het beïnvloedt de wateropname nadelig en de nutriëntenopname omdat het een interactie kan aangaan met nitraat. Het is de vraag met hoeveel chloride een gewas mag worden bemest voordat negatieve interacties optreden.
- Er worden diverse calciummeststoffen (Ca) aangeboden. Hiervan is in praktijk onvoldoende bekend hoe de producten werken en wat precies het effect per product is. Afhankelijk van het product, toepassingswijze en de plaatsing van het product zijn bij aardappel effecten waargenomen op knolaantal, schurft, schilkwiteit, interne kwaliteit, langer groen blijven, etc. De voornoemde kwaliteitseigenschappen zijn vooral relevant bij consumptie- en pootaardappel.

De interactie tussen nutriënten speelt niet alleen bij aardappel maar is van belang voor alle akkerbouwgewassen. Uit bovenstaande vragen zijn de volgende onderzoeksvragen afgeleid:

1. In hoeverre leidt een hoge kaligift tot magnesium- en calciumgebrek in het gewas?
2. Is het nodig en rendabel om bij hoge kaligift ook magnesium en/of calcium te bemesten?
3. Wat is de optimale N/K/Cl-voorziening voor (zetmeel)aardappelen en andere gewassen?

4. Wat is het effect van verschillende calciummeststoffen en de manier van toepassing ervan op de opbrengst en verschillende kwaliteitseigenschappen van consumptie- en pootaardappelen?

NMI en WUR Open Teelten zijn door BO-akkerbouw gevraagd deze vragen te beantwoorden.

1.2 Doel

Het doel is om door verbetering van de bemesting met N, Cl, K, Mg en Ca een maximaal financieel rendement te behalen door een optimale balans te vinden tussen opbrengst en kwaliteit enerzijds en bemestingskosten anderzijds. Het project moet inzicht geven in de relaties tussen N, Cl, K, Mg en Ca en andere nutriënten ten aanzien van het effect op opbrengst en kwaliteit van belangrijke akkerbouwgewassen.

Daartoe dient eerst een verdiepende literatuurstudie te worden uitgevoerd in combinatie met data-analyse van beschikbare data uit proeven. Op basis van deze resultaten wordt inzicht verkregen of en welke aanvullende veldproeven nodig zijn voor een compleet beeld. Aansluitend kan op basis van de resultaten uit de literatuur en veldproeven een advies opgesteld over de optimale verhouding tussen deze nutriënten en/of maximaal toe te dienen hoeveelheden.

1.3 Verwachte resultaten

Verwacht wordt dat de onder het kopje 'Inleiding' verwoorde vragen uit de praktijk kunnen worden beantwoord. Dit rapport geeft de state of the art kennis weer op gebied van interacties en maakt inzichtelijk op welk vlak nog kennis ontbreekt om bemestingsadviezen te ontwikkelen die niet alleen rekening houden met de afzonderlijke nutriënten maar ook met de interacties ertussen. Het bepaalt in welke mate aanvullend onderzoek nodig is voordat nieuwe adviezen kunnen worden opgenomen in het Handboek Bodem en Bemesting. De bevindingen in het rapport vormen de basis voor een discussiebijeenkomst met de CBAV en BO Akkerbouw.

2 Opzet en uitvoering

2.1 Verdiepende literatuurstudie en data-analyse

Er wordt een literatuurstudie uitgevoerd naar de antagonistische en synergistische relaties van de nutriënten K, Mg, Ca, N en Cl op de opbrengst en kwaliteit van de belangrijkste akkerbouwgewassen voor uiteenlopende omstandigheden (o.a. verschillende grondsoorten). Daartoe wordt eerst nader algemeen ingegaan op nutriëntinteracties (H3). Aansluitend wordt nader ingegaan op:

- het grondonderzoek en interpretatie van grondonderzoek ten behoeve van de bemestingsadvisering (H4). Gangbaar is dat naar het niveau van het individuele nutriënt in de bodem wordt gekeken. Met de opkomst van multi-nutriëntextractie kunnen nutriënten ook meer in samenhang worden gezien. Daarnaast zijn er ook andere invalshoeken waarbij meer wordt uitgegaan van een balansbenadering, een optimale verhouding tussen de nutriënten K, Mg en Ca in de bodem (Kinsey, Albrecht).
- de relaties tussen K, Mg en Ca en tussen N, K en Cl in de bodem met de vraag bij welk kaliumaanbod een Mg- of Ca-gebrek is te verwachten en wat het effect is van stikstof, kalium en chloride, inclusief de N/K/Cl-verhouding, op de opbrengst en kwaliteit van gewassen met de focus op aardappel (H5)
- de beschikbare informatie over het effect van verschillende Ca-meststoffen, toegediend via de bodem of het blad (H6).

De focus in H4 en H5 ligt daarbij vooral op het gewas aardappel (en suikerbieten). Andere gewassen worden waar relevant ook aangestipt.

Naast literatuurinformatie zijn er mogelijk ook datasets van oude(re) proeven die informatie bevatten om de interactie tussen nutriënten in de bodem te bestuderen en hoe dit uitwerkt op de opbrengst en kwaliteitsaspecten. Ook wordt nagegaan of er datasets van praktijkbedrijven beschikbaar zijn met gegevens over de bemesting, opbrengst en kwaliteit waarmee het mogelijk is om interactie gegevens te bestuderen. Hiervoor zijn Agrifirm, CropSolutions, Delphy, Eurofins, IRS, en Van Iperen benaderd. Dit heeft echter geen concrete datasets opgeleverd. Wel is het conceptrapport voorgelegd aan deskundigen van Agrifirm, CropSolutions Van Iperen en ook enkele adviseurs/specialisten op gebied van de BCSR-methode van Soil Services, Zetadec en Vitaland.

Op basis van de voorgaande resultaten en bevindingen worden in H7 de kernvragen zoals weergegeven in paragraaf 1.1 samenvattend beantwoord. Vervolgens worden de conclusies getrokken en zal eventueel een voorstel worden gedaan voor aanpassing en/of uitbreiding van de bestaande bemestingsadviezen in het handboek bodem en bemesting.

2.2 Mogelijke veldproeven

Uit de literatuurstudie en data-analyse komt naar voren welke informatie er nog ontbreekt. Hiervoor zullen veldproeven moeten worden uitgevoerd. Er wordt een globale indicatie gegeven hoe deze proeven eruit kunnen zien en met welke gewassen deze het beste kunnen worden uitgevoerd. Deze scenario's voor mogelijk uit te voeren proeven zijn tezamen met de literatuurstudie de basis voor een discussiebijeenkomst met BO Akkerbouw.

3 Grondonderzoek en interacties

3.1 Algemeen

Gewassen hebben nutriënten nodig om te groeien. Er zijn ongeveer 20 elementen die van belang zijn voor de gewasgroei en gewaskwaliteit. Globaal zijn deze in te delen in 3 groepen:

- Macro-elementen: N, P en K
- Meso-elementen S, Ca en Mg
- Micro-elementen Cl, Fe, B, Mn, Zn, Cu, Mo en Ni (Na, Co, V, Si, Se, Al)

Deze elementen worden door de plantenwortel opgenomen als positief (kation) of negatief (anion) geladen deeltje. De elementen K, Ca, Mg, Na, Cu, Zn, Ni, Co, V en Al worden als kation opgenomen. De elementen P, S, Cl, B, Mo en Se worden als anion opgenomen. Het element stikstof wordt zowel als kation (in de vorm van ammonium) als anion (in de vorm van nitraat) opgenomen. De rol en functie van de elementen voor gewasproductie en kwaliteit is divers. In paragraaf 3.2 wordt kort ingegaan op de rol van N, K, Mg en Cl. De elementen Ni, Co, V, Si, Se en Al zijn niet essentieel voor een goede gewasgroei maar hebben soms voordeel voor de plant (Si bijvoorbeeld stevigheid) of worden als belangrijk aangemerkt in de gezondheid van dier en mens.

De opname van nutriënten door een gewas wordt beïnvloed door veel factoren. Het aanbod aan stikstof is sterk bepalend voor de gewasgroei en het is daarmee van invloed op de totale opname aan overige nutriënten. Tegelijk bepaalt de stikstofvorm, ammonium of nitraat, ook de opname van de overige nutriënten. Zo leidt een hoog aanbod van ammonium tot onderdrukking van de opname van calcium, kalium, magnesium en natrium. Terwijl een hoog aanbod aan nitraat de opname van deze nutriënten stimuleert.

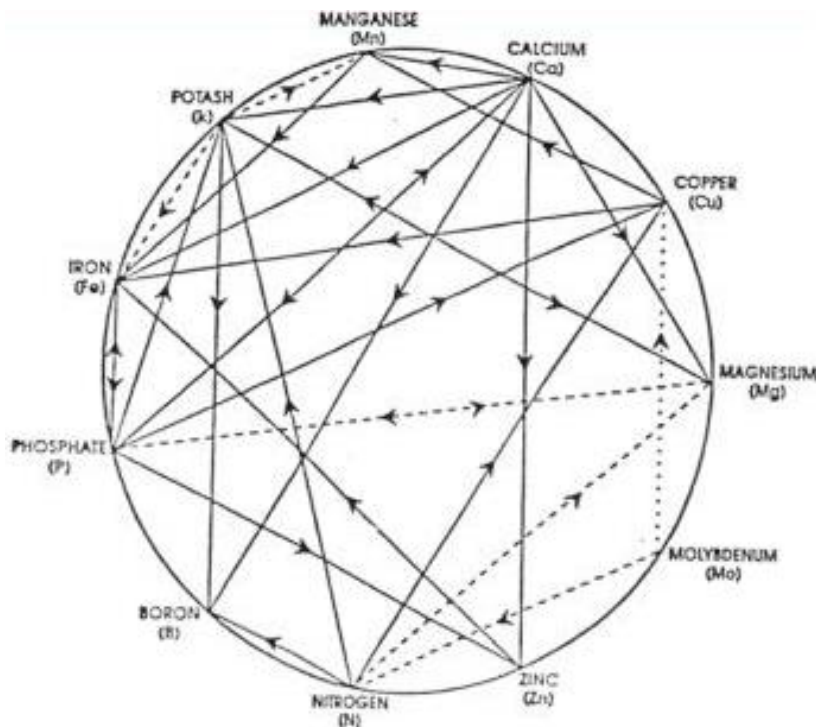
Veel nutriënten vertonen interacties met elkaar. Eén van de eerste publicaties die dat in beeld brengt is weergegeven in Figuur 1 en is gebaseerd op het werk van Mulder (1953). In het algemeen leidt een hoog aanbod in de bodem van een bepaald kation op basis van bemesting of een hoge bodemtoestand tot onderdrukking van de opname van de andere kationen. Zo leidt een hoog aanbod van kalium tot onderdrukking van de opname van Ca, Mg en Na. Evenzo geldt dat voor anionen. Een hoog aanbod van bijvoorbeeld sulfaat onderdrukt de opname van fosfaat en selenium.

In welke mate deze interacties optreden wordt beïnvloed door i) of de opname van een nutriënt een passief proces is, waarbij het nutriënt met de waterstroom via diffusie wordt opgenomen en of ii) dat er een actieve opname van het nutriënt plaatsvindt door het celmembraan heen (vanuit een lage concentratie in het bodemvocht naar een hoge concentratie in de plant). Tegelijk moet een plantenwortel zorgen voor elektrische neutraliteit. Dat wil zeggen er moeten netto evenveel kat- als anionen worden opgenomen of de plantenwortel moet een hoog aanbod aan kationen compenseren door een afgifte van H⁺ en/of een hoog aanbod van anionen door afgifte van OH⁻. In het algemeen betekent een hoog aanbod van ammoniumstikstof een verlaging van de bodem pH en een hoog aanbod van nitraat een verhoging van de bodem pH. Recentelijk hebben Rietra et al. (2017) nutriëntinteracties in relatie tot de opbrengst bestudeerd. De resultaten (zie navolgende pagina) laten een complex beeld zien.

Een plantenwortel heeft dus meerdere regelmechanismen om de benodigde nutriënten op te nemen. De belangrijkste voorwaarde is dat het aanbod vanuit de bodem of via bemesting voldoende is (zie

paragraaf 3.2). Is er een overaanbod van een nutriënt, dan kan dat tot luxe consumptie leiden. Luxe consumptie leidt niet tot een hogere gewasopbrengst maar alleen tot hogere gehalten. Bij sommige gewassen kan luxe consumptie gewenst zijn omdat het bijvoorbeeld positief is vanuit oogpunt van een adequate voeding van mens en dier of omdat het de productkwaliteit ten goede komt. Voorbeelden hiervan zijn het zorgen i) voor voldoende magnesium in gras in relatie tot kalium en stikstof vanuit oogpunt van diergezondheid of ii) het zorgen voor een ruim aanbod van stikstof voor de kleur van prei of ii) een hoog kaliaanbod bij aardappelen voor minder risico op stootblauw maar anderzijds een verlaging van het zetmeelgehalte/ onderwatergewicht. In het algemeen leidt een te ruim aanbod van een kation weliswaar tot een daling van het gehalte aan andere kationen maar leidt het veelal niet tot een opbrengstderving omdat er te weinig van de andere kationen wordt opgenomen, zolang er in de bodem in absolute hoeveelheden voldoende beschikbaar is van deze kationen.

Vanuit oogpunt van meststofbenutting en het minimaliseren van verliezen naar het milieu dient luxe consumptie zoveel mogelijk te worden vermeden (wel rekening houdend met kwaliteitsdoelstellingen). Luxe consumptie betekent een te ruim aanbod en dus risico op uitspoeling. Bovendien kan luxe consumptie van kalium ertoe leiden dat bijvoorbeeld een hogere magnesiumbemesting nodig is om een gewenst kwaliteitsdoel te realiseren. De vraag is dan ook hoe je hier met bemesting zo goed mogelijk op in kunt spelen.



Figuur 1. Nutriëntinteracties naar Mulder 1953.

3.2 Nutriëntinteracties in relatie tot de opbrengst: algemeen

Interacties tussen nutriënten komen veel voor zoals al blijkt uit Mulders figuur. Bekend is bijvoorbeeld de interactie tussen de kationen K, Ca en Mg of de interactie tussen zink en fosfaat, waarbij een hoge fosfaattoestand de zinkbeschikbaarheid en daarmee de opname onderdrukt. Evenzo komt interactie tussen anionen voor. Een hoog aanbod van bijvoorbeeld chloride onderdrukt de opname van fosfaat en sulfaat. (Corbett EG & Gausman HW, 1960). Interacties kunnen zowel synergistisch (elkaar versterkend), antagonistisch (elkaar tegenwerkend) of als geen interactie uitwerken op de opbrengst en of minerale samenstelling (Tabel 1). Pan (2012) heeft dit classificatiesysteem beschreven en Rietra et al. (2017) hebben dit toegepast in een brede studie naar het optreden van nutriëntinteracties. Op

basis van literatuurgegevens hebben ze voor een breed palet aan nutriënt combinaties 116 proefresultaten met nutriëntinteracties geïdentificeerd. In hun studie hebben Rietra et al (2017) dat grafisch weergeven, zie Figuur 2. Het levert een complex beeld. Voor bijvoorbeeld K- en Mg-interacties komen alle vier vormen van interactie voor. Ze schrijven dit complexe beeld toe aan de verscheidenheid in gewassen, klimaat, bodemtypes(nutriëntenrijkdom) en stellen dat extrapolatie naar andere situaties en productieomstandigheden niet kan. Verder concluderen ze dat de meeste macronutriënten synergetische interacties hebben, waarbij dat kan resulteren in relatieve opbrengsten die een factor 1-3 groter zijn dan de opbrengst op basis van het individuele nutriënt.

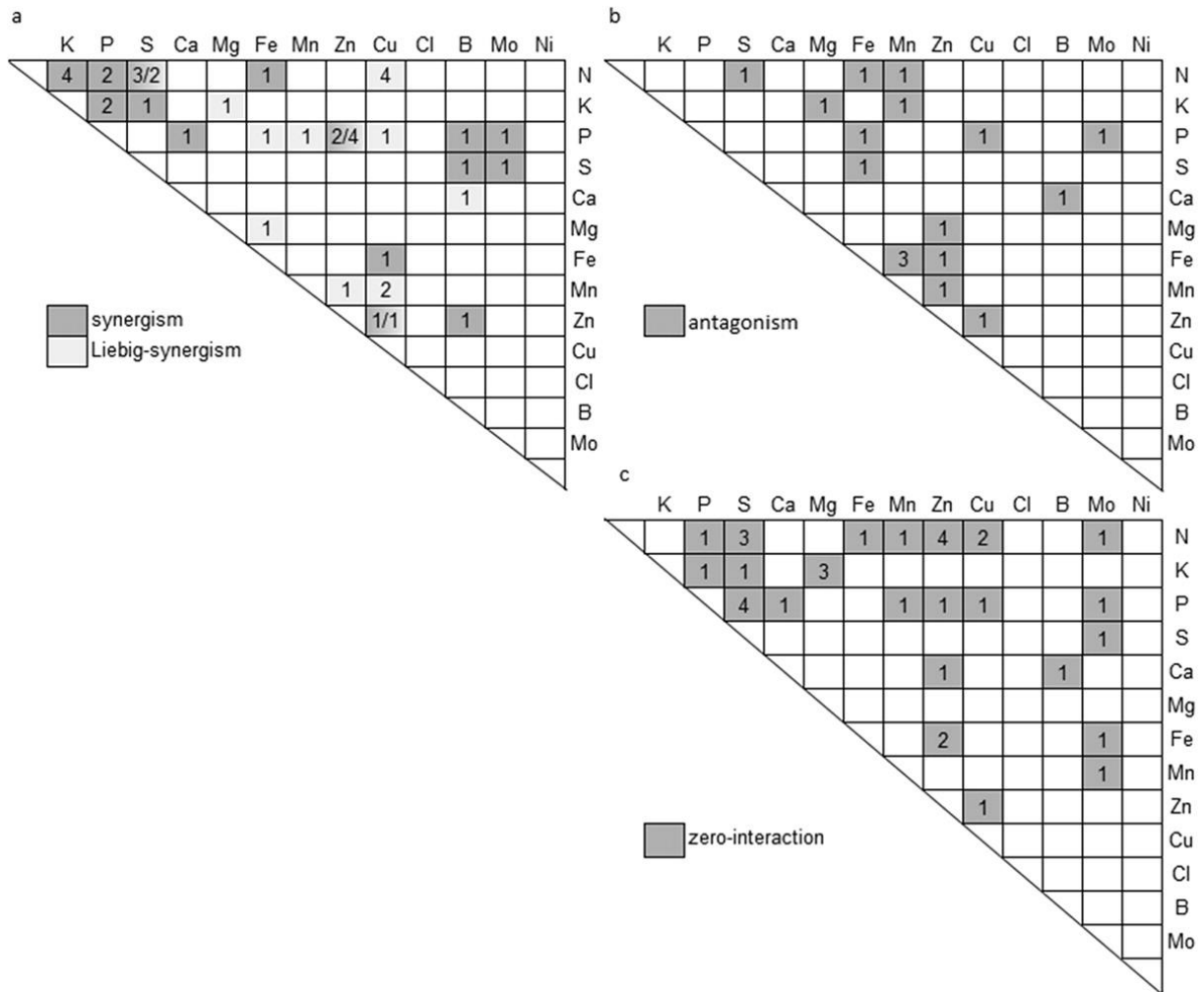
Omdat macronutriënten de basis vormen voor de bemesting, adviseren ze dat het de moeite waard is om rekening te houden met deze synergetische interacties. Impliciet gebeurt dat ook met het huidige bemestingsadvies voor de gewasopbrengst. De adviezen voor een nutriënt zijn gebaseerd op situaties waarbij de voorziening met de andere nutriënten optimaal is. Verder merken Rietra et al. (2017) op dat antagonismen en negatieve effecten van nutriënten vaak gerelateerd zijn aan de tweewaardige kationen die waarschijnlijk dezelfde opnamemechanismen hebben.

De studie van Rietra et al. (2017) was vooral gericht op opbrengsteffecten. Algemeen bekend is dat de effecten op gehalte/opname vaak sterker zijn dan die op opbrengst. Tegelijk geven ze aan dat resultaten locatie en gewas specifiek zijn. In onze studie zal vooral een gewas specifieke insteek worden gekozen met de focus op aardappelen.

Tabel 1. De definitie van synergisme, antagonisme, geen-interactie en Liebig-synergisme.

Type interactie	Omschrijving	Beoordeling*
1. Synergisme	De opbrengst is door de gecombineerde toepassing van twee nutriënten hoger dan de verwachte opbrengsteffecten op basis van de afzonderlijke toepassingen van de nutriënten.	$y_{ab}/y_0 > y_a/y_0 * y_b/y_0$
2. Antagonisme	De opbrengst is door de gecombineerde toepassing van twee nutriënten lager dan de verwachte opbrengsteffecten op basis van de afzonderlijke toepassingen van de nutriënten.	$y_{ab}/y_0 < y_a/y_0 * y_b/y_0$
3. Geen-interactie	Wanneer de opbrengst van een combinatie van twee nutriënten gelijk is aan de verwachte opbrengst op basis van de individuele toepassing van deze twee nutriënten dan is er geen interactie.	$y_{ab}/y_0 \sim y_a/y_0 * y_b/y_0$
4. Liebig-synergisme	Typisch voor situaties waar één nutriënt de gewasproductie beperkt. Dan heeft de toevoeging van een ander nutriënt geen effect op de opbrengst. Daarentegen heeft het toedienen van beide nutriënten een verhogend (synergetisch) effect. Wallace (1990) introduceerde hiervoor de term Liebig-synergisme om te verwijzen naar Liebig's wet van het meest beperkende nutriënt (het vat met duigen).	$y_{ab}/y_0 > y_a/y_0 * y_b/y_0$

* De berekening van de verwachte opbrengst (y_{ab}) als product van de individuele respons (y_a en y_b) ten opzichte van de referentiebehandeling y_0 . Dit is gebaseerd op Wallace (1990).



Figuur 2 Interacties tussen nutriënten. Het aantal in vierkantjes verwijst naar het aantal studies van elk type interactie en wel a. synergistisch of Liebig-synergistisch (43), b. geen-interactie (35) en c. antagonistisch (in totaal 17 gevallen).

4 Grondonderzoek, multi-nutriëntinteracties en elementratio's

4.1 Twee richtingen: beschikbare hoeveelheid en BCSR insteek

Sinds jaar en dag kennen we bemestingsadviezen in Nederland. De adviezen zijn erop gericht om op basis van grondonderzoek via aanvullende bemesting een voldoende hoge beschikbaarheid van een nutriënt in de bodem te realiseren zodat een gewas optimaal kan groeien. Dit zogenaamde beschikbare hoeveelheidsconcept gaat in essentie terug naar de wet van Liebig (het nutriënt dat het minst beschikbaar is, bepaalt de groei). In Nederland maar ook in Europa zijn veel adviessystemen voor bemesting op deze manier ingericht.

Dit Nederlandse adviezen zijn veelal enkelvoudige adviezen. Dat wil zeggen het advies voor een nutriënt is niet afhankelijk van het niveau van de andere nutriënten. Dit is geleidelijk aan het veranderen en met de introductie van multi-nutriënt extractie zo'n 15 jaar geleden zijn daar ook volop mogelijkheden voor (zie verderop).

Naast het beschikbaarheidsconcept is er een andere richting in het grondonderzoek die uitgaat van het BCSR (basic cation saturation ratios) concept ook wel "gebalanceerde bemesting" genoemd. Dit concept heeft tot doel te bemesten naar de bodembehoefte. Het betekent dat er een gebalanceerde ratio dient te zijn tussen de basische kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} en K^+ en dat de gewasgroei (veronderstelling) wordt beperkt als gronden deze elementen niet in vaste verhoudingen bevatten. Het berust op de ideeën van Bear en collega's uit de jaren 40-50 en is verder uitgedragen door Albrecht en is ook een van de basisgedachten bij Kinsey. Hoewel er verschillende waarden zijn voorgesteld voor de BCSR vallen deze over het algemeen binnen het volgende bereik (als verzadigingspercentage van de CEC): 65 tot 85% Ca, 6 tot 12% Mg, en 2 tot 5% K (op basis van Graham, 1959).

4.2 Beschikbare hoeveelheid: van enkelvoudig naar multi-nutriënt

In Nederland is vooral na 1950 het grondonderzoek de basis geworden voor de bemestingsadvisering. Tot 2004/2005 had vrijwel elk element zijn eigen extractiemethodiek. Dat had als oorzaak dat 50-80 jaar geleden extractieoplossingen werden gezocht die met de toenmalige technieken analytisch goed te meten waren en waarvan anderzijds het analyseresultaat een redelijk goed verband toonde met de gewasopbrengst. Dat resulteerde voor micronutriënten in veelal agressievere extractiemiddelen dan voor macronutriënten om de lage hoeveelheden die in de bodem beschikbaar zijn, te kunnen meten. Veelal had elk nutriënt zijn eigen extractiemethodiek.

Over het algemeen moet een succesvol bodemextractant informatie geven over:

- wat direct beschikbaar is in de bodemoplossing (intensiteit);
- de hoeveelheid die gemakkelijk in de oplossing kan komen gedurende het groeiseizoen ter vervanging van de verwijderde hoeveelheid (capaciteit of hoeveelheid);

Voor een optimale concentratie van de voedingsstoffen voor de plantengroei in de bodemoplossing moet deze boven een bepaald niveau blijven. Een groeiend gewas zal eerst gebruik maken van wat direct beschikbaar is. De concentratie in de bodemoplossing zal gaan afnemen en dan bepaalt de

hoeveelheid die gemakkelijk in oplossing kan komen, of de concentratie boven het vereiste minimumniveau voor een optimale plantengroei kan worden gehouden. Zo niet, dan is bemesting nodig. Dit concept wordt goed uitgelegd door Mengel en Kirkby (1987). Met één extractiemiddel voor een nutriënt is het echter moeilijk of zelfs onmogelijk om een duidelijk onderscheid te maken tussen intensiteit en capaciteit. Veelal werd destijds toch voor één extractiemiddel gekozen en werden op basis van talloze (veld)proeven bemestingsadviezen afgeleid. Zo ook in Nederland, waarbij de adviezen de afgelopen decennia regelmatig zijn geactualiseerd. De kationenuitwisselingscapaciteit (CEC) als maat voor de buffervoorraad werd destijds niet gemeten vooral vanwege de hoge kosten.

Nadelen van de zojuist genoemde aanpak zijn dat de methodieken veelal een compromis zijn tussen intensiteit en capaciteit en dat door de veelheid aan extractiemiddelen interacties minder goed te beschrijven zijn. Wereldwijd is men de laatste decennia overgegaan naar multi-nutriënt extractie. De belangrijkste redenen daarvoor was dat het kostentechnisch gunstig is om meerdere nutriënten met een extractiemethode te meten dan iedere nutriënt apart. Tegelijk biedt het ook mogelijkheden om beter rekening te houden met interacties bij ontwikkeling van toekomstige bemestingsadviezen.

Vanaf 2004/2005 is men in Nederland overgegaan naar een basisextractiemiddel voor vrijwel alle nutriënten en pH en wel 0,01 N CaCl₂. Dit is een zwak zout en benaderd de zoutsterkte van het wortelmilieu. De basis voor deze methodiek is ontwikkeld door Houba et al. (1996 & 2000). Alleen voor fosfaat wordt ook nog de P-AL of Pw methode toegepast. Naast deze extractiemethode zijn er totaalbepalingen voor N, S, organische stof, C-totaal en lutumgehalte. Met de opkomst van nabij infraroodspectroscopie werd het ook mogelijk om de CEC en de bezetting aan het adsorptiecomplex met Ca, K, Mg betaalbaar te meten.

Inmiddels zijn er voor grasland een aantal adviezen die meer gebaseerd zijn op intensiteit en capaciteit, zoals bijvoorbeeld het kali- en fosfaatbemestingsadvies. Verder wordt bij het natriumbemestingsadvies voor gras, dat gericht is op het realiseren van bepaalde gehalten in het gewas, rekening gehouden met de interacties met K en Mg. Het advies is afhankelijk van de K- en Mg-toestand.

4.3 Grondonderzoek op basis van BCSR

4.3.1 Gewasgroei en gewassamenstelling

Zo lang er grondonderzoek is, wordt al gewerkt met de gedachte dat er optimale verhoudingsgetallen zijn tussen de kationen. Koppitke en Menzies (2007) hebben een review uitgevoerd naar element ratio's. Uit hun review blijkt dat Lipman (1916) ruim 100 jaar geleden al concludeerde dat er op basis van het toenmalig onderzoek geen bewijs was voor optimale ratio's in relatie tot gewasopbrengst. In 1933 kwamen Moser (1933) tot dezelfde conclusie.

In de jaren 40 en 50 is opnieuw veel onderzoek gedaan naar element ratio's Ca/Mg, K/Mg en K/Ca door o.a. Bear, Bear and Toth en andere. In het onderzoek werd vaak ook gewerkt met zuivere kleien om het effect van element ratio's beter te bestuderen. Bear et al. (1945) stelden destijds voorzichtig voor dat 65% Ca, 10% Mg, 5% K en 20% H⁺ weleens de ideale bodem kon zijn. Het is niet duidelijk hoe deze waarden tot stand zijn gekomen maar ze werden nog een keer genoemd in Bear and Toth (1948). Tegelijk gaven Bear en co-werkers zelf aan dat een maximale groei kan plaatsvinden over een grote range aan kationenverhoudingen. Koppitke en Menzies (2007) geven aan dat het werk van Bear gericht was op het realiseren van een hoge Ca-bezetting (65%) voor maximale groei maar juist ook om luxe consumptie van K tegen te gaan. Later werden de bezettingspercentages aangepast: 65 tot 85% Ca, 6 tot 12% Mg, en 2 tot 5% K (op basis van Graham, 1959). Volgens Koppitke en Menzies (2007) is niet meer goed na te gaan op basis waarvan destijds het advies is afgeleid dat 65 tot 85% Ca, 6 tot 12% Mg, en 2 tot 5% K de optimale bandbreedtes zijn voor de bezetting aan het adsorptiecomplex.

Albrecht is eind dertiger jaren ook begonnen met onderzoek naar nutriëntratio's en pH en gaf ook aan dat een gebalanceerde bodem minimaal 65% Ca en 15% Mg diende te bevatten. In de (Albrecht papers, 1975) is later aangegeven dat een gebalanceerde bodem 60 tot 75% Ca, 10 tot 20% Mg, 2 tot 5% K, 10% H en 5% andere kationen diende te bevatten. Het is niet duidelijk hoe deze percentages zijn afgeleid.

De term gebalanceerde bodems is een eigen leven gaan leiden en is de laatste jaren ook sterk gepromoot, ook in Nederland, en wordt aangeboden als de Albrecht-Kinseymethode. Openbare proeftechnische resultaten waarbij het concept is getoetst onder Nederlandse omstandigheden zijn er heel beperkt. Tussen 2012 en 2015 hebben er proeven gelopen op de proefboerderijen Ebelsheerd te Nieuw Beerta en 't Kompas te Valthermond (Bodem in Balans folder, Bijlage 2). Te Ebelsheerd werd 4 jaar op hetzelfde perceel tarwe geteeld. Bemesten volgens Albrecht leidde tot een fors hogere bemesting met K, Mg, S, B, Cu en Zn. Er werd geen verschil in productie gemeten. Wel waren de bemestingskosten fors hoger. Op zich is het opvallend dat extra B, Cu en Zn werd geadviseerd temeer daar tarwe niet te boek staat als een gevoelig gewas. Op 't Kompas werd in een vierjarige rotatie fors meer bemest met K, Mg, S, B en Cu. Over de gehele rotatie werd er geen significant verschil in productie gemeten (helaas zijn de originele data niet meer traceerbaar). Heel recent onderzoek van De Haan et al. (2020) voor een vierjarige teeltcyclus met 2x fabrieksaardappel, een keer graan en een keer suikerbieten laat voor zetmeelaardappelen een iets hogere opbrengst en een iets lager OWG (kali-effect) zien. De extra bemestingskosten overtreffen de meeropbrengst waardoor het per saldo financieel niet uit kan.

In al het onderzoek na 1950 geciteerd door Kopittke en Menzies is nergens een bewijs gevonden voor optimale verhoudingen, dus een optimale BCSR voor zowel de gewasopbrengst als de gewaskwaliteit. Het algemene beeld was dat er een grote bandbreedte was in elementratio's voor een optimale opbrengst. Een voorbeeld is het werk van Ologunde en Sorensen (1982) met betrekking tot de optimale K/Mg verhouding voor sorghum. Zij kwamen tot de conclusie dat, mits de absolute hoeveelheden K en Mg voldoende waren om aan de gewasbehoefte te voldoen, de K/Mg-verhouding in het groeimedium kon variëren zonder dat dit nadelige gevolgen had voor de gewasgroei.

In 2017 hebben Chaganti & Culman ook een review uitgevoerd naar de BCSR en haar historische achtergrond. Zij geven in hun werk een overzicht van proeven waarin nagegaan is wat de relatie is tussen BCSR en de gewasopbrengst. In de 15 studies die zij citeren (zie Bijlage 1) is geen enkel effect van de nutriëntratio's op de gewasopbrengst aangetoond.

4.3.2 Bodemstructuur en biologische activiteit

Bij gebalanceerde bemesting volgens BCSR wordt een effect verondersteld van de kationverhoudingen op de gewasgroei door veranderingen in de bodemstructuur zoals (oppervlakte)verdichting en verminderde waterindringing. De review van Kopittke & Menzies (2007) vindt daar geen bewijs voor, eerder het tegendeel. Voor kleigronden onder Nederlandse omstandigheden gaat de voorkeur juist uit naar een zo hoog mogelijke bezetting met calcium vanuit oogpunt van bodemstructuur. Een hoge bezetting met kalium maar juist ook met magnesium zou het zwelgedrag van klei bevorderen (Dontsova & Norton, 2002), al moet opgemerkt worden dat dat pas bij hoge Mg-bezettingen duidelijk wordt. In de BCSR wordt 6 tot 12% Mg als optimum gezien. Eurofins hanteert het streeftraject van 6-10% Mg aan het CEC vanuit oogpunt van structuur. Deze zijn afgeleid uit de literatuur en of berekeningen. Er zijn geen Nederlandse proefdata voorhanden.

Ook zijn er geen aanwijzingen dat het "gebalanceerde bodem" concept effect heeft op de biologische activiteit op basis van de onderzoeken van Schonbeck (2000) en Kelling et al. (1996). De laatsten hebben gekeken naar regenwormen. Zij hebben vastgesteld dat de Ca/Mg verhouding geen effect had op de regenworm populatie.

4.3.3 Slotopmerkingen

Kopittke & Menzies (2007) hebben in een uitgebreide review over de BCSR de eraan ten grondslag liggende proeven en literatuur bestudeerd. Zij komen tot de conclusie dat het BCSR-concept geen hout snijdt. Zij zien geen bewijs voor de het feit dat bemesting gericht moet zijn op het realiseren van optimale Ca-, Mg- en K-ratio's in de bodem als het gaat om chemische, fysische of biologische bodemeigenschappen. Bovendien concluderen zij dat het BCSR-concept leidt tot een onnodig gebruik van meststoffen en daarmee tot verspilling.

“The data do not support the claims of the BCSR, and continued promotion of the BCSR will result in the inefficient use of resources in agriculture and horticulture.”

Diezelfde conclusie trekt ook Edmeades (2011) en een grote groep Zuid-Afrikaanse onderzoekers en landbouwkundigen in 2013 in het agrarisch vakblad Farmers weekly (Miles et al., 2013). Zij stellen dat de toepassing van BCSR de agrariër op onnodige kosten jaagt.

De afgelopen jaren is er ook bij de VDLUFA-discussie geweest over de Kinsey methodiek. In 2016 (Lorenz) is een poging gedaan om op basis van oudere bekalkingsproeven na te gaan of het werken met ratio's meerwaarde heeft. Deze proeven lieten zien dat bij pH-waarden > 4,5 de graanopbrengst niet beïnvloed werd door de mate van Ca-bezetting aan het complex. Met bekalking werd de ratio Ca/Mg ratio wel beïnvloed maar dit had geen effect op de opbrengst. Door de Vakgroep Bodemkunde van de VDLUFA wordt de Kinsey methodiek beschreven als verouderd en met sterk versimpelde bodemkundige concepten (Nätscher, 2018). Verder wordt geconstateerd dat er geen recente Duitse veldproeven zijn die het concept ondersteunen en dat de aanbieders van de methodiek dit ook niet nodig achten.

In Nederland wordt het BCSR-concept gepromoot door een aantal bedrijven. Openbare Nederlandse proeftechnische resultaten ontbreken vrijwel. Er wordt alleen gebruik gemaakt van ervaringsmeldingen door ondernemers met uitzondering van een recente studie van de Haan et al. (2020). De landbouwkundigen in Miles et al. (2013) geven aan dat hun ervaring is dat “betere opbrengsten” op basis van ervaringen berusten op een beter gewasmanagement; “It is fairly certain that in the vast majority of cases, yield increases ascribed to Albrecht recommendations are in fact due to associated improved crop management practices.”

Een concept van dit rapport is voorgelegd aan adviseurs/specialisten op gebied van het BCSR-concept. Dit heeft niet geleid tot nieuwe inzichten voor dit rapport. Hoewel niet alle potentiële effecten van het BCSR-concept voldoende zijn onderzocht is het algemene beeld duidelijk dat het concept geen meerwaarde heeft.

Concluderend kan gesteld worden: Het is niet zinvol om te bemesten op basis van het BCSR-concept. Het leidt niet tot meeropbrengsten maar wel tot fors hogere bemestingskosten en verspilling van meststoffen.

5 Nutriëntinteracties bij aardappel en suikerbiet voor N, K, Ca, Mg en Cl-

5.1 De functie van N, K, Mg, Ca en Cl

5.1.1 Stikstof

Stikstof is het bepalende element voor de gewasgroei alsook voor de kwaliteit. Stikstof is een bestanddeel van chlorofyl, aminozuren, eiwitten, nucleïnezuren, co-enzymen en membraanbestanddelen. Stikstof stimuleert de groei. Bij de meeste akkerbouwgewassen gaat het om het realiseren van een goede opbrengst en een bepaalde gewenste gewaskwaliteit. De kwaliteitseisen verschillen echter per gewas dan wel per bestemming van het product en dat heeft effect op de stikstofbehoefte. Zo is bij zetmeelaardappel het zetmeelgehalte van belang voor de uitbetaling en bij tafelaardappel niet. Dit heeft ertoe geleid dat het N-bemestingsadvies voor zetmeelaardappel lager is dan voor consumptieaardappel, omdat een hoog stikstofaanbod het zetmeelgehalte verlaagt. Bij voertarwe is de kg opbrengst van belang, terwijl bij baktarwe ook het realiseren van een minimaal eiwitgehalte van belang is, wat wordt bevorderd door een hoog stikstofaanbod. Derhalve geldt voor baktarwe een hoger N-advies dan voor voertarwe. Bij suikerbieten gaat het vooral om de hoeveelheid winbaar suiker. Dat wordt bepaald door veel factoren. Voor stikstof betekent het dat een te ruime stikstofbemesting moet worden vermeden omdat dit het suikergehalte en de winbaarheid verlaagt. Bij andere gewassen zoals prei kan de visuele verschijning bepalend zijn voor het stikstofniveau. Voor alle gewassen zijn gedetailleerde N-bemestingsadviezen beschikbaar die optimaal recht doen aan kwaliteit en opbrengst.

Gewassen nemen N overwegend op in de vorm van ammonium (NH_4^+) of nitraat (NO_3^-). Vandaar dat de gangbare meststoffen één van deze of beide vormen bevat (of verbindingen bevat die vrij snel worden omgezet in ammonium of nitraat). In een vruchtbare grond komen NO_3^- en NH_4^+ over het algemeen in een verhouding voor van 10 à 20 : 1 (Kirkby et al., 2009). Ammonium is positief geladen. Om elektroneutraliteit te handhaven moet de plant positief geladen verbindingen (kationen) afstaan of negatief geladen verbindingen (anionen) opnemen. Bij nitraat doet zich het tegenovergestelde voor. De vorm waarin een gewas de N opneemt is dus van invloed op de minerale samenstelling van het gewas en het is daarmee van invloed op het K, Mg, Ca en Cl- gehalte van de plant. Het is algemeen geaccepteerd dat de plantengroei wordt gemaximaliseerd bij een bepaalde verhouding van ammonium tot nitraat, afhankelijk van de plantensoort (Britto en Kronzucker, 2002). Voor meer achtergrondinformatie zie bijvoorbeeld den Boer et al. (2011).

De opname van stikstof varieert van 150 tot 300 kg/ha. Vooral aardappelen, wintertarwe en bieten nemen veel stikstof op.

5.1.2 Kalium

De belangrijkste functies van K in planten zijn het beheersen van de enzymactiviteit, kation-anion homeostase en membraanpolarisatie. Kalium is betrokken bij de celstrekking, turgorregulatie en stomatale beweging. Kalium moet in voldoende mate beschikbaar zijn voor een hoge biomassa-productie en een goede ontwikkeling van de bladmassa. K is ook betrokken bij de

eiwitvorming, waarbij K de omzetting van N naar eiwit stimuleert. Een voldoende K-voorziening is dus nodig voor een goede opbrengst (zie ter illustratie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**) en gewaskwaliteit met een voldoende eiwitgehalte. Kalium bevordert dus de benutting van de beschikbare N. K is het begeleidende ion bij het transport van nitraat (NO_3) en aminozuren vanuit de wortels naar de bovengrondse delen. Een tekort aan K leidt tot ophoping van NO_3 in de wortels. Bij ophoping van NO_3 wordt de verdere opname ervan geremd, wat leidt tot groeireductie.

Bij een tekort aan K kan er sprake zijn van een afname van het aantal bladeren en een afname van de bladgrootte. Dit is toe te schrijven aan de rol van K in de osmoregulatie en de cellen. Bij een ruim aanbod van kalium ziet een gewas als mais er ook "massaler" uit, ook al hoeft dat niet te betekenen dat de opbrengst hoger is (Middelkoop et al. 2019).

Gewassen nemen kalium of als K^+ . De opname van kalium wordt beïnvloed door de beschikbaarheid in de bodem en de bemesting. Ook het niveau van de N-bemesting en of dit in ammonium of nitraatvorm geschiedt en de beschikbaarheid en dus interacties met magnesium en calcium zijn van invloed op de K-opname. In de adviesbasis wordt onderscheid gemaakt in 5 groepen gewassen voor de bemestingsadviesing. Er wordt tot nu toe geen rekening gehouden met interacties.

Bij het gewas aardappel is K van invloed op de opbrengst. Het K-gehalte in het gewas is van invloed op het onderwatergewicht (OWG) en de gevoeligheid van de knollen voor stootblauw. Een hoog kaliaanbod verlaagt het OWG en vermindert de blauwgevoeligheid. Derhalve geldt voor zetmeelaardappel een lager kalibemestingsadvies dan voor consumptieaardappel. Bij suikerbieten is kalium eveneens van belang voor de groei maar tegelijkertijd ziet men uit oogpunt van suikerwinbaarheid liefst zo laag mogelijke K-gehalten. Via veredeling wordt daarop gestuurd maar natuurlijk draagt een niet te ruime bemesting hier ook aan bij. Bij beide gewassen is er een interactie met stikstof (zie 5.3.1). Granen hebben een relatief lage kaliumbehoefte. Interacties met de stikstofbemesting zijn er nauwelijks.

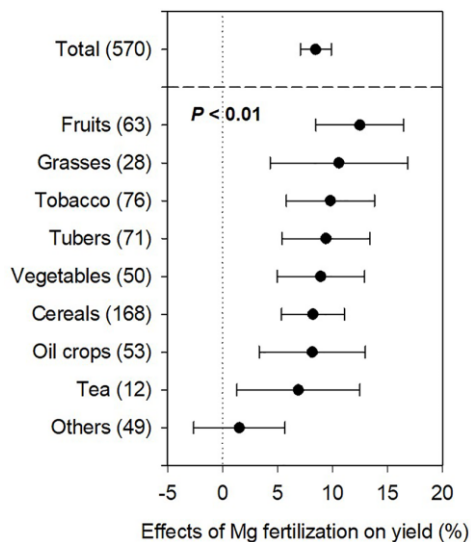
De opname van kalium varieert van 150 tot 300 à 400 kg/ha. Vooral aardappelen en bieten nemen veel kalium op.

5.1.3 Magnesium

Na stikstof, fosfaat en kali krijgt magnesium de meeste aandacht in de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. Bij tekorten kunnen er flinke opbrengstdervingen ontstaan.

Borst et al. (1970) vonden 10-15% hogere opbrengsten door Mg-bemesting bij lage Mg-toestanden op zand/löss. Heel recent hebben Wang et al. (2020) een meta-analyse uitgevoerd naar het effect van Mg-bemesting op basis 99 proeven, waarvan de helft in China. Gemiddeld werd 8.5% opbrengststijging gemeten, waarbij de opbrengststijging bij knolgewassen (aardappel, zoete aardappel, cassave en wortelen) gemiddeld 9.4% bedroeg. Bij lage bodemtoestanden (uitwisselbaar Mg < 60 mg kg⁻¹ ofwel Mg in CaCl_2 < ≈ 35-40 mg kg⁻¹) steeg de opbrengst gemiddeld met 9,4% door Mg-bemesting. Bij meer dan 120 mg kg⁻¹ uitwisselbaar Mg (ofwel Mg in CaCl_2 < ≈ 70-80 mg kg⁻¹) steeg de opbrengst nog met 4,9%. Bemesting met 50 kg MgO ha⁻¹ was veelal voldoende op opbrengstderving tegen te gaan (hogere giften gaven nauwelijks nog meeropbrengst).

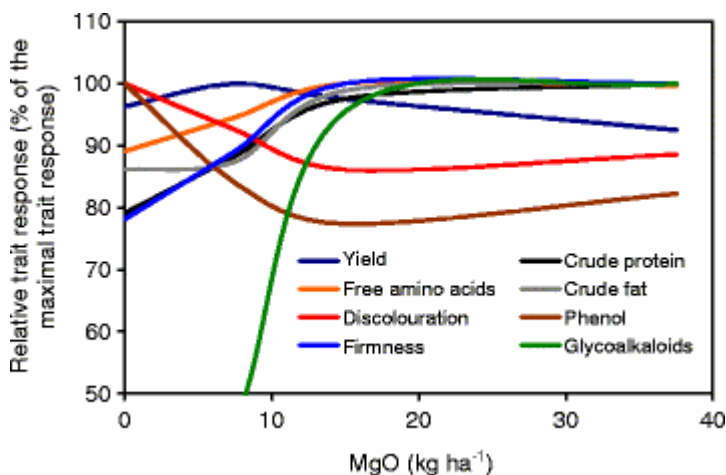
Magnesium heeft een belangrijke rol in de fotosynthese, bij de verdeling van fotoassimilaten, de eiwitsynthese en de enzymregulering. Mg-deficiëntie kan leiden tot verminderde groei en opbrengst (Cakmak & Yazici 2010, Senbayram et al. 2015 & Wang et al., 2020). Samen met K dient Mg als kation



Figuur 3. Relatieve effecten van Mg-bemesting op de gewasopbrengst. Weergegeven is het gemiddelde per gewasgroep, het 95% betrouwbaarheidsinterval en het aantal experimentele eenheden per gewasgroep (aantallen tussen haakjes). P, wijst op de significante verschillen tussen gewassen.

in vergelijkbare fysiologische processen, zoals de regulering van de kationen-ionenbalans en als osmotisch actief ion in de turgorregulatie van cellen (Marschner, 2012). Daarnaast draagt Mg, net als K bij, om een stabiele pH-waarde te behouden voor de juiste activiteit van fotosynthetische enzymen. De meest bekende functie van Mg is echter in de fotosynthese waar het als centraal atoom van het chlorofylmolecuul een rol vervult om zonlicht te benutten voor de productie van biomassa. Eventuele tekorten aan magnesium uiteten zich het eerst in de oudere bladeren als ze geel worden tussen de nerven en rond de randen.

Magnesium is van invloed op de opbrengst en kwaliteitsaspecten (Gerendás & Führs, 2013). Bij aardappel is er een tegenstrijdige respons van opbrengst en kwaliteitskenmerken op het verhogen van het Mg-aanbod (Figuur 4). Terwijl het maximale rendement wordt bereikt bij een matig Mg-aanbod, reageren de meeste kwaliteitseigenschappen positief op hogere Mg-niveaus. Echter, in de onderliggende studies die hier zijn gebruikt worden de concentraties van giftige glycoalkaloïden ook verhoogd door het verhogen van het Mg-aanbod. In andere studies is dat minder duidelijk gevonden volgens de review van Gerendás & Führs (2013) over het belang van magnesium voor de gewas-kwaliteit (In deze studie worden ook voor andere gewassen diverse kwaliteitsaspecten besproken).



Figuur 4. Opgbrengst- en kwaliteitsparameters die worden beïnvloed door de levering van Mg aan aardappel (schematisch). Voor elke parameter die in de grafiek is weergegeven, zijn de waarden berekend ten opzichte van hun maximale expressie (= 100 %) aan Mg-levering. Bron: Gerendás & Führs (2011) en gebaseerd op: Evans en Mondy 1984; Klein et al. 1981 & 1982).

Het magnesiumbemestingsadvies voor de akkerbouw in Nederland is zo'n 40 jaar geleden opgesteld (Bakker, 1981) en daarna is meermalen door de commissie bemesting (CBAV) beoordeeld of het nog voldoet en is het zo nodig aangepast. De laatste beoordeling dateert van 2006 op basis van proeven van Bos et al. (2003) en Paauw (2004). Deze gaven geen aanleiding tot en herziening van het advies. In 2017 is het magnesiumadvies aangepast aan de nieuwe extractiemethode Mg-CaCl₂ in combinatie met CEC.

De opname van magnesium varieert veelal van 20 tot 50 kg/ha. Vooral bieten nemen aanmerkelijk meer magnesium op, soms meer dan 80 kg/ha.

5.1.4 Calcium

Calcium is als tweewaardig kation (Ca²⁺) betrokken bij de vorming en stabiliteit van de celwanden en membranen, als tegenkation voor anorganische en organische anionen in de vacuole, en als intracellulaire boodschapper in het cytosol (de vloeistof waarin alle celorganellen drijven, en waarin de meeste metabole processen plaatsvinden) (Marschner, 1995). Een goede calciumvoorziening, in combinatie met andere essentiële voedingselementen, zal leiden tot een uniformere ontwikkeling van scheuten, bladeren en bloemen en een betere vruchtkwaliteit. Calcium helpt niet alleen bij het versterken van de celwand, het is ook betrokken bij de activering van verschillende enzymen die helpen bij de deling en voortplanting van deze cellen (en dus ook bij de wortelgroei). Een goede calciumvoorziening maakt planten minder gevoelig voor ziekten.

De calcium opname is passief en direct afhankelijk van de transpiratiesnelheid. Een lage transpiratiesnelheid, bijvoorbeeld door droogte, betekent dat de wortels weinig water en dus ook weinig calcium opnemen. Een tekort aan calcium is dan ook heel vaak het gevolg van een tekort aan vocht, een lage temperatuur of een beperkte transpiratie en niet van een te lage bodemvoorraad. Eenmaal in de plant is Ca vooral aanwezig in celwanden en dus is niet gemakkelijk te her mobiliseren van het ene plantdeel naar het andere. Eventuele tekorten aan calcium uiten zich daarom het eerst in de jongste bladeren in de vorm van een bruinverkleuring. Soms kan een bladbemesting uitkomst bieden om tekorten op te heffen zoals bij fruitbomen en sla. Een specifiek bodemadvies voor calcium is er niet omdat bij het op peil houden van de bodem pH door bekalking of bij van nature kalkrijke gronden de calciumvoorziening vrijwel altijd gewaarborgd is.

De opname van calcium varieert van 30 tot 70 kg/ha. Aardappels (de gehele plant) maar vooral suikerbieten nemen veel calcium op (tot 100 kg/ha).

5.1.5 Chloride

Chloride (Cl⁻) is nodig in kleine hoeveelheden. Het is van belang voor verschillende fysiologische stofwisselingsprocessen. Het element speelt een rol bij osmotische en stomatale processen. Het werkt samen met kalium om het openen van de huidmondjes mogelijk te maken. Het verhoogt de ziekte weerstand en -tolerantie. Bij lage Cl-gehalten in de bodem wordt het via actief transport opgenomen bij hoge gehalten is het transport passief. Bij voldoende aanbod verbetert Cl⁻ de opbrengst en kwaliteit van veel gewassen zoals uien en katoen als de bodem een tekort heeft aan deze voedingsstof. Een grote overmaat aan chloride kan de opname van nitraat belemmeren.

Onder Nederlandse omstandigheden komt een chloride tekort nooit voor. Chloride is vrijwel altijd in overmaat aanwezig in dierlijke mest en in vele minerale meststoffen.

5.2 Aardappelkwaliteit en bemesting algemeen

5.2.1 Aardappelkwaliteit algemeen

Diverse kwaliteitseigenschappen zijn relevant voor de aardappelknol (teelthandleiding consumptieaardappelen). Het betreft zowel uitwendige (knolvorm, oogdiepte, schilkleur, kieming, beschadigingen, schurft) als inwendige eigenschappen (droge stofgehalte, glazigheid, stootblauw, bakkleur, grauwwkleur. Afhankelijk van het teeltdoel, pootgoed, consumptie- of zetmeelaardappelen zijn deze eigenschappen meer of minder belangrijk. Vooral het zetmeelgehalte is een heel belangrijk kwaliteitskenmerk. Voor elk teeltdoel en verwerkingsroute (consumptie, frites, chips, zetmeel) zijn er bepaalde optimale trajecten qua zetmeelgehalten, waarbij men bij zetmeelaardappelen naar een zo hoog mogelijk gehalte streeft. Het zetmeelgehalte wordt in de praktijk geschat op basis van het onderwatergewicht (0,0492X gewicht van 5 kg aardappelen + 2). Verder is de ziektegevoeligheid van groot belang zeker bij pootgoed (waardoor er afkeuring van partijen plaatsvindt).

Er is de afgelopen decennia veel onderzoek verricht naar het effect van bemesting op met name de inwendige eigenschappen van aardappelen zoals het zetmeelgehalte en het nitraatgehalte, de blauwgevoeligheid, de grauwwverkleuring en de bakkleur (fritesindustrie). Uit het werk van (Veerman, 2001) en anderen blijkt dat bemesting maar een beperkte invloed heeft op deze eigenschappen. Zo vond Veerman (2001) op basis van een reeks van proeven dat de N- en K-bemesting slechts **10%** van de verschillen in kwaliteitseigenschappen bepalen. Rasverschillen verklaarden een veel groter deel van de verschillen in aardappelkwaliteit: **10- 40%**. Maar het grootste deel van de variantie werd verklaard door locatie- en jaarinvloeden en interacties met andere experimentele factoren. Het onderzoek van Veerman (2001) gaf ook aan dat verschillen in drogestofgehalte, nitraatgehalte en blauwgevoeligheid niet zozeer tussen veldjes maar binnen veldjes werd aangetroffen.

5.2.2 Effect N, K, Cl, Mg en Ca

Het onderwatergewicht wordt beïnvloed door veel factoren, waarbij iedere factor zijn eigen invloed heeft. Sommige factoren kunnen elkaars effect ook versterken of verzwakken. Ras, neerslag, temperatuur, lichtintensiteit, bodem, bemesting: alle groeifactoren spelen een rol. De beïnvloeding van het onderwatergewicht is complex. Het onderwatergewicht is vooral een raseigenschap. Geteeld onder dezelfde omstandigheden kunnen verschillende rassen zeer verschillende onderwatergewichten geven. Op basis van 10-jarige proeven blijkt dat op de Averis rassenlijst het ras met het hoogste gehalte 22,7% zetmeel bevat en het ras met het laagste 18,6%. Ook de groeiomstandigheden beïnvloeden het onderwatergewicht. Veelal geldt dat factoren die de loofgroei stimuleren, zoals veel vocht en stikstof, het onderwatergewicht van de knollen verlagen.

Stikstof

De stikstofbemestingsadviezen voor aardappelen verschillen per teeltdoel en per ras. De rasverschillen hangen voor een belangrijk deel samen met de vroegrijpheid van het ras. Vroegrijpende rassen krijgen relatief veel stikstof om het loof langer groen te houden (zoals dat het doel was bij het ras Bintje). De N-bemestingsadviezen voor zetmeelaardappel zijn lager dan voor consumptieaardappel, omdat een hoog N-aanbod het zetmeelgehalte verlaagt. Verder zijn de zetmeelaardappelrassen over het algemeen later rijpende rassen dan de consumptieaardappelrassen. Voor pootaardappelen geldt een nog lager N-bemestingsadvies omdat pootaardappelen vroeg worden geoogst en tijdig moeten afrijpen. Een hoog N-aanbod stimuleert de loofontwikkeling maar vertraagt de knolgroei, wat voor een vroege oogst ongunstig uitpakt.

In het onderzoek van Veerman (2001) verhoogde een verlaging van de adviesgift met 50 kg N/ha voor het ras Bintje het droge-stofgehalte in geringe mate. Een verlaging met 100 kg N/ha verhoogde het onderwatergewicht met gemiddeld 10 gram. Er was daarbij geen verschil tussen rassen.

Kalium en Chloride

Voldoende kali is van belang voor het realiseren van een goede opbrengst. Daarnaast heeft kali alsook chloride effect op kwaliteitsaspecten als het onderwatergewicht (Pauw, 1945; Sluijsmans, 1957). Zo verlaagde in proeven van Veerman (2001) met consumptieaardappelen kalibemesting in het voorjaar met 300 kg K₂O/ha in de vorm van patentkali (30% K₂O, 10% MgO en 42% SO₃) het onderwatergewicht met 8-12 gram. Wanneer dezelfde hoeveelheid kali als KCl (overeenkomend 225 kg chloride/ha) werd gegeven was de verlaging bijna 10 gram groter. Dit stemt overeen met eerdere resultaten van van Loon & van Houwing (1989) die een verlaging vonden van 11 gram bij 200 kg chloride/ha en een extra verlaging met nog een 7 gram wanneer de chloridegift werd verhoogd naar 400 kg/ha. Bij een verdere verhoging. Vergelijkbare resultaten zijn gevonden in proeven in Vlaanderen (Demeulemeester & Bries, 2007). Ten opzichte van geen bemesting verlaagden patentkali en KCl het onderwatergewicht met respectievelijk 14 en 20 gram. Een aanvullende bemesting in juni met 120 kg K₂O/ha had een minimale impact bij het gebruik van patentkali. Het gebruik van KCl leidde daarentegen tot een duidelijke daling van het droge-stofgehalte.

Opgemerkt dient te worden dat volgens Sluijsmans het effect van kali mede bepaald wordt door de kalitoestand (Tabel 2). Is deze laag dan verhoogt kali het onderwatergewicht bij een krappe kalibemesting (100 kg K₂O/ha). Is de kalitoestand hoog dan verlaagt kalibemesting het onderwatergewicht. Een bemesting van 250 kg K₂O /ha gaf in alle gevallen het laagste onderwatergewicht (zie ook verderop). Daarentegen toonden Koch et al. (2019a) aan dat K-deficiënte aardappelplanten weliswaar significant lagere knolopbrengsten en zetmeelopbrengst geven maar dat de zetmeelconcentraties (% in DW) niet significant lager waren bij een K-tekort.

Ook in ouder onderzoek concludeerde Prummel (1966) aan de hand van talrijke proefveldresultaten waarin voorjaarstoepassing van kali-60 werd vergeleken met chloridearme kalimeststoffen, dat een hoeveelheid van 50 kg chloride per ha al een onacceptabele daling van het uitbetalingsgewicht bij zetmeelaardappelen gaf. Er was daarbij geen onderling verschil tussen de werking van de chloridearme

Tabel 2. De invloed van kalibemesting op het onderwatergewicht (Sluijsmans, 1956).

Grondsoort	Toestand	0 kg K ₂ O/ha	100 kg K ₂ O/ha	250 kg K ₂ O/ha
Zandgrond	„laag" K-getal	417	430	399
	„hoog" K-getal	422	406	393
Dalgrond	„laag" K-getal	408	425	402
	„hoog" K-getal	414	402	381

kalimeststoffen patentkali, zwavelzure kali en kali SF. Dat chloride veelal effectiever is in het verlagen van het OWG blijkt ook uit een Duitse proef (Figuur 3, Koch 2018; 60-80 kg Cl/ha geeft 0,5% daling zetmeelgehalte). De verse opbrengst wordt niet beïnvloed. Het zetmeelgehalte op basis van chloride is zo sterk gedaald ten opzichte van sulfaat dat de totale zetmeelopbrengst afneemt.

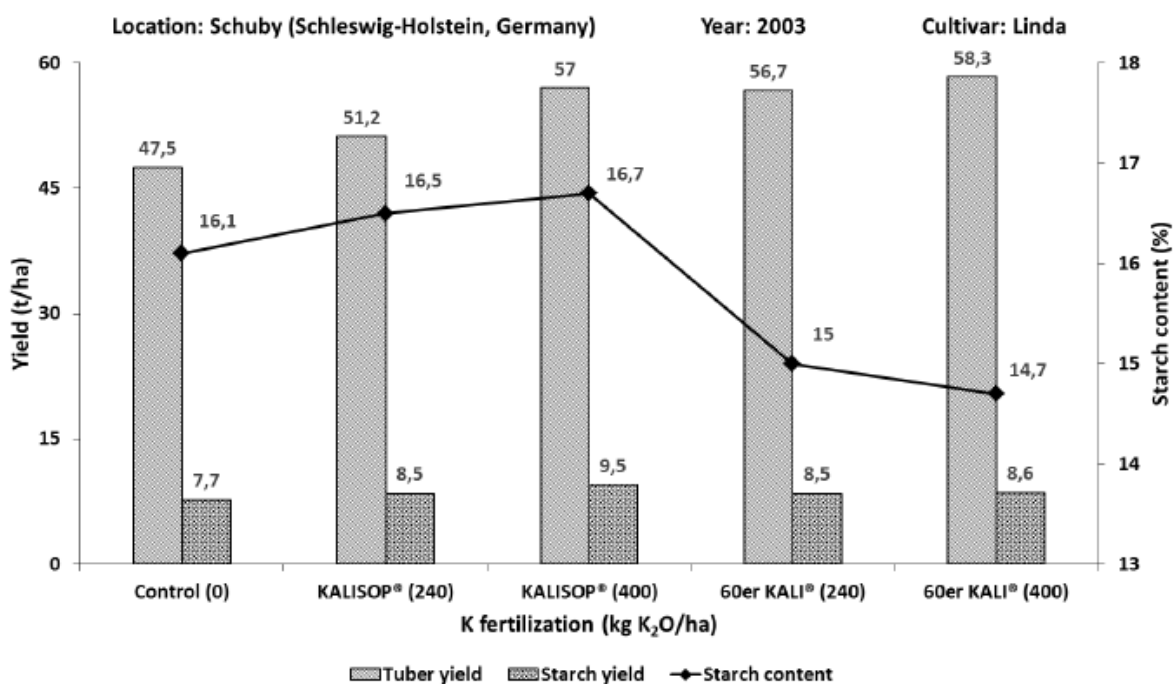
Recentelijk toonde Manolov (2015) eveneens aan dat met de toepassing van KCl de versopbrengst gelijk blijft t.o.v. kaliumsulfaat maar dat het zetmeelgehalte en daarmee de zetmeelopbrengst sterk daalt. Daarentegen werd in oudere proef in Amerika (Westermann et al., 1994) geen verschil gevonden tussen KCl en kaliumsulfaat.

De aanbevelingen voor K-bemesting zijn doorgaans vrij hoog, wat overeenkomt met hoge hoeveelheden K-verwijdering en K-concentraties van knollen (Panique et al. 1997). Er zijn echter verschillende studies die geen positief effect van K-bemesting op de knolopbrengst konden vinden

(Roberts en Beaton 1988; Kang et al. 2014; Koch et al. 2019b). Dit zou kunnen worden toegeschreven aan een reeds voldoende K-status van deze bodems.

Aardappelen kunnen meer K opnemen dan daadwerkelijk nodig is voor een goede groei (Kang et al. 2014). Echter, vooral op zandgronden is er risico van K-uitspoeling (Wulff et al. 1998). Daarom wordt los van kwaliteitsoverwegingen elders bemesting boven advies niet aangeraden (wat in de NL-praktijk door adviseurs wel gebeurt). Panique et al. (1997) suggereren dat K-gehalten van respectievelijk 104 mg K kg⁻¹ (ruwweg K-getal=8) en lager 100 - 125 mg K kg⁻¹ kritisch zijn voor zandgronden en bodems met een gemiddelde structuur, zoals kiezelhoudende lemen.

De bemestingsadviezen in Nederland voor bouwland gaan voor alle grondsoorten uit van een streeftoestand voor kali plus een daarbij behorende bemesting. De streeftoestand en adviesgiften verschillen per grondsoort. Is de toestand lager dan de streeftoestand (die verschilt per grondsoort) dan kan zelfs met een ruime kalibemesting niet de maximale opbrengst worden gehaald.



Figuur 5. Effect van het verhogen van de K-bemesting via sulfaat of als chloride op de (zetmeel) rendement, en het zetmeelgehalte van aardappel; de Mg-bemesting bedroeg in alle varianten: 320 kg ha⁻¹ ESTA® Kieserit gran. Gegevens van de landbouwkamer van Nedersaksen 2003 (bron, Koch 2018).

Veerman vond dat extra voorjaarsbemesting met kali (vooral via KCl) de blauwgevoeligheid van aardappel en de niet enzymatisch grauwverkleuring verlaagden en de bakkleur verbeterde. Veerman (2001) komt op basis van eigen en historische data tot de conclusie dat men in Nederland te terughoudend is met kaliumbemesting aan consumptieaardappel in het voorjaar op kleigrond. Een vergelijkbaar resultaat werd gevonden in proeven in Vlaanderen (Demeulemeester & Bries, 2007). Het droge-stofgehalte en de blauwgevoeligheid van aardappelen namen significant af wanneer kaliumchloride werd gebruikt. Het beste resultaat werd verkregen door te bemesten met KCl voor het poten en tijdens het groeiseizoen. Het effect van KCl op de frietkleur was positief maar zeer beperkt, waarbij KCl net iets beter was dan kaliumsulfaat. De resultaten zijn gebaseerd op 6 veldproeven op leem en zandige leem. Veerman (2001) trof geen consistente interactie verschillen aan tussen stikstof en patentkali of kalichloride, net zomin als consistente rasverschillen in reactie op deze elementen.

Veerman stelt dat de inzet van veel KCl niet tot zoutschade leidt. Eventuele nadelige effecten van grote hoeveelheden Cl op de opbrengst zijn eerder toe te schrijven aan verdringing van nitraat (suboptimale N-voorziening). Veerman concludeert dat voor consumptieaardappelen de beste strategie is een matige stikstofbemesting en een ruime (chloride)kalivoorziening voor de beste combinatie van kwaliteitseigenschappen. Echter van de door hem onderzochte stuurbare factoren ras, stikstof-, kalium- en chloridebemesting heeft ras verreweg het grootste effect op de kwaliteitseigenschappen. Voor zetmeelaardappelen is vooral het onderwater van belang en dient de kaligift gematigd te zijn.

In de afgelopen decennia zijn de K-adviezen in de zetmeelteelt (in combinatie met verschillende rassen en N-behoefte) regelmatig tegen het licht gehouden en getoetst of ze nog actueel zijn. In de zetmeelteelt is het zetmeelgehalte van de knol een direct onderdeel van de uitbetaling. Omdat te veel kalium het zetmeelgehalte kan verlagen, is men in deze teelt terughoudend met de hoogte van de K_2O -gift. Bij K-getallen van omstreeks de 8 werd door Wijnholds in 1995-1997 een vergelijk aangelegd in de rassen Seresta, Florijn, Elles met 125, 200 en 275 kg N/ha waarbij een K-trap is aangelegd met het K-advies en het K-advies vermeerderd en verminderd met 75 kg K_2O /ha. Uit dat onderzoek werd geconcludeerd dat er een duidelijke ras x N-gift interactie werd vastgesteld maar dat de maximale zetmeelopbrengsten in de proeven werden behaald bij het destijds geldende K_2O -adviesgift.

In 2002 is door Wijnholds een vergelijk aangelegd met 150, 225 en 300 kg K_2O /ha in vijf verschillende zetmeelrassen. Ook is er in dat onderzoek het vergelijk gezocht tussen K50 en K60 bij een K-trap van 150, 225 en 300 kg K_2O /ha. Het onderzoek was uitgevoerd op twee locaties; Valthermond en in Marwijksoord. Er werd uit het onderzoek geconcludeerd dat K60 resulteerde in een significante verlaging van het OWG maar er was geen effect op de knolopbrengst. Per saldo leidde de toepassing dus tot een verlaging van het uitbetalingsgewicht door een effect op het OWG. Op basis van dit onderzoek heeft chloride houdende kalium dus een effect heeft op de groei en ontwikkeling van het gewas in vergelijking met sulfaat, wat in overeenstemming is met eerder onderzoek. Er werden duidelijke rasverschillen vastgesteld (in lijn met de bevindingen van Veerman, 2001) waarbij rassen met de potentie voor een hoge knolopbrengst sterker lijken te profiteren dan rassen met een hoog zetmeelgehalte die een relatief lagere knolopbrengst maar met een hoog OWG.

Calcium

Over het algemeen is de hoeveelheid calcium in de bodem is niet beperkend voor de aardappelopbrengst maar onderzoek van Kratzke & Palta (1986) heeft laten zien dat ook bij een ruime voorziening van Ca in de bodem het toedienen van goed oplosbaar calcium nabij de knol en de stolonen nog een sterke verhoging van calcium in de knol kan geven. Zwart en Velvis (2011) geven in hun review aan dat Incidenteel opbrengstverhogingen van 10% worden gemeld (Zwart en Velvis, 2011) bij calcium toediening. Ook zijn er aanwijzingen dat een goede calciumvoorziening de aardappelknol minder vatbaar maakt voor Fusarium en Erwinia. Bij pootgoed kan zich dat uiten in een betere overall opbrengst van pootgoed door minder afkeuring als gevolg van rot en een betere kwaliteit pootgoed, met minder kans op Fusarium aantasting. Een gebrekkige calciumopname door de aardappel geeft ook meer risico op brownspot (inwendige bruine vlekjes in de knollen) (Tawfik & Palta, 1992). Verder maakt een goede calciumvoorziening de aardappel minder gevoelig voor rot gedurende de opslag (Palta, 2010). Onderzoeken van Ozgen et al. (2003) en Palta & Kleinheinz (2014) geven aan dat extra calcium toegediend aan de bodem leidt tot minder, maar grotere knollen. De opbrengst wordt niet beïnvloed. Dat laatste vonden Bosch & Velema (2006) ook. Aardappelknollen hebben zeer lage Ca-concentraties. De meeste Ca wordt verdeeld in de bovengrondse delen van de plant (Ozgen et al. 2003; Kärenlampi en Wit 2009). Veelal is er niet meer dan 3 (Bosch & Velema, 2006) -- 5 kg Ca/ha aanwezig in de aardappelknollen. Om effect te hebben van bemesting dient goed oplosbaar calcium dus nabij de wortel te worden geplaatst, dan nog zijn effecten van bemesting beperkt.

Magnesium

Gebrek aan magnesium komt voor op zand-, dal- en veengronden met een lage pH. Het komt ook voor op lichte, kalkrijke kleigronden, vooral als de structuur van de grond slecht is. Magnesium speelt een rol in de fotosynthese. Het opheffen van tekorten zorgt voor een hogere knolopbrengst en een verbeterde ziektebestendigheid, huidkwaliteit en stevigheid (Gerendás & Fühns, 2013) waardoor het beter bestand is tegen mechanische stress. Ook zijn er zwakke aanwijzingen voor een hoger zetmeelgehalte met voldoende magnesium zo blijkt uit de review van Gerendás & Fühns (2013). Uit de meta-analyse van Wang et al. (2020) blijkt dat het suikergehalte toeneemt bij het opheffen van tekorten. Daarnaast geven een paar onderzoeken aan dat meer magnesium leidt tot een hoger aandeel glycoalkaloiden (zie ook Figuur 4). Meer onderzoek hiernaar is nodig volgens Gerendás & Fühns (2013) omdat een 3-jarige veldproef van Rogozinska and Wojdyla (1999) dit niet aantoont. Daarnaast heeft op basis van een studie van Poberezny en Wszelaczynska (2011) magnesiumbemesting een effect op de bewaarbaarheid vergelijkbaar met kalium, en wel dat er minder vers gewichtsverlies tijdens opslag.

5.3 Nutrient (N, K, Ca, Mg, K) interacties bij aardappel

5.3.1 N-K interactie

Een adequate voorziening met stikstof en kali is van belang voor een hoge gewasopbrengst. Bij een te krappe N-voorziening is de opbrengst niet optimaal en leidt een K-gift volgens advies tot luxe consumptie/ hogere gehalten in het gewas wat nadelig uitwerkt op het onderwatergewicht. Andersom leidt een te krappe K-voorziening tot een onvolledige benutting van de stikstof. Er blijft bijvoorbeeld meer stikstof achter in het bodemprofiel. Extra stikstof leidt dan niet of nauwelijks tot meer gewasopbrengst. Dat de opbrengstreactie van een gewas op een bepaalde voedingsstof afhankelijk is van een voldoende toevoer van een andere voedingsstof staat bekend als een interactie. In dit geval is er sprake van Liebig-synergisme. Er is veelal een zwakke maar geen consistente interactie tussen stikstof en kali. In sommige publicaties is die positief in andere negatief. Locatie en rasfactoren kunnen hier doorheen spelen (Veerman, 2001). Een integrale analyse van Veerman (2001) over 21 Nederlandse proeven laat zien dat N-K interactie een hele zwakke positieve invloed heeft op de bruto en netto-opbrengst (hoog N en hoog K geeft de hoogste opbrengst). Er was geen N-K interactie-effect met betrekking tot blauwverkleuring, bakkleur en grauwwerking. Het laatste is wat in tegenspraak met oudere resultaten van Schippers (1961 en 1969). Hij vond dat het positieve effect op de grauwwerking van kali het grootst was bij een hoge stikstofgift. Het negatieve effect van stikstof op de grauwwerking was het grootst bij een lage kaligift.

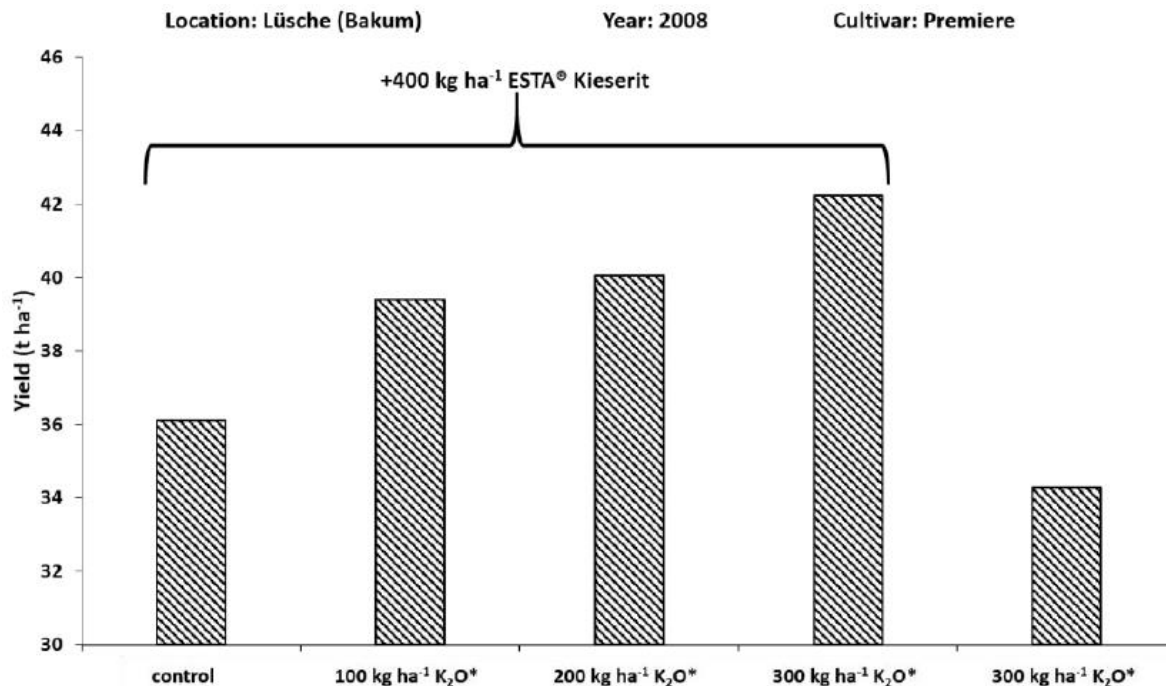
Met betrekking tot onderwatergewicht is er een zwakke interactie tussen N en K (Veerman 2001). In het algemeen leidt meer N tot een lager onderwatergewicht. Dat effect wordt nog versterkt door meer kali (en vice versa), waarbij kalichloride een iets sterkere verlaging geeft dan sulfaathoudende kali en wel van ongeveer 10 gram bij een gift van 300 kg K₂O/ha. Hoewel er interactie-effecten zijn van N en K vallen deze in het niet bij het effect van ras, locatie en of weerjaar (Veerman 2011).

5.3.2 K-Mg, Ca-Mg en K-Ca interactie

K-Mg interactie

Een hoge kalibemesting onderdrukt de opname van magnesium door het gewas (Mulder 1956, Marschner, 2012, Sembrayan et al., 2015). Kalium en magnesium zijn beide essentieel voor de groei van het gewas, maar een hoog aanbod van de één in de bodem kan de opname van het andere afremmen. Dat kan tot een (geïnduceerd) te kort leiden onder vooral droge omstandigheden (zonder

berekening) en of lage bodemtoestanden. In de praktijk zijn onevenwichtigheden zeldzaam en een geïnduceerd magnesiumtekort als gevolg van een hoog kaliumgehalte door een hoge kalibemesting is waarschijnlijker dan een geïnduceerd kaliumtekort als gevolg van een hoog magnesiumgehalte.



Figuur 6 Het effect van een gecombineerde K- en Mg-bemesting op de opbrengst van aardappel in Noordwest-Duitsland op slibachtig zand met 13,6 mg K₂O 100 g⁻¹ (CAL-extractie) en 3,2 mg Mg/100 g⁻¹ (CaCl₂-extractie) in de bodem. Magnesium werd toegediend als; ESTA® Kieserit en kalium als kaliumsulfaat (KALISOP®). De bodemwaarden worden herleid naar Handboek bodem en bemesting als laag gekwalificeerd.

Indien de bodemtoestanden laag zijn voor zowel kali als magnesium, dan zijn er duidelijke effecten van bemesting zoals een proef in Noord-Duitsland (Koch 2018) laat zien (Figuur 6). Kalibemesting geeft hier alleen een meeropbrengst als er magnesiumbemesting plaatsvindt. Zonder magnesiumbemesting blijft de opbrengst bij 300 kg K₂O/ha zelfs achter ten opzichte van geen kali maar wel magnesiumbemesting.

Soms komt ook een geïnduceerd kaliumtekort voor als gevolg van hoge magnesiumtoestanden. Onderzoek naar aardappelgroei problemen door ADAS (Dampney & Sinclair, 2011) geeft aan dat er sterke aanwijzingen zijn dat een kalitekort kan optreden wanneer de verhouding van K:Mg (in mg/l) in de bodem lager is dan 0,5. Zulke hoge Mg-gehalten (en scheve ratio's) in de bodem worden in de UK veroorzaakt door het regelmatige gebruik van magnesiakalk als bron van landbouwkalk. Aangezien aardappelen in de UK vaak worden geteeld op zanderige en middelmatig gestructureerde bodems die dan op basis van één in de 5 jaar bekalken gemiddeld ca.100 kg/ha Mg per jaar krijgen vindt er een structurele ophoging plaats omdat de typische gewasafvoer minder dan 20 kg/ha bedraagt (In de UK veronderstelt men een geringe uitspoelingsgevoeligheid van Mg). Zo ontstaat het risico van een geïnduceerd kaliumtekort. Met het in Nederland gevoerde bemestingsmanagement zijn deze situaties uitgesloten.

Nutriëntinteracties tussen K- en Mg-ionen zijn vaak onderzocht maar geven soms met tegenstrijdige resultaten (zowel antagonistisch, neutraal als synergistisch). Koch (2018) heeft hier recentelijk nader onderzoek naar verricht. Bij antagonisme tussen K en Mg wordt gewoonlijk gedoeld op een concurrerend opnamemechanisme van K en Mg vanuit de bodemoplossing (meer kali onderdrukt de opname van magnesium en vice versa). In tegenstelling tot K zijn Mg-transporteurs niet zeer specifiek en kunnen ze ook andere kationen opnemen dan Mg. Koch (2018) toonde een significante lagere Mg-

concentratie aan in het aardappelblad bij toenemende K-aanbod (ofwel een antagonistisch effect). De knollen en wortels vertoonden daarentegen significante hogere Mg-concentraties bij een hoger K-aanbod (ofwel een synergistisch effect). Addiscott (1974) heeft eenzelfde effect waargenomen. Dit op het oog wat merkwaardig resultaat verklaart Koch (2018) als volgt. Meestal zijn de K-concentraties in de scheut hoger dan in de wortels. Omdat de plant streeft naar het behoud van een evenwicht tussen kationen en anionen, is het waarschijnlijk dat hogere K-concentraties in het blad leiden tot lagere Mg-concentraties. Waarom Koch (2018) dan aangeeft dat bij de sowieso lagere K-concentraties in wortels en knollen dit leidt tot hogere Mg-concentraties in wortels en knollen is niet duidelijk. Ze geeft aan dat er mogelijk een antagonistisch interactiemechanisme aanwezig is in de translocatie van wortel naar de scheuten zoals is gesuggereerd door Ohno en Grunes (1985). Die vonden namelijk dat bij tarwe geen daling van de Mg-concentratie in de wortel optreedt bij stijgende K-voorzieningen, in tegenstelling tot het Mg-gehalte in de plant, dat daalde. Dit antagonistische interactiemechanisme kan hebben geleid tot een uitputting van Mg in bladeren, terwijl het wortels en knollen verrijkt met Mg in vergelijking met de bladeren. Ze komt tot de conclusie dat niet kan worden gevalideerd of er een algemeen antagonistisch/synergistisch effect is tussen K en Mg in aardappel. Ze stelt dat het antagonistische effect ook een synergistisch effect veroorzaakt elders in de plant. Ze heeft verder ook geen aanwijzingen gevonden dat het beter zou zijn om ook kalium en magnesium gescheiden toe te dienen.

In de proeven van Koch (2018) hadden sterk wisselende hoeveelheden K en Mg geen effect op de gehalten aan suiker en zetmeel. Wel daalde de totale hoeveelheid suiker en zetmeel per plant bij K- en Mg-tekorten. Op basis van haar onderzoek concludeert zij dat de optimale K: Mg verhouding 3 is, 300 mg K/kg grond en 100 mg Mg/kg grond. Dit is respectievelijk ongeveer 1,5 en 2 keer zo hoog als de Nederlandse streeftoestanden voor K en Mg. Eerder in deze studie is al opgemerkt dat er geen optimale ratio's zijn. Ook Allison et al (2001) concludeert dat er geen optimale K:Mg ratio is en dat de K:Mg ratio geen effect heeft op de opbrengst of de Mg-concentraties in de knol. Bemesting op basis van ratio's bevelen zij niet aan.

In 2003 werd door Bos et al. 2004, onderzoek gedaan naar het effect van magnesiumbemesting op drie locaties: Kooijenburg, Kompas en Kollumerwaard). De drie locaties zijn behoorlijk verschillend qua Mg-toestand. Locatie Kollumerwaard is gelegen op een jonge zeelei met Mg-toestand voldoende. De locatie Kooijenburg heeft een MgO-toestand laag (en een lage kalitoestand) terwijl proeflocatie 't Kompas een toestand hoog had. De proef op meerdere locaties was destijds aangelegd omdat er vanuit de praktijk geluiden waren dat er in de aardappelteelt opbrengst bleef liggen vanwege Mg-gebrek. Uit het onderzoek bleek echter dat op geen van de drie locaties in het droge jaar 2003 een effect van Mg-bemesting werd vastgesteld, zelfs niet bij toestand laag te Kooijenburg. Echter de kalitoestand was ook laag, dan zijn opbrengstreacties op magnesium ook minder waarschijnlijk. Enkel op locatie Kollumerwaard werd visueel gebrek vastgesteld. (Of hier sprake was van een interactie tussen nutriënten (Het onderzoek is niet voortgezet).

Op basis van de literatuur zijn er geen duidelijke aanwijzingen dat bij een verhoogde hoge K-bemesting (en bodemtoestand) extra magnesiumbemesting nodig is voor een maximale opbrengst en het realiseren goede aardappelkwaliteit zo lang de Mg-bodemtoestand goed is. Alleen bij lage bodemtoestanden kan een tekort aan Mg verergerd worden door kalibemesting. Het advies blijft dan ook de Mg-toestand op peil te houden en te bemesten volgens het advies in het Handboek Bodem en Bemesting.

Ca-Mg interactie

Zowel calcium als magnesium worden passief opgenomen. Het aanbod in de bodemoplossing (en vochtigheid van de grond) bepaalt de opname. Een hoog aanbod aan Ca onderdrukt in principe de opname van Mg en vice versa. In de praktijk leidt dat kennelijk zelden tot problemen omdat er in de

literatuur vrijwel geen aandacht is voor deze interactie. Studies met betrekking tot het gewas aardappel ontbraken.

Hoewel in Nederland regelmatig bekalking plaatsvindt en sommige gronden rijk zijn aan kalk is er niet direct risico van een over aanbod aan calcium in de bodemoplossing en daarmee tot een sterke Mg-Ca-interactie. De reden daarvoor is dat de oplosbaarheid van calcium beperkt is. De oplosbaarheid van kalk (CaCO_3) is veel lager dan die van gips (CaSO_4) en die is op zijn beurt weer veel lager dan van bijvoorbeeld bitterzout (MgSO_4). Tegelijkertijd bestaat bij landbouwkundige gebruikte gronden het grootste deel van de kationenbezetting van het adsorptiecomplex uit geadsorbeerd calcium, vaak is het aandeel groter dan 80%. Het resterende deel bestaat overwegend uit K en Mg. Veelal is de aanwezige hoeveelheid Mg ruim voldoende (zeker bij het opvolgen bemestingsadvies) om een adequate voorziening met Mg te waarborgen. Schommelingen in het gehalte aan Ca en Mg in de plant als gevolg van een wisselend aanbod komen dan niet sterk tot uiting (voor zover het gewas(kwaliteits) eigenschappen betreft).

Ca-K interactie

Hoewel bekend is dat er een calcium-kalium interactie op kan treden zijn er weinig data beschikbaar. Addiscott (1974) geeft aan dat een stijgende K-bemesting leidt tot een daling van het Ca-gehalte in de knol. Als een ruime Ca-voorziening inderdaad van invloed is op het percentage grote knollen (Ozgen et al., 2003) dan kan dat een overweging zijn om met extra gemakkelijk opneembaar calcium te bemesten bij ruime kalibemestingen. Aangezien hier weinig informatie over is, zou aanvullend onderzoek moeten uitwijzen of de eventuele voordelen van een betere sortering opwegen tegen de kosten en/of dat een kalibemesting conform advies tot eenzelfde resultaat leidt.

N-Mg interactie.

Magnesium heeft een belangrijke fysiologische rol in de plant. Grzebisz (2013) meldt dan ook dat in vergelijking met andere geteste gewassen, knol- en wortelgewassen vooral suikerbieten de beste reactie op Mg-bemesting geven. In situaties van een beperkte stikstofvoorziening zorgt een ruime magnesiumvoorziening ervoor dat er meer stikstof wordt opgenomen. Dit wordt toegeschreven aan (Grzebisz, 2013, Senbayram et al., 2015, citeert diverse andere auteurs) diverse processen: i) het belang van Mg bij de assimilatie en translocatie van bron naar de opslagorganen, wat de wortelgroei verhoogt en de competitie tussen gewas en microbe voor opname stimuleert en/of (ii) een verbeterde nutriëntefficiëntie door een beter transport van aminozuren en verhoogde fotosynthesesnelheid. Het streven naar hoge magnesiumtoestand is generiek niet aan te bevelen. Magnesium dat niet gebonden is aan het CEC kan vergelijkbaar als bij andere kationen gemakkelijk uitspoelen wat vooral het geval is op lichtere op zandgronden.

5.4 Suikerbietkwaliteit en bemesting algemeen

5.4.1 Suikerbietkwaliteit algemeen

Er is een breed palet aan kwaliteitseigenschappen relevant voor de suikerbiet met betrekking tot het winnen van zoveel mogelijk suiker uit de biet. Deze zijn onder te verdelen in uitwendige en inwendige eigenschappen. De laatste hebben betrekking op de structuur en de samenstelling. Bij de samenstelling is het suikergehalte het belangrijkste. Daarnaast zijn stoffen die de winning van de suiker, de winbaarheidsindex (WIN) uit de biet beïnvloeden belangrijk. Het suikergehalte en WIN bepalen samen de interne kwaliteit. Factoren die bij de beoordeling van de externe kwaliteit een rol spelen, zijn de hoeveelheid meegeleverde grond, stenen, blad, onkruid en dergelijke. Dit wordt uitgedrukt als het tarrapercentage bij levering. De oogstomstandigheden en bietverschijning (vorm grootte etc.) bepalen dit. Bemesting heeft hier geen invloed op in tegenstelling tot de inwendige

eigenschappen. Naast de totale suikeropbrengst bepalen de kwaliteitsparameters suikergehalte, WIN en tarrapercentage de uitbetaling naar de teler. Daarbij is een hoog suikergehalte (en hoge WIN) sterk sturend voor het financieel rendement. Dit betekent wat betreft kalium-, natrium- en aminostikstofgehalte hoe lager hoe beter.

Het IRS schrijft op haar website dat 1% meer suiker gelijk staat aan 8 ton wortelopbrengst. Het navolgen van het bemestingsadvies is dus belangrijk. Het IRS heeft op basis van proefvelden berekend dat een extra hoeveelheid van 50 kg N per hectare gemiddeld leidt tot een:

- daling van het suikergehalte met 0,29%;
- lichte stijging van het kaliumgehalte met 0,5 mmol per kg biet op kleigrond en een lichte daling op zand- en dalgronden;
- stijging van het natriumgehalte met 0,6 mmol per kg biet;
- stijging van het aminostikstofgehalte met 3,1 mmol per kg biet;
- daling van de WIN met 1,0.

Het effect van extra stikstof is beperkt en kan bijvoorbeeld ongunstige teeltomstandigheden (management, ziekte, slechte bodemkwaliteit) niet opheffen.

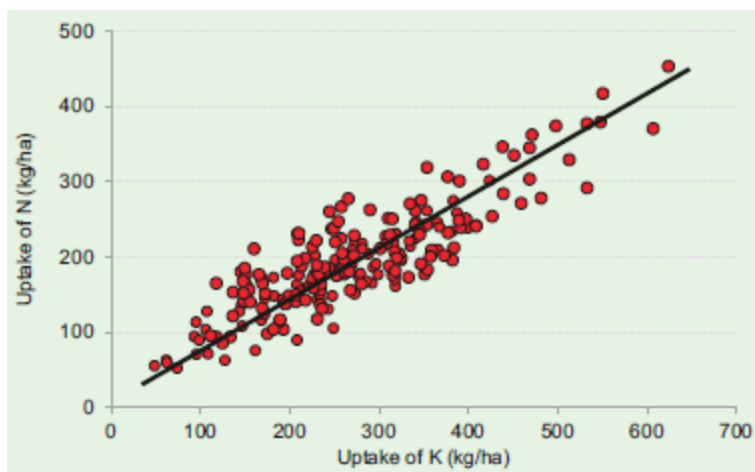
De kaliumtoestand heeft weinig invloed op de interne kwaliteit van suikerbieten zo blijkt IRS-proeven (ook ander onderzoek geeft dat aan). Veelal bleek wel dat een kaliumbemesting van > 100 kg K₂O per hectare de financiële opbrengst van de bieten verhoogde. Tot 300 kg K₂O/ha was er nauwelijks invloed van kali op de interne kwaliteit. IRS raadt daarom aan altijd 150 à 200 kg K₂O te bemesten per hectare. Met deze hoeveelheid wordt de afvoer van kalium met de bieten gecompenseerd. Vaak wordt via dierlijke mest al voldoende kali gegeven.

Voor een zo hoog mogelijk financieel rendement is het vanuit het oogpunt van bemesting van belang om goed te sturen op de stikstof- en kalibemesting (en of natriumbemesting). Het handboek bodem en bemesting en de IRS-teelthandleiding geven richtlijnen voor de bemesting van suikerbieten.

5.4.2 Interacties

N-K

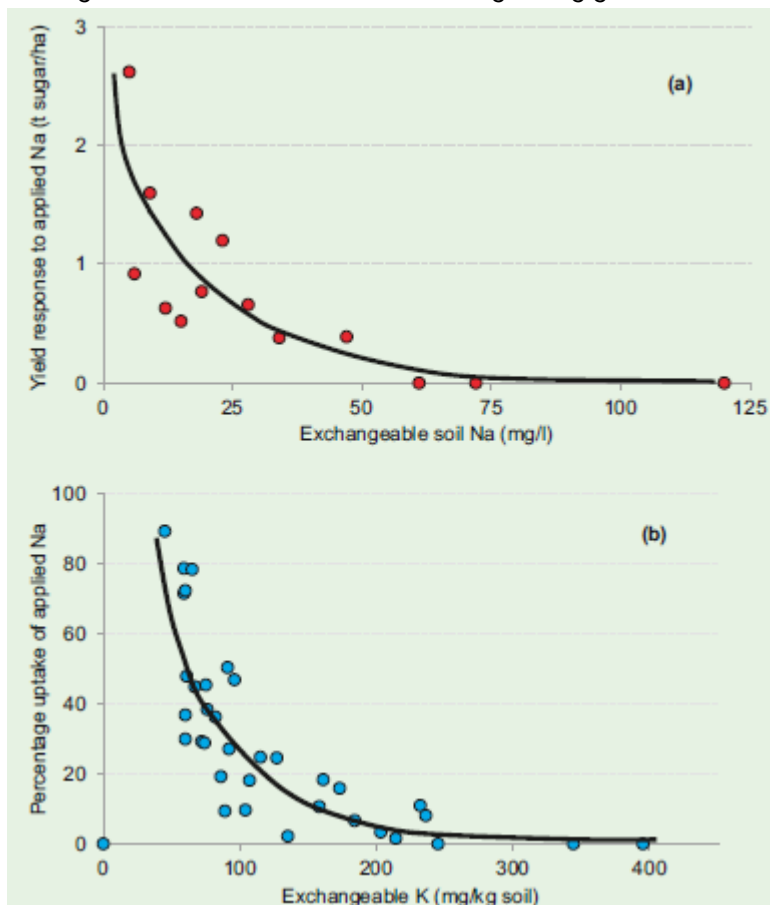
De hoogte van de stikstofbemesting heeft grote invloed op het rendement van de suikerbietenteelt. In het handboek bemesting zijn de factoren (zoals N_{min}, groenbemester, voorgeschiedenis) benoemd om rekening mee te houden bij de N-bemesting om zo het suikerbieten met een juiste hoeveelheid stikstof te voorzien. Veelal betekent dat een N-gift via bemesting van 100-140 kg N/ha. Het advies voor de N-bemesting is daarbij onafhankelijk van de bemesting met andere elementen (kalium, magnesium). Bekend is echter dat een optimale stikstofbenutting gepaard gaat met een juiste voorziening met kalium (Johnston & Milford, 2012). De gewasopname van K en N zijn sterk gecorreleerd (Figuur 7). De fysiologische basis voor deze correlatie is dat N de groei aanjaagt door het aantal en de grootte van de cellen in het plantenweefsel te vergroten. Daardoor neemt het totale celvolume van de verschillende plantorganen toe. Het toegenomen volume vereist voldoende "osmotische oplossing" om de celturgor (stijfheid), in stand te houden. De meeste gewassen gebruiken hiervoor vooral kalium, maar bij suikerbieten kan kalium door natrium worden vervangen. Voldoende kalium is dus belangrijk voor een goede groei en benutting van de gegeven stikstof. Op percelen met een kaliumwaardering van vrij hoog en hoog (globaal boven een K-getal van 20) kan een kaliumbemesting de suikeropbrengst nog wel iets verhogen, maar dit levert doorgaans minder op dan de kosten van een bemesting met kunstmestkalium.



Figuur 7. De relatie tussen N- en K-opname van suikerbiet op basis van veel praktijkpercelen (Milford et al., 2015).

K- Na

Bij suikerbiet kan natrium de rol van kalium deels overnemen, maar het wordt steeds meer duidelijk dat de fysiologische rol van de twee voedingsstoffen niet zo uitwisselbaar is als gedacht. Kalium is bijvoorbeeld veel mobieler en gelijkmatiger verdeeld binnen de plant dan natrium en actiever betrokken bij het transport van suiker naar de wortel (Milford et al., 2015). Natrium stapelt zich daarentegen bijna volledig op in het blad en door zijn immobiliteit bij het transport van suiker wordt het ook niet ook niet herverdeeld over de rest van de plant. Volgens Milford et al., 2015 hebben veel proeven in de UK aangetoond dat een positieve natriumreactie alleen verkregen wordt op bodems met een lage K-toestand die minder dan 25 mg Na/kg grond bevatten (Figuur 8). Belangrijker is dat nu is



Figuur 8 Het effect van (a) uitwisselbaar Na en (b) K op de opname van, en de opbrengstreacties op, toegepast natrium (Milford et al., 2015).

aangetoond dat bij meer dan 120 mg K/kg uitwisselbaar K in de bodem de suikerbiet maar weinig van de toegevoegde Na-meststof zal opnemen. In de UK wordt geschat dat er voor 8 miljoen pond te veel aan Na-meststoffen wordt uitgegeven. In Nederland geldt een Na-advies voor zandgronden. Dat is gebaseerd op onderzoek van voor 2000. Wilting (1999) geeft aan dat dit eind jaren '90 klopte voor zandgronden in Noord-Oost Nederland maar niet voor Zuid-Nederland. Op basis van de UK-resultaten zou dit kunnen betekenen dat de kalitoestand in Zuid-Nederland destijds hoger was dan in Noord-Nederland. Op basis van gegevens van IRS (André Valen, persoonlijke communicatie) was dat niet het geval. Anderzijds kunnen ook de weersomstandigheden een rol spelen. In droge jaren nemen bieten meer natrium op dan in natte jaren. Verder was het organisch stofgehalte veel hoger in Noord-Oost Nederland dan in Zuid-Nederland. Het verdient aanbeveling om te na te gaan of het Na-advies voor zandgronden nog steeds klopt en of dit mogelijk gekoppeld moet worden aan de kaliumstatus van een perceel. Het IRS heeft recentelijk onderzoek gestart op de zuidoostelijke gronden. Er zijn een serie Na-trappenproefvelden aangelegd. De proef loopt van 2020-2022. De resultaten zullen uitsluitsel geven in hoeverre het advies kan worden aangepast.

Mg-K interactie

Een tekort aan magnesium kost wortelgewicht en/of suikergehalte. Tinker (1967) vond in de UK over 17 proeven gemiddeld ruim 400 kg meer suiker per ha bij een hoge magnesiumbemesting (550 kg kieseriet/ha). In die proeven was er geen effect op sapzuiverheid en suikerpercentage.

Volgens het IRS blijkt uit buitenlandse onderzoeksresultaten dat in veel gevallen, ondanks hoge voorraden in de grond, een magnesiumgift aan suikerbieten gunstig is voor de opbrengst en interne kwaliteit. IRS-onderzoek in de jaren veertig heeft eveneens uitgewezen dat een magnesiumbemesting een gunstige invloed heeft op de opbrengst en interne kwaliteit. Dit gold vooral voor percelen met een ruime kalium-magnesiumverhouding en een matige pH, maar in recentere onderzoek werd dat niet gevonden (Wilting 1999). De ruime kalium-magnesiumverhouding duidt dus op een interactie. Ook positieve resultaten bij hoge Mg-bodemvoorraden kunnen een gevolg zijn van hoge kalitoestanden. Vermoedelijk zijn de effecten niet heel sterk want in de recentere literatuur is er eigenlijk geen informatie aanwezig over de Mg-K interactie bij bieten.

In Nederland is het magnesiumadvies onafhankelijk van de K-toestand. Veelal volstaat een onderhoudsbemesting met 50 tot 70 kg MgO/ha op zand- en dalgronden. Bij (vrij) lage toestanden is echter meer MgO nodig (zie handboekbodembemesting.nl). Voor zeelei- en zeezandgronden is er geen advies op basis van grondonderzoek. Hier kan eventueel een bespuiting worden uitgevoerd met een magnesiumhoudende meststof als er magnesiumgebreksverschijnselen zichtbaar zijn of worden verwacht.

Op basis van het voorgaande geldt als voorzorgsprincipe om niet meer kali te bemesten dan nodig is om de magnesiumopname niet onnodig te onderdrukken.

Calcium interacties

Bieten verlangen een relatief hoge bodem pH ten opzichte van andere gewassen. Op kalkarme gronden met een lagere pH wordt door bekalking voor de bietenteelt tegelijk de calciumvoorziening geborgd. Dat verklaart mogelijk ook waarom bemesting met calciumnitraat (Adams, 1960) op veel locaties in de UK niet verschilt van ureum of ammoniumsulfaat qua opbrengstreactie. De calciumvoorziening is vanwege het op peil houden van de pH-waarde sowieso goed.

5.4.3 Interacties andere gewassen

Uien

Uien kunnen hoge opbrengsten geven tot gemiddeld wel 60 ton per ha met daarbij een grote spreiding tussen bedrijven. De bemestingsadviezen voor uien houden geen rekening met interacties en er is ook geen specifiek gewasadvies voor elementen als Ca, Mg en K. In de literatuur is weinig informatie aanwezig over interacties. Dat betekent waarschijnlijk dat interacties een beperkte invloed hebben op de opbrengst. Mogelijk zijn er wel interacties met betrekking tot de kwaliteit.

Voor stikstof is vooral het N-niveau van belang. De N-meststof is niet of nauwelijks relevant. Smith et al. (1997) geven aan dat in hun onderzoek er geen verschil is tussen ammoniumnitraat, ureum of calciumnitraat zowel met betrekking tot de opbrengst als bolhardheid en -omvang. Wel was er een zwakke aanwijzing dat de skin splitting bij gebruik van ureum en calciumnitraat werd verminderd.

Het belang van kalium voor uien is veelvuldig onderzocht. Meer kali onderdrukt de Mg- en Ca-opname maar heeft voor zover we hebben kunnen nagaan geen effect op de opbrengst of de kwaliteit van uien. Alleen Yara Uk meldt dat extra Ca- en Mg-bemesting goed is voor de uikwaliteit (betere bewaarkwaliteit, minder uirot en een betere huidkwaliteit). Op basis van de Florida Coop extension dienen de gehalten voor K 1.5 tot 3.0, voor Ca 0.6 tot 0.8, voor Mg 0.15 tot 0.30 en voor S 0.2 tot 0.6 % (op ds-basis) te bedragen. Een gewas uien neemt dus al gauw respectievelijk 70 en 20 kg Ca en Mg per ha, maar ook meer dan 40 kg S per ha op. Deze hoeveelheden Ca en Mg kunnen bij een normaal bemestingsbeleid ruimschoots worden voorzien via de bodem zelfs bij relatief hoge kaligiften of kalitoestanden. De S-opname kan soms nog beduidend hoger zijn dan 40 kg/ha op basis van Ozhan et al (2018). In hun onderzoek geven ze aan dat er voldoende aandacht voor de S-bemesting moet zijn om K-bemesting beter te laten renderen. K-bemesting aangevuld met S-bemesting leidde tot hogere opbrengsten. Ook Souza et al. (2015), Chattoo et al. (2019) en Boyhan & Kelly (2014) melden dat zo'n 50 kg S per ha nodig is voor de maximale opbrengst. Weilwaar zijn dit proeven uit andere werelddelen (Brazilië, India, USA) waar gronden arm kunnen zijn maar ook NL-gronden op zand beschikken over weinig zwavel. In een recente proef op zavelgrond met een goed zwavel leverend vermogen leidde zwavelbemesting à 106 kg SO₃ (42 kg S) per ha tot een iets hoger zwavelgehalte in de uienbollen maar niet tot een hogere opbrengst of betere bewaarbaarheid dan geen zwavelbemesting (Van Geel et al., 2020, in prep.). Uien worden in Nederland van oudsher hoofzakelijk op klei geteeld. In de afgelopen jaren neemt de uienteelt op zand toe. Er is momenteel geen S-advies voor zaai op zandgrond hoewel sommige gronden minder dan 10 kg S per jaar leveren.

Tarwe

Tarwe kan hoge opbrengsten geven tot 12 ton per ha. De bemestingsadviezen voor tarwe houden geen rekening met interacties en er is ook geen specifiek gewasadvies voor elementen als Ca, Mg en K. In de literatuur is weinig informatie aanwezig over interacties en effect op opbrengst en kwaliteit. Jaskulska et al. (2015) tonen aan dat K de Mg- en Ca-opname onderdrukt op basis van bladanalyses, maar wat dit betekent voor de kwaliteit van het eindproduct is onduidelijk.

Andere gewassen

Er is in de context van dit onderzoek niet naar andere akkerbouwgewassen gekeken. De beperkte beschikbaarheid van data over dit thema is hiervoor de reden.

6 Ca-meststoffen bodem of blad

Een van de vragen is of het zinvol is om calcium te bemesten via het blad? Om deze vraag te beantwoorden is het belangrijk om te begrijpen hoe calcium zich in een plant gedraagt (zie ook de Pasture, 2016). Er zijn twee stuurfactoren voor de beschikbaarheid Ca in de plant Ca: transport en absorptie. In tegenstelling tot de meeste andere nutriënten is Ca niet floëemmobil. Het kan alleen via het xyleem (de houtvaten) worden getransporteerd. Het Ca komt de plant binnen met de waterflow en wordt via transpiratie naar boven getransporteerd, waar het of wordt geabsorbeerd en opgeslagen, ofwel als overschot van de bladeren wordt afgevoerd.

Ca gaat alleen maar omhoog en het kan niet meer omlaag getransporteerd worden naar de knol. Ca toegepast op bladeren kan problemen in de wortels niet corrigeren. Daarom zullen bladbespuitingen met Ca nooit het nutriënt in de knol kunnen brengen. Dit is fysiologisch onmogelijk. Dat betekent dat een juiste bodembemesting en plaatsing belangrijk is.

De basis van de bemesting begint bij het op peil houden van de bodem pH via bekalking, Daarmee is in het algemeen de Ca-voorziening van gewassen ruimschoots geborgd. Daarnaast is een gangbare stikstofmeststof KAS, dat ook calcium bevat. Indien er in de praktijk al sprake mocht zijn van Ca-gebrek dan is dat vooral te wijten aan de omgevingsomstandigheden zoals droogte waardoor de opname bemoeilijkt wordt. De beste remedie is dan ook beregenen om zo groeivertraging tegen te gaan, waarmee tegelijk een betere Ca-voorziening beter is geborgd.

Een optimale Ca-voorziening is het meest relevant voor het gewas aardappelen dat een ondiepe beworteling kent en waarbij Ca ook een belangrijk rol speelt bij de kwaliteit van het gewas (knolaantal, schurft, schilkwaliteit, interne kwaliteit, langer groen blijven, etc). Een goede bodem pH (bekalken) en goede vochtvoorziening zijn de basis voor een goede Ca-voorziening. Bladbemesting met calcium is voor knolgewassen niet effectief. Eventuele claims over positieve werking (knolaantal, schurft, schilkwaliteit, interne kwaliteit, langer groen blijven (moeten dan ook berusten op andere effecten dan een betere calcium voorziening. Verder lijken plaatsing, toepassingswijze en toepassingstijdstip invloed te hebben op de werking van de Ca-meststoffen. Gegevens zijn echter schaars.

7 Beantwoording onderzoeksvragen, praktijktips en advies voor vervolgonderzoek

7.1 Beantwoording onderzoeksvragen

Dit hoofdstuk is bedoeld om de kernvragen nog eens te adresseren en kernachtig samen te vatten tot praktische antwoorden voor de praktijk gebaseerd op het hiervoor uitgevoerde literatuuronderzoek. Deze worden achtereenvolgens nader toegelicht.

1a. In hoeverre leidt een hoge kaligift tot magnesium- en calciumgebrek in het gewas? Wat is waar wat er wordt geclaimd in de praktijk?

Het klopt dat een hoge kaligift de magnesium- en calciumopname van een gewas onderdrukt. Dit leidt bij een goede bodemtoestand (streeftoestand voldoende) niet tot lagere opbrengsten. Is de magnesiumvoorziening lager dan toestand voldoende, waardoor er kans is op magnesiumtekort dan kan een hoge kaligift dit effect nog verergeren. Voor de praktijk betekent dit dat men moet letten op het handhaven van streeftoestand voldoende. Extra magnesium bemesten resulteert in onnodige kosten en verhoogt het risico op verliezen door uitspoeling vooral op zandgronden.

Voor calcium geldt als eerste dat de pH op orde moet zijn. Is de pH te laag, dan bekalken. Verder is een goede vochtvoorziening van belang. Calcium is zeker onder droge omstandigheden weinig mobiel. In de literatuur zijn er weinig bemestingsproeven met goed oplosbare calciumverbindingen toegediend aan de bodem. De weinige proeven die er zijn tonen geen eenduidige effecten aan op de kwaliteit. Incidenteel worden wel een grove sortering gemeld, minder kans op rot en inwendig bruin. Wil men toch wat extra calcium dan kan dat bijvoorbeeld goed met een NS-meststof die gips bevat en aan de bodem wordt toegediend. Bladbemesting met Ca-meststoffen is bij aardappel (knolgewassen) niet effectief. Het leidt niet tot hogere Ca-gehalten in de knol

Tot slot: Kalium heeft bij aardappelen een negatief effect op het onderwatergewicht en een positief effect op de blauwgevoeligheid en grauwwerking, maar raseigenschappen zijn veel belangrijker dan bemesting vanuit oogpunt van kwaliteit (tussen rassen kan zo 3% verschil in zetmeelgehalte zitten, dit verschil is via kalibemesting niet te overbruggen). De meest effectieve strategie is dan een ras te kiezen dat het beste voldoet aan de gewenste kwaliteitseigenschappen behorende bij het teeltdoel (zetmeel-, consumptie, of pootaardappelen) en om qua bemesting de adviesbasis te volgen. Indien de streeftoestanden op orde zijn zijn er op basis van de literatuur geen aanwijzingen dat interacties van kalium met magnesium en calcium effect hebben op kwaliteit en opbrengst.

1b. Bij hoeveel kali wordt extra bemesten zinvol voor blauwgevoeligheid (consumptie)?

Deze vraag is niet eenduidig te beantwoorden omdat er sprake is van jaarverschillen, rasverschillen. Bij de huidige stikstof en kaliniveaus heeft verhogen/verlagen van de bemesting een beperkt effect op de blauwgevoeligheid. Ruwweg geeft een extra voorjaarsgift van 300 kg patentkali/ha een verlaging

van de blauwgevoeligheid met een punt en leidt het tot iets minder. Bovendien zijn de effecten ook niet altijd consistent over de rassen. Uit onderzoek blijkt dat slechts 10% van de kwaliteitskenmerken worden verklaard door bemesting. De rest wordt veroorzaakt door raseffecten, jaarinvloeden en andere factoren.

Om de kalitoestand van de bodem op streefniveau te houden, moet de hoeveelheid kali die met de geogste producten in het bouwplan wordt afgevoerd plus het kaliverlies door uitspoeling, worden aangevoerd. Veelal is dit gemiddeld over het bouwplan meer dan de hoeveelheid kali die wordt aangevoerd op basis van de gewasgerichte adviezen. Voor handhaving van de streeftoestand van de bodem moet dan dus meer kali worden gegeven dan volgens het gewasadvies. De kaligift kan dan zo worden verdeeld over de gewassen in het bouwplan dat elk gewas minimaal het gewasadvies krijgt. De extra kali kan worden verdeeld over de gewassen met de hoogste kalibehoeftte en/of hoogste onttrekking en waarbij extra kali niet nadelig is voor de kwaliteit. Van belang is wel dat de magnesiumtoestand en de pH van de bodem, op orde zijn.

2. Is het nodig en rendabel om bij hoge kaligift ook magnesium en/of calcium te bemesten?

In navolging op vraag 1 is extra magnesium en calcium niet nodig, verondersteld dat de magnesiumtoestand minimaal voldoende is. De beste strategie is om een sterke overmaat kali en vochttekort te vermijden.

Overigens zou extra Mg- en Ca-bemesting betekenen dat de opname van kalium onderdrukt wordt en daarmee het beoogde positieve effect van kalium ook wordt verminderd. Kortom pas bij voorkeur geen of een beperkte overbemesting toe en volg de adviezen zo goed mogelijk op. Bij het opvolgen van het pH-advies is een goede voorziening van Ca geborgd en is er geen extra aanvulling nodig.

Bij de Albrecht (Kinsey) methode wordt de filosofie aangehangen dat K, Ca, Mg in een vaste ratio aan het adsorptiecomplex moet zitten voor een optimale opbrengst. Wetenschappelijk is daar geen bewijs voor, wel leidt het tot een sterke verhoging van de bemestingskosten. Dat blijkt uit onderzoek van 80-100 jaar geleden maar eveneens uit recenter onderzoek. Veel belangrijker is dat de bodemvoorraad aan deze elementen voldoende is. Met regulier grondonderzoek eens in de 4 jaar en het opvolgen van de adviezen is dit te borgen.

3. Wat is de optimale N/K/Cl-voorziening voor (zetmeel)aardappelen en andere gewassen?

De basisregel is dat de hoeveelheid N en K niet beperkend mag zijn voor de groei. Met toepassing van de huidige bemestingsadviezen kan een optimale gewasopbrengst worden gerealiseerd. Vanuit kwaliteitsoverwegingen en teeltdoel kan wat meer of minder N en K worden gegeven.

Aardappelen

Onderzoek van vooral Veerman (2001) geeft aan dat de effecten van bemesting beperkt zijn en dat deze overruled worden door ras- en jaareffecten. Afwijken van het advies dienen bij voorkeur beperkt te worden tot 50 kg N en 100 kg K₂O per ha. Naast de giftgrootte is de timing van belang. Een kaligift tot begin juli in de vorm van KCl kan een effectieve bijdrage leveren aan de vermindering van blauwgevoeligheid en een verbetering van de bakkleur bij consumptieaardappelen. Bijkomend voordeel is dat men daarmee ook kan inspelen op de weersomstandigheden; droog of vele regen tot juli (uitspoeling van K op zand).

Ruwweg verlaagt 300 kg K₂O/ha het onderwatergewicht met 10 gram bij toepassing van patentkali en met 20 gram bij toepassing van KCl. Verlaging van de stikstof met 100 kg N/ha geeft een daling van het onderwatergewicht van 10 gram, daarbij zijn er geen verschillen tussen de rassen.

Chloride is vaak het begeleidende anion bij veel K-meststoffen (mineraal, organisch). Hoge giften (tot 500 kg/ha) werken in het algemeen niet nadelig op de opbrengst. Wel wordt soms melding gemaakt dat hoge giften de stikstofopname in de vorm van nitraat beperken. Bij opvolgen van het bemestingsadvies wordt zelden meer dan 300 kg Cl/ha gegeven (afhankelijk van de meststofsoort).

Andere gewassen

De effecten van stikstof, kali en chloride op kwaliteit spelen ook bij andere gewassen, maar vaak in mindere mate. Een optimale verhouding tussen deze elementen bestaat niet echt. De huidige bemestingsadviezen zijn toegespitst op het realiseren van een optimale opbrengst/kwaliteit, waarbij er voor het advies van een nutriënt ervan uit gegaan wordt dat de andere nutriënten niet beperkend zijn. Bij een gewas als suikerbieten is daarbij vooral een juiste stikstofbemesting van belang.

4. Wat is het effect van verschillende calciummeststoffen en de manier van toepassing ervan op de opbrengst en verschillende kwaliteitseigenschappen van consumptie- en pootaardappelen?

In de wetenschappelijk literatuur is er beperkte informatie over de rol van Ca en de kwaliteit van aardappel. Kennelijk betekent dat de Ca-voorziening veelal gewaarborgd is.

Een eventueel calciumtekort bij aardappelen is vooral het gevolg van of een te lage bodem-pH en/of een gebrekkige vochtvoorziening. Eventuele tekorten kunnen niet opgelost worden via bladbemesting. Omdat calcium niet via bladbemesting in de knol kan komen. Bemesting zal moeten geschieden via de bodem. De eerste aanpak daarbij is zorgen dat de pH op orde is. Eventueel kan met bijvoorbeeld Ca-houdende N-meststoffen die bijvoorbeeld goed oplosbaar gips bevatten nog een aanvulling worden gegeven van gemakkelijk beschikbaar calcium. Wil de meststof effect hebben dan dient deze nabij de knollen/wortels te worden geplaatst. Een gebrekkige vochtvoorziening kan worden tegengegaan door irrigatie en/of beregening.

7.2 Praktijktips

Een aantal praktische tips:

- Regelmatig grondonderzoek om een basistoestand van minimaal voldoende te realiseren is gewenst.
- De huidige bemestingsadviesbasis voldoet. Bemesten op basis van Albrecht- Kinsey heeft wetenschappelijk geen meerwaarde, het verhoogt alleen de kosten en leidt tot verspilling van meststoffen. Dit is niet nieuw, maar ook decennia geleden al aangetoond.
- Interacties tussen nutriënten als Ca, Mg, Na K, Cl komen voor. Deze hebben normaliter geen effect op de opbrengst. Eventuele effecten komen tot uiting in kwaliteitsaspecten. De beste strategie is om te hoge bemesting met een van deze elementen te voorkomen in plaats van bij bemesten met een ander element ter compensatie van een te hoge bemesting.
- Een te ruime bemesting met nutriënten als Ca, Mg, Na K, Cl leidt niet tot een geïnduceerd tekort van een ander element zolang de bodemvruchtbaarheidstoestand van elk element minimaal voldoende is.
 - De huidige bemestingsadviezen voor K en Mg voldoen
 - Bij een ruime kaligift (boven advies) is geen extra magnesium nodig zolang de magnesiumtoestand minimaal voldoende is.
 - Bieten kennen een natriumadvies. Het is de vraag of bij een ruime kalivoorziening wel natrium nodig is.
- Het is niet zinvol om een te ruime bemesting met een nutriënt te compenseren door een extra bemesting met een ander nutriënt. Dat brengt onnodige kosten met zich mee.

- Een eventueel gebrek aan calcium bij aardappelen is niet op te lossen met bladbemesting. Dat is weggegooid geld. De basis is:
 - Zorg dat de pH op orde is
 - Zorg voor een goede vochtvoorziening
 - Calciummeststoffen lijken het beste nabij de wortel te kunnen worden geplaatst.

7.3 Advies voor vervolgonderzoek

Het magnesiumadvies blijkt op basis van de uitgevoerde studies nog goed te voldoen met een paar kanttekeningen. In de uitgevoerde proeven werd zelden een magnesiumrespons gevonden. Deels is dat te verklaren doordat of de uitgangstoestand te hoog was, het relatief droog was of de kalistoestand ook laag was. Een enkele keer zijn wel symptomen zichtbaar, maar leidde dat niet tot opbrengstdervingen. Daarnaast zijn proeven steeds op een beperkt aantal locaties uitgevoerd en wel op proefbedrijven. In het algemeen zijn de bedrijfsvoeringsomstandigheden beter op orde dan in de praktijk. Tegelijk wordt er in de praktijk nog regelmatig preventief gespoten, terwijl we het vermoeden hebben dat dit niet nodig is.

We achten nieuw onderzoek naar magnesium niet noodzakelijk, maar als er toch twijfel blijft bestaan in praktijk, is te overwegen een monitoringproef uit te voeren met metingen op veel locaties met weinig behandelingen per locaties. Daarbij kan gedacht worden aan 2 Mg-niveaus per praktijklocatie en wel laag en voldoende. De kalistoestand dient ruim voldoende te zijn. De Mg-bemesting bedraagt 0 of 50 kg MgO/ha in combinatie met wel of geen bladbemesting. Dit geeft 8 behandelingen per locatie. Bij aanleg in duplo geeft dit 16 veldjes. Bij 10 locaties geeft dit 160 veldjes.

De verwachting is dat bij een magnesium toestand voldoende een ruime kalibemesting niet leidt tot een magnesiumtekort. Ook dit kan bij twijfel desgewenst getoetst worden in een monitoringproef in de praktijk. Daarbij kan gedacht worden aan 2 Mg-niveaus per praktijklocatie en wel laag en voldoende. De kalistoestand dient ruim voldoende te zijn. De Mg-bemesting bedraagt 0 of 50 kg MgO/ha in combinatie met 0 of 300 kg K₂O/ha of 0, 200 en 400 kg K₂O/ha. Dit geeft 8 of 12 behandelingen per locatie. Bij aanleg in duplo geeft dit 16 of 24 veldjes. Bij 10 locaties geeft dit 160 of 240 veldjes

Het verdient aanbeveling om te na te gaan of het Na-advies voor suikerbiet op zandgronden nog steeds klopt en of dit niet gekoppeld moet worden aan de kaliumstatus van een perceel.

De zwaveladviezen voor uien zijn in internationaal perspectief gezien laag. Het verdient aanbeveling om het zwavelbemestingsadvies te actualiseren, o.a. op basis van recente proefdata¹.

De opname van Ca door de aardappelplant schiet soms te kort hoewel de bodem voldoende Ca bevat. Vooral onder droge omstandigheden wordt de opname bemoeilijkt en eventueel nog versterkt door een hoge K-toestand. Oplossingsrichtingen zijn plaatsing van Ca dicht bij de wortel, irrigatie en of veredeling. Hier is ongeveer 20 jaar geleden als eens naar gekeken maar zou opnieuw kunnen worden bekeken omdat de aardappelrassen deels zijn gewijzigd, omdat het lijkt dat zich nu vaker perioden van droogte voordoen en omdat de onderzoek informatie uit het verleden summier is. Tegelijk kan daarmee worden vastgesteld of er grote rasverschillen zijn qua opname van calcium. Het advies is daarom om veldproeven met aardappel uit te voeren gericht op de interactie tussen kalium en calcium. Verder verdient het aanbeveling om nader onderzoek te doen naar de effectiviteit van

¹ Actualisering van het zwavelbemestingsadvies staat op de onderzoeksagenda van de CBAV.

plaatsing van calcium nabij de wortel. Plaatsing lijkt de werking te verbeteren, maar dit moet met meer zekerheid worden vastgesteld.

Opgemerkt moet worden dat bemesting is een van de vele aspecten die van invloed is op de opbrengst van akkerbouwgewassen. Bij een van de belangrijkste akkerbouwgewassen, het gewas aardappel, is over de afgelopen 3 decennia de opbrengst niet toegenomen ondanks nieuwe rassen. Kennelijk zijn andere oorzaken als bodemverdichting, ziektedruk, bodempathogenen sterk medebepalend voor het gelijk blijven van de opbrengsten.

Literatuur

- Adams SN (1974) The value of calcium nitrate and urea for sugar beet, and the effect of late nitrogenous top dressings. J. agric. Sci., Camb, Volume 54: 395-398
- Addiscott TM (1974) Potassium and the distribution of calcium and magnesium in potato plants. J Sci Food Agric 25:1173-1183.
- Albrecht WA (1975). The Albrecht papers. Vol. 1: Foundation concepts. Acres USA, Kansas City, MO.
- Allison MF, Fowler JH & Allen EJ (2002) Factors affecting the magnesium nutrition of potatoes (*Solanum tuberosum*). The Journal of Agricultural Science 137:397-409.
- Bakker, Y. (1981). Nieuw magnesium bemestingsadvies op diluviale zangronden, dalgronden en löss (bouwland). De Buffer (CAD-Landbouw), nr. 4.
- Bear FE, Prince AL & Malcolm JL (1945). Potassium needs of New Jersey soils. Bull. 721. N. J. Agric. Exp. Stn., New Brunswick.
- Boer DJ, Holshof G, Bussink DW & Middelkoop van JC (2011). Type en toedieningsvorm van N-kunstmest; Effecten op gewas- en eiwitproductie en -kwaliteit. NMI-rapport 1364.N.09, Wageningen pp. 95.
- Bos D, Wijnholds KH & Paauw JGM (2004) Optimalisering magnesiumvoorziening in aardappelen. PPO projectnummer 510259. Lelystad. Pp 27.
- Boyhan GE & Kelley WT (2014). Onion production guide. University of Georgia –Bulletin 1198-2: 4-5
- Cakmak I, Yazici AM (2010) Magnesium: a forgotten element in crop production. Better Crops 94:23-25.
- Chaganti VN & Culman SW (2017). Historical Perspective of Soil Balancing Theory and Identifying Knowledge Gaps: A Review. Crop Forage Turfgrass Manage. Volume 3. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, Madison, 7 pp.
- Corbett EG & Gausman HW (1960). The interaction of chloride with sulfate and phosphate in the nutrition of potato plants (*Solanum tuberosum*). Agronomy Journal Vol.52 pp.94-96
- De Pasture L (2016). Calcium misunderstood in potatoes. Crop production magazine pp89-91. <http://www.cpm-magazine.co.uk/2016/06/20/potato-nutrition-calcium-misunderstood-in-potatoes/>
- De Souza LFG, Filho ABC, De Túlio FA & Nowaki RHD (2015). Effect of sulphur dose on the productivity and quality of onions. Australian Journal of Crop Science 9: 728-733
- Dontsova KM & Norton LD (2002). Clay dispersion, infiltration and erosion as influenced by exchangeable Ca and Mg. Soil Science. 167(3):184-193.
- Edmeades D (2011). The Fertilizer Review: Base saturation- why are they nonsense. New Zealand. Pp. 3.
- Chattoo M, Magray M M, Malik AA, Shah MD & Chisti JA (2019) Effect of Sources and Levels of Sulphur on Growth, Yield and Quality of Onion (*Allium cepa* L.). Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci (2019) 8(3): 1462-1470

- Erp PJ van (2002). The potentials of multi-nutrient soil extraction with 0.01 M CaCl₂ in nutrient management. Doctoral Thesis, WUR, Wageningen.
- Erp PJ van, Houba VJG & Beusichem ML van (2001). Actual cation exchange capacity of agricultural soils and its relationship with pH and content of organic carbon and clay. *Communications in soil science and plant analysis*. 2001, 32:1-2, 19-31.
- Evans D & Mondy NI (1984). Effect of magnesium fertilization on glycoalkaloid formation in potato tubers. *J Agric Food Chem* 32:465–466
- Geel, W, van, B. Evenhuis en C. Topper (2020). Effect van nutriënten op kwaliteit en weerbaarheid. Verslag van de veldproef in 2019. Rapport in voorbereiding.
- Gerendás J & Fühns H (2013). The significance of magnesium for crop quality. *Plant and Soil*. 368: 101-128
- Graham ER (1959). An explanation theory and methods of soil testing. *Missouri Agric Exp. Stn. Bull* 734.
- Grzebisz W (2013). Crop response to magnesium fertilization as affected by nitrogen supply. *Plant and Soil* 368: 23–39.
- Haan J de, Asperen P van, Visser J, Burgt GJ van der, Smit E, Dawson A & Koen Klompe (20120). Bodemaatregelen op dalgrond in de Veenkoloniën: effecten op bodemkwaliteit, opbrengst en financiële meerwaarde; Analyse van de resultaten van de systeemproof Bodemkwaliteit Veenkoloniën 2014-2017. Wageningen Research, Rapport WPR-831. 70 blz.; 11 fig.; 29 tab.; 14 ref.
- Jaskulska I, D. Jaskulski, M. Piekarczyk, K. Kotwica, L. Gałęzewski, P. Wasilewski (2015) Magnesium content in the leaves of winter wheat in a long-term fertilization experiment. *Plant Soil Environ*. Vol. 61: 208–212.
- Kärenlampi SO & White PJ (2009) Chapter 5 - Potato Proteins, Lipids, and Minerals. In: *Advances in Potato Chemistry and Technology*. Academic Press, San Diego, pp 99-125.
- Kelling KA, Schulte EE Peters JB (1996). One hundred years of Ca:Mg ratio research *New Horizons in Soil Science*, Number 8-96, Dept. of Soil Science, University of Wisconsin, 10 pp.
- Klein LB, Chandra S & Mondy NI (1981). Effect of magnesium fertilization on the quality of potatoes: yield, discolouration, phenols, and lipids. *J Agric Food Chem* 29:384–387.
- Klein LB, Chandra S & Mondy NI (1982). Effect of magnesium fertilization on the quality of potatoes: total nitrogen, nonprotein nitrogen, protein, amino acids, minerals, and firmness. *J Agric Food Chem* 30:754–757.
- Kopittke PM & Menzies NW (2007). A review of the use of the basic cation saturation ratio and the “ideal” soil. *Soil Science Society of America Journal* 71(2): 259-265.
- Kratzke MG & Palta JP (1986) Calcium accumulation in potato tubers: role of the basal roots. *HortScience*. 21(4):1022–1024
- Lamb JA (2013) Nitrogen and Potassium Effects on Sugar Beet Quality. Department of Soil, Water, and Climate University of Minnesota St. Paul, MN 55108
- Lipman, C.B. 1916. A critique of the hypothesis of the lime/magnesia ratio. *Plant World* 19:83-105, 119-133
- Loon CD & van Houwing CD (1989). Het effect van chloorbemesting op de blauwgevoeligheid, onderwatergewicht, bakkwaliteit en opbrengst van enkele consumptie-aardappelrassen. In: *Jaarboek 1988/1989*, Lelystad, PAGV, Publikatie 49, p.17-23.

- Lorenz F (2016). Die Kationenbelegung am Austauscherelement und das Ca:Mg-Verhältnis im Lichte alter Feldversuchsergebnisse. VDLUFA Schriftenreihe 73, 150 – 157
- Marschner P (ed) (2012) Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition). Elsevier Ltd
- Miles et al., (2013). The Albrecht System: uneconomical & outdated. Farmers Weekly, May 24, South Africa, p. 8-9.
- Milford G, Harder S & Godsmark D (2014). Sugar beet nutrition – the facts. British sugar beet review SPRING 2014; volume 83; 4-7.
- Moser F (1933). The calcium–magnesium ratio in soils and its relation to crop growth. J. Am. Soc. Agron. 25:365–377
- Mulder D (1953) Les elements mineurs en culture fruitière, pp. 188-198, presented in 1953 at the 1° Congegno Nazionale de Frutticoltura, Montan de Saint Vincent.
- Mulder EG (1956) Nitrogen–magnesium relationships in crop plants. Plant and Soil 7, 341–376. doi:10.1007/BF01394322
- Nätscher L (2018). Bodenuntersuchung nach Kinsey und Co. - eine Recherche zum bodenkundlichen Verständnis. Vortrag 20. Sept. 2018 VDLUFA Fachgruppe I.
- Ohno T & Grunes D (1985). Potassium-magnesium interactions affecting nutrient uptake by wheat forage Soil Science Society of America Journal 49:685-690
- Ologunde OO & Sorensen RC (1982). Influence of concentrations of K and Mg in nutrient solutions on sorghum. Agron. J. 74:41–46.
- Ozgen S, Kleinhenz MD, Palta JP (2003) Influence of supplemental calcium fertilization on potato tuber size and number. In: Yada RY (ed) Proc. XXVI IHC—Potatoes—healthy food for humanity. Acta Hort 619:329–335
- Ozkan CF, Anac D, Eryuce N, Demirtas EL, Asri FO, Guven D, Simsek M & Ari N (2018). Effect of Different Potassium and Sulfur Fertilizers on Onion (*Allium cepa* L.) Yield and Quality. e-ific No. 53 - Research Findings No. 53, 16-24
- Palta JI (2010) Improving Potato Tuber Quality and Production by Targeted Calcium Nutrition: The Discovery of Tuber Roots Leading to a New Concept in Potato Nutrition. Potato Research 53(4):267-275.
- Paauw, J. (2004). Optimalisering magnesiumvoorziening in aardappelen 2004. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, projectrapport nr. 510259, 27 pp.
- Paauw F van der (1945). Kalitoestand van zand- en dalgrond en opbrengst en onderwatergewicht van aardappelen. Versl. Landbouwk. Onderz. 51(10) A .
- Rietra RPJJ, Heinen M, Dimkpa CS & Bindraban PS (2017). Effects of Nutrient Antagonism and Synergism on Yield and Fertilizer Use Efficiency. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 48:1895-1920.
- Schonbeck M (2000). Balancing soil nutrients in organic vegetable production systems: Testing Albrecht's base saturation theory in southeastern soils. Organic Farming Res. Found. Inf. Bull. 10:17.
- Smith SH, Carr DM & Lehman M (1997). Nitrogen topdressing in cream gold onions. Horticultura Research & Development Cooperation, NSW. Pp 38
- Tawfik AA & Palta JP (1992) Practical means of enhancing tuber calcium content and reducing incidences of soft rot and internal brown spot by application of soluble form of calcium during bulking. HortScience 27(6): 665.

- Tinker PHB (1967). The effects of magnesium sulphate on sugar-beet yield and its interactions with other fertilizers. *J. agric. Sci., Camb.* 68, 205-212.
- Wale S & Sinclair A (2011). Potash Requirements of Potatoes Project Ref: R443 Report. Potato Council Report No. 2011/4. Warwickshire. Pp 35.
- Wang Z, Hassan M, Nadeem F, Wu L, Zhang F & Li X (2020). Magnesium Fertilization Improves Crop Yield in Most Production Systems: A Meta-Analysis. *Frontiers in Plant Science*. Publisher: Frontiers Media S.A.(www.frontiersin.org) vol: 10: Article 1727: 10 pp.
- Westermann DT, James DW, Tindall TA & Hurst RL (1994) Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: Sugars and starch. *Am Potato J* 71:433-453.
- Wilting P (2000). BODEM- EN BEMESTINGSONDERZOEK kaliumbemesting. Project No. 04-06. IRS Jaarverslag 2000. p. 24.
- Wilting P (2002). BODEM- EN BEMESTINGSONDERZOEK kaliumbemesting. Project No. 04-06. IRS Jaarverslag 2000. p. 32.
- Wilting P (1999). BODEM- EN BEMESTINGSONDERZOEK Natrium- en magnesiumbemesting op zandgrond. Project No. 04-17. IRS Jaarverslag 1999. p. 27.

Bijlage 1

Overzicht van studies waarin het effect van BCSR op de gewasopbrengst is geëvalueerd (kopie Chaganti & Culman, 2017).

Author and year	Greenhouse–field experiments	Experiment objectives	Measured variables	Major conclusions
Moser, 1933	Greenhouse cylinder experiments at Cornell Agricultural Experiment Station	Test the effects of varying Ca:Mg ratios on crop growth	Yields of barley, red clover, corn, and timothy grass	No significant correlation between cation ratios and crop yields. Yields increased only due to the availability of more active Ca in the soil
Hunter et al., 1943	Greenhouse experiments	Effect of Ca:K ratios on alfalfa yield in soil–sand mixtures	Harvest yield of alfalfa, root biomass, tissue Ca and K levels	Alfalfa can tolerate wide range of Ca:K ratios without any significant yield differences, as long as adequate levels of Ca and K were maintained
Hunter, 1949	Greenhouse pot experiments	Effect of Ca:Mg ratios on yield and mineral composition of alfalfa	Yield, weight of roots, tissue percentages of P, Ca, Mg, K, and lignin content	No effect of varying ratios of Ca:Mg were observed on both alfalfa yield and root weight
Giddens and Toth, 1951	Greenhouse pot experiments	Effect of Ca:Mg ratios on yield and plant uptake of nutrients by ladino clover (<i>Trifolium repens</i> L.)	Yield and mineral composition of tops and roots	No effect of cation ratios on yields. Increase in Ca, Mg, and K in soil caused an increased uptake of these nutrients by plants
Key et al., 1962	Greenhouse experiments in Illinois	Evaluate the growth of corn and soybean under varying Ca:Mg ratios in two different media (soil and resin-sand) with different CECs	Yield of soybean and corn	Yields of corn and soybean were not significantly affected by varying Ca:Mg ratio, when grown in soil media. Yields of soybeans and corn grown in resin media were reduced when ratios fell less than 1:1
McLean and Carbonell, 1972	Greenhouse pot experiments at The Ohio Agricultural Research and Development Center, Wooster	Test the effects of varying Ca-Mg saturations in soils of two different CECs	Yield and Ca, Mg, and K contents of alfalfa and German millet [<i>Setaria italica</i> (L.) P. Beauv.] crops	Yields of both crops were not significantly affected by varying saturations of Ca and Mg. Concluded that 6–10% of Mg is ideal for most crops but 12–15% is ideal when grasses are grown for feed to reduce Mg deficiency in animals
Simson et al., 1979	Field trials in Wisconsin	Study the effects of varying Ca:Mg ratios on yield of corn and alfalfa	Yield and tissue concentrations in corn and alfalfa	No significant yield responses were observed in relation to Ca and Mg applications in both corn and alfalfa
Eckert and McLean, 1981	Greenhouse experiments in northern Ohio	Evaluate crop growth with variable cation ratios	Yield of millet and alfalfa	No maximum yield was observed at any particular ratio or base saturation percentage. General yield increases were observed at higher pH values. No best ratio existed for maximizing yields for both crops
Liebardt, 1981	Field experiment at the Univ. of Delaware Georgetown experiment station	Effects of various Ca, Mg and K saturations on corn and soybean yields	Grain yields and tissue levels of corn and soybean	K saturation of 2–2.5% is enough in Delaware soils and no probable grain yield increase above 2.5%. Wide Ca:Mg ratios meet nutrient requirements of corn and soybeans
McLean et al., 1983	Field experiment in Wooster, OH	(i) To identify an ideal BCSR where yields are maximized (ii) To examine the effects of adding Ca, Mg, and K based on SLAN, on yield and tissue composition (iii) To test the merits of BCSR and SLAN concept for lime and K recommendations	Crop yield and tissue concentrations for six crops (corn, corn, soybeans, wheat, alfalfa, and alfalfa) over 6 years	Associations between cation ratios and crop yield were low, indicating no particular ratio of either Ca:Mg or Mg:K produced higher yields. SLAN concept is superior to BCSR and application of cations based on sufficiency levels is recommended
Fox and Piekielek, 1984	Field experiments on Research farms at Pennsylvania State Univ.	Effects of Ca:Mg ratios (1.8–36.9) on corn grain yields and Mg levels needed to ensure 0.2% Mg in silage corn	Corn yields, tissue Mg concentrations	No effect of Ca:Mg ratios on corn grain yields. 10% soil Mg saturation needed to have 0.2% tissue level in silage corn
Rehm and Sorensen, 1985	Field experiments in north-central Nebraska	Effects of Mg:K ratios on corn yields and uptake of Mg and K	Corn yields, tissue K and Mg concentrations	Mg:K ratios did not affect yields. K uptake was not inhibited at high Mg levels, but Mg uptake was reduced at higher K levels
Reid, 1996	Field experiments at Cornell Univ.	Effect of different rates of liming and resulting Ca:Mg ratios on alfalfa and birdsfoot trefoil (<i>Lotus corniculatus</i> L.) hay yields	Yields of alfalfa and birdsfoot trefoil	Various Ca:Mg ratios did not have any significant yield differences. General increase in yields was due to a rise in pH by liming with maximum yield at pH 6.5
Stevens et al., 2005	Field experiments at Univ. of Missouri Lee farm	Effects of Ca:Mg ratios on cotton (<i>Gossypium hirsutum</i> L.) lint yield and fiber quality	Soil characteristics, cotton K uptake, lint yield, and fiber quality	No significant effect of varying Ca:Mg ratios was observed on lint yield, fiber quality, and K uptake. BCSR theory did not show any advantage in managing cotton crop in well-drained Delta soils
Favaretto et al., 2008	Greenhouse experiment at Purdue Agricultural Center	Effects of gypsum and various Ca:Mg ratios on nutrient availability in soil and corn root and shoot growth	Soil nutrient status, root and shoot dry matter	Root and shoot dry matter differences were nonsignificant between various Ca:Mg ratios



Nutriënten Management Instituut BV
Nieuwe Kanaal 7c
6709 PA Wageningen

tel: (06) 29 03 71 03
e-mail: nmi@nmi-agro.nl
website: www.nmi-agro.nl