

# Onderbouwing adviezen sporenelementen

Maarten van Doorn (NMI)

Harm Brinks (Delphy)

Karst Brolsma (Eurofins)

Thijs Brouwer (Delphy)

Debby van Rotterdam (NMI)



## Referaat

Van Doorn, Maarten; Van Rotterdam, Debby; Brinks, Harm; Brotsma, Karst; Brouwer, Thijs, 2024, Onderbouwing adviezen sporenelementen, Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1852.N.21, pp 32

---

© 2024 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

[www.handboekbodemenbemesting.nl](http://www.handboekbodemenbemesting.nl)

digitaal

# Inhoudsopgave

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Samenvatting en conclusies</b>   | <b>2</b>  |
| <b>1 Inleiding</b>  | <b>3</b>  |
| 1.1 Achtergrond   | 3         |
| 1.2 Doelstellingen  | 4         |
| <b>2 Methodiek</b>  | <b>5</b>  |
| 2.1 Data-verzameling  | 5         |
| 2.2 Data analyse  | 6         |
| <b>3 Resultaten en Discussie</b>  | <b>8</b>  |
| 3.1 Ruimtelijke variatie in de beschikbaarheid van micronutriënten                      | 9         |
| 3.2 Spreiding micronutriëntgehalten percelen in vergelijking met regiogemiddelden       | 12        |
| 3.3 Directe beschikbaarheid van micronutriënten in de bodem in relatie met gewasrespons | 12        |
| 3.4 Bemesting-gewas   | 18        |
| 3.5 Balansen  | 24        |
| <b>4 Conclusies</b>   | <b>29</b> |
| <b>5 Concrete aanbeveling voor het Handboek Bodem en Bemesting:</b>                     | <b>31</b> |
| <b>Literatuur</b>   | <b>32</b> |
| <b>Bijlage I Aangenomen mestsaamenstelling</b>  | <b>33</b> |
| <b>Bijlage II Vergelijking met regio gemiddelden</b>                                    | <b>36</b> |
| <b>Bijlage III Bodem-Gewas</b>  | <b>39</b> |
| <b>Bijlage IV Bemesting-Gewas</b>   | <b>47</b> |

# Samenvatting en conclusies

Het bemestingsadvies voor sporenelementen in het Handboekbodemenbemesting.nl heeft ten doel om op basis van bodemonderzoek te voorspellen of er een tekort aan sporenelementen verwacht mag worden bij het telen van een bepaald gewas en zo ja, hoe dit met bemesting voorkomen kan worden. De huidige adviezen zijn gebaseerd op oude analysemethodes die deels achterhaald zijn en er worden inmiddels nieuwere methoden toegepast. Voor het onderbouwen van de adviezen voor sporenelementen voor de nieuwere analysemethodes is data verzameld van 83 praktijkpercelen. De directe beschikbaarheid van de sporenelementen borium, zink, mangaan en koper kunnen goed worden voorspeld met een 0.01M CaCl<sub>2</sub> extractie. De metingen laten een relatie zien met algemene bodemkenmerken waarvan uit de literatuur bekend is dat deze bodemkenmerken bepalend zijn voor de beschikbaarheid. De direct beschikbare sporenelementen in de bodem zoals gemeten met een 0.01M CaCl<sub>2</sub> extractie zijn in dit onderzoek sterk gecorreleerd aan één of meerdere bodemeigenschappen. Daarnaast zijn er diverse relaties gevonden tussen direct beschikbare sporenelementen en het gehalte in blad en/of geoogst product. In een standaard bouwplan met aardappelen (consumptie of pootgoed), suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien, bij regelmatig gebruik van dierlijke mest, is op bouwplan niveau de aanvoer van Mn, Cu en Zn hoger dan de afvoer met het gewas. Alleen voor B is gemiddeld de aanvoer in balans met de afvoer. De adviezen in het Handboekbodemenbemesting.nl voor borium, koper en zink kunnen op basis van dit onderzoek worden geactualiseerd. Concrete aanbevelingen zijn als volgt:

- Borium. Het huidige borium advies is gebaseerd op een bepaling waarbij 1 gewichtsdeel grond en 10 volumedelen water worden gemengd. Gedurende 10 minuten koken. Bepaling van B via atomaire emissie spectrometrie met inductief gekoppeld plasma (AES-ICP). Als tweede methode kan hier de bepaling op basis van 0,1M CaCl<sub>2</sub> aan worden toegevoegd. In de toelichtende tekst moet deze methode dan ook worden opgenomen, inclusief de waarderingstabel gebaseerd op deze methode.
- Koper. Het huidige koperadvies, op basis van extractie met 0,43 N HNO<sub>3</sub> geldt slechts met enige zekerheid voor haver en tarwe. Deze extractiemethode is achterhaald en daarmee ook het advies. CaCl<sub>2</sub> lijkt wel een goede methode om koper te meten in de bodem. De relatie met bodemkenmerken waarvan bekend is dat deze bepalend zijn voor de beschikbaarheid is beperkt, maar er is wel een relatie met aardappel gevonden. De sterk positieve balansberekeningen voor koper geven aan dat er geen aanleiding is om een gebrek te verwachten. De beschikbaarheid van de toegediende koper zou nader bepaald kunnen worden. De tekst in het handboek moet worden aangepast op basis van deze uitkomst.
- Zink. De huidige tekst in het Handboek geeft aan: 'Zinkgebrek kan optreden op gronden met pH  $\geq 7$  met een hoog organische-stofgehalte. Een hoge fosfaattoestand en een hoge fosfaatgift bevorderen het optreden van een gebrek. Er is geen officieel, op basis van grondonderzoek, vastgesteld zinkbemestingsadvies beschikbaar. Zinkgebrek kan meestal worden verholpen door te spuiten met zinksulfaat of zink-chelaten'. De resultaten tonen aan dat zinkbemesting een verhogend effect had op het gehalte van het geoogste product en de afvoer bij zaaiuien. Met organische mest (huidige samenstelling) wordt meer dan voldoende zink aangevoerd om de afvoer te compenseren. Er kan een op grondonderzoek gebaseerd advies voor zink worden ontwikkeld, de noodzaak voor akkerbouwgewassen is echter niet groot.
- Mangaan. Het mangaanadvies is naar aanleiding van het eerder uitgevoerde onderzoek (Brinks, H., Rotterdam, D. v., & Houben, S. (2020). Effecten van (blad)bemesting met sporenelementen. BO akkerbouw) reeds aangepast, de resultaten van het huidige project geven geen aanleiding om dit te herzien.

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Sporenelementen worden in ruime mate toegediend in de akkerbouw (Delphy). Enerzijds omdat nagenoeg altijd de basisbemesting uit een organische mestgift bestaat waarmee de meeste gewassen van (meer) dan voldoende sporenelementen worden voorzien. Anderzijds zijn bladmeststoffen goedkoop en heeft een agrariër bij een potentieel gebrek op basis van grondsoort geen financieel dilemma. Vanuit een duurzaamheidsprincipe is het echter wenselijk om op een zorgvuldige manier om te gaan met eindige grondstoffen.

Voor sporenelementensporenelementen geldt een optimaal gehalte dat vrij nauw kan zijn. Naast een tekort kan er ook toxiciteit optreden. De beschikbaarheid van sporenelementensporenelementen kan sterk worden beïnvloed door variabele factoren zoals door de pH van de bodem. Weersomstandigheden kunnen ook een grote rol spelen en van invloed zijn bij zowel tekorten als bij toxiciteit.

Het bemestingsadvies heeft ten doel om veelal op basis van bodemonderzoek te voorspellen of er een tekort aan sporenelementen verwacht mag worden bij het telen van een bepaald gewas en zo ja, hoe dit met bemesting voorkomen kan worden (producttype, dosis, timing). Voor een bemestingsadvies zijn hiervoor een aantal stappen essentieel:

1. Er moet een relatie zijn tussen concentratie in een bodemextract in het lab en de beschikbaarheid voor het gewas. Het gewas kan op een hogere beschikbaarheid van een bepaald nutriënt reageren door een hogere gewasopbrengst (wanneer het sporenelementen limiterend is) en/ of door een toename in het gehalte in de (verschillende) plant(delen), tot een bepaald optimum.
2. Het gewas moet reageren op bemesting door een hogere opbrengst en/ of door een hoger gehalte in het gewas.
3. Op basis van de relatie tussen bodem en gewasrespons op bemesting moet een dosis voor bemesting kunnen worden afgeleid.

De bemestingsadviezen voor sporenelementen zoals vermeld in het Handboek Bodem en Bemesting zijn ontwikkeld met oude analysemethoden. Nu er nieuwere meetmethoden worden gebruikt voor het standaard bodemonderzoek, is een update van de advisering in het Handboek Bodem en Bemesting noodzakelijk, aangezien de huidige praktijkadviezen lijken af te wijken. Het is daarom aanbevolen om de nieuwe analysemethoden te ijken voor wat betreft de relatie tussen bodem, gewas en mestgift (Brinks et al., 2020).

Eurofins Agro meet het gehalte borium, koper, mangaan en zink in de bodem via calciumchloride extractie, gelijk voor fosfaat (Reijneveld en Brotsma 2020) en kalium (Brotsma en Reijneveld, 2023). De ontwikkeling van de calciumchloride (CaCl<sub>2</sub>) methode is beschreven in Houba en anderen, 2000. In het CaCl<sub>2</sub> extract is het mogelijk om meer nutriënten te meten, zoals borium, koper, mangaan en zink. Via de bepaling van het gehalte in de bodem is er een waardering van de meetresultaten en geeft Eurofins een gewasgericht advies. Dit wijkt af van de adviezen in het Handboek Bodem en Bemesting.

In het Handboek Bodem en Bemesting is een advies voor borium, koper, mangaan en zink opgenomen. Voor borium is het advies gebaseerd op extractie van heet water om het boriumgehalte in de bodem te bepalen. Bij lage boriumgehalten wordt een advies gegeven voor een aantal gewassen. Het advies voor

koperbemesting heeft als basis een extractie met salpeterzuur en bij lage waarden is een advies voor een beperkt aantal gewassen. Voor mangaan is geen advies op basis van grondonderzoek. In het handboek wordt de kans op mangaangebrek met name verwacht bij hoge pH en bij droogte. Voor zink is geen bemestingsadvies beschikbaar op basis van grondonderzoek.

## 1.2 Doelstellingen

Doelstelling van het onderzoek is om relaties tussen micronutriëntgehalten in de bodem, micronutriëntenaanvoer via bemesting en gewasrespons nader te onderzoeken. Resultaten dienen als bouwsteen om bemestingsadviezen voor borium, mangaan, koper en zink voor de 'nieuwe' analysemethoden voor het bepalen van micronutriëntgehalten in de bodem nader te onderbouwen.

Onderliggend onderzoek gaat na welke relaties bestaan tussen de aanvoer van borium, koper, mangaan en zink ten opzichte van het gehalte in de bodem en in het gewas. De metingen zijn gedaan in de gewassen aardappel (pootgoed, consumptie en zetmeel), suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien. In de bodemmetingen is vervolgens nagegaan welke onderlinge verbanden er zijn tussen eigenschappen van de bodem en het gehalte borium, koper, mangaan en zink. Vervolgens is er gebruik gemaakt van door Eurofins beschikbaar gestelde data om na te gaan of de gemeten gehalten in de bodem en gewas representatief zijn voor de bodems in Nederland. Tot slot is er nagegaan in hoeverre er verschil is voor borium, koper, mangaan en zink met betrekking tot de aanvoer vanuit bemesting en de afvoer van het geogste product.

## 2 Methodiek

### 2.1 Data-verzameling

Voor het onderbouwen van de adviezen voor sporenelementen voor de nieuwere analysemethoden op basis van bodem -en gewassamenstelling is voor 83 praktijkpercelen de volgende data verzameld:

Analyses betreffen gehalten van B, Mn, Cu en Zn in (i) de bodem, (ii) het blad, en (iii) het geoogst product.

- B, Cu, Mn en Zn in de bodem zijn gemeten in het seizoen (april en mei) en na extractie met CaCl<sub>2</sub> zijn de gehalten gemeten.
- B, Cu, Mn en Zn in blad zijn gemeten in het seizoen (april en mei), gelijk met de bodemmetingen en voor het geoogste product bij de oogst aan het einde van het seizoen (afhankelijk van oogsttijdstip per gewas). Voorafgaand aan de metingen is het geoogste product gecutterd (voor aardappel, suikerbiet en ui), voor blad en geoogst product gedroogd en gemalen en na destructie van het plantmateriaal zijn de metingen gedaan.

Bemestingsgegevens (organische mest/kunstmest, tijdstip van bemesting, mestsoort) en bepalingen van gewasopbrengst, zijn opgevraagd bij adviseurs van Delphy.

- Bemonsterde gewassen zijn consumptieaardappelen, pootaardappelen, suikerbieten, wintertarwe, zaaiuien en zetmeelaardappelen. Percelen bestaan met name uit zandgronden en (kalkrijke) kleigronden (Tabel 2-1). De dataset is niet volledig sluitend. Op respectievelijk 82 en 77% van de percelen waar bodemonderzoek is uitgevoerd zijn het blad en het geoogst product geanalyseerd.

Naast de praktijkpercelen is door Eurofins voor bovengenoemde gewassen data aangeleverd van nutriëntgehalten in de bodem en gewas (blad en geoogst product) verspreid over Nederland. Dit betreft gemiddelde data op postcode-2 niveau.

*Tabel 2-1 Spreiding in basis bodemeigenschappen van de percelen waar historische analyseresultaten en bemestingsgegevens zijn opgehaald*

| Gewas                 | Datapunten (nr) | Zuurgraad (pH) | Organische stof (%) | Lutum (%) |
|-----------------------|-----------------|----------------|---------------------|-----------|
| Consumptieaardappelen | 17              | 5.3 – 7.6      | 1.2 – 4.1           | 1 - 21    |
| Pootaardappelen       | 4               | 6.7 – 7.4      | 1.8 – 2.0           | 10 – 20   |
| Suikerbieten          | 20              | 4.7 – 7.6      | 1.1 – 15.6          | 1 – 26    |
| Wintertarwe           | 18              | 5.8 – 7.6      | 1.6 – 7.6           | 11 – 53   |
| Zaaiuien              | 22              | 5.1 – 7.7      | 1.3 – 11.0          | 1 – 28    |
| Zetmeelaardappelen    | 2               | 5.0 – 5.3      | 5.0 – 5.8           | 1 - 1     |

## 2.2 Data analyse

Van de percelen waar bemestingsgegevens voor zijn opgevraagd is bekend hoeveel mest er is toegediend en van welke mestsoort. Om hoeveelheden toegediende mest (bijvoorbeeld in kg ha<sup>-1</sup>) om te rekenen naar de aanvoer van micronutriënten zijn aannames gemaakt over de gehalten van micronutriënten in de mest (Tabel S1-1, bron is handboek bodem en bemesting, 2023). Verder zijn aannames gemaakt over de dichtheid van mest om volumes aan mest om te rekenen naar hoeveelheden (Tabel S1-2). De methodiek van data-analyse is hieronder per onderdeel beschreven.

### Ruimtelijke variatie in de beschikbaarheid van micronutriënten

Inzicht in de ruimtelijke variatie van direct beschikbare micronutriëntgehalten in de bodem (als gemeten met de CaCl<sub>2</sub>-extractie) geeft inzicht in welke regio's er hogere en lagere risico's zijn op een gebrek aan micronutriënten. Gebruik makende van de historische data van Eurofins zijn kaarten gemaakt die de ruimtelijke spreiding van direct beschikbare micronutriëntgehalten in de bodem weergeven.

Van de praktijkdatabase set is om de resultaten te duiden per micronutriënt onderzocht welke bodemeigenschap het sterkst van invloed is op de directe beschikbaarheid. Hiervoor is gebruik gemaakt van twee analyses. De eerste analyse betreft lineaire regressie, waar de invloed van individuele algemene bodemeigenschappen (pH, organische stofgehalte, C/N ratio organische stof, N-totaal, N-levering, CEC, textuur klei-, silt-, zandgehalte en fosfaattoestand (P-Al en P-CaCl<sub>2</sub>)) op de directe beschikbaarheid van micronutriënten is onderzocht. Alleen statistisch significante relaties worden in dit rapport besproken.

De tweede analyse betreft een principal component analyse (PCA). Met een PCA kunnen relaties tussen bodemeigenschappen en de directe beschikbaarheid van micronutriëntgehalten in de bodem gezamenlijk worden onderzocht. Dit creëert een overzicht welke bodemeigenschappen met elkaar clusteren. PCA is ook gebaseerd op lineaire relaties tussen variabelen.

### Representativiteit percelen

Als onderdeel van data-verzameling zijn op een selectie van percelen bodem -en gewasmonsters genomen en geanalyseerd. Idealiter zijn deze percelen representatief voor de percelen die in de regio gelegen zijn. Om de representativiteit van de percelen te onderzoeken is de spreiding van de direct beschikbare micronutriëntgehalten in de bodem en het gewas (blad en geoogst product) op de percelen vergeleken met regiogemiddelden. Hiervoor is gebruik gemaakt van postcode-2 gemiddelden (2018-2022). De spreiding is berekend als de range waar 50% van de data binnen valt; interkwantielafstand (25<sup>e</sup> en 75<sup>e</sup> kwantiel).

### Bodem-gewas

Om een bemestingsadvies te kunnen opstellen moet een relatie bestaan tussen de concentratie in een bodemextract in het lab en de gewasrespons (Hoofdstuk 1). Direct beschikbare gehalten van micronutriënten in de bodem zijn daarom voor elk gewas vergeleken met de gewasrespons. In dit onderzoek is gewasrespons geoperationaliseerd als (i) micronutriëntgehalte in het blad, (ii) micronutriëntgehalte in het geoogst product, (iii) gewasopbrengst, en (iv) micronutriëntenafvoer. Micronutriëntenafvoer betreft de gewasopbrengst vermenigvuldigt met het micronutriëntgehalte in het geoogst product.

Gewassen met minder dan 5 observaties (zetmeelaardappelen en pootaardappelen, Tabel 2-1) zijn niet meegenomen in de lineaire regressies. Hier is voor gekozen omdat het aantal observaties te laag wordt geacht om een representatieve uitspraak voor het gewas te kunnen doen.

Bovenstaande analyse richt zich op de relatie tussen direct beschikbaar micronutriëntgehalten in de bodem en de gewasrespons. Om ook inzicht te krijgen in de relatie tussen overige bodemeigenschappen en gewasrespons is voor gewassen met meer dan 10 observaties (consumptieaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien) een PCA analyse uitgevoerd waarbij

bodemeigenschappen zijn vergeleken met micronutriëntgehalten in het blad en het geoogst product. Omdat praktisch data wordt geanalyseerd zijn soms relaties tussen sporenelement en gewas ook te duiden vanuit andere algemene bodemkenmerken (bv CEC). Dit is ook onderzocht. Alleen statistisch significante relaties worden in dit rapport besproken.

### **Bemesting-gewas**

Om een bemestingsadvies te kunnen opstellen moet het gewas reageren op bemesting (Hoofdstuk 1.1). Gebruik makende van dezelfde methodiek voor “relatie bodem-gewas” is ook de aanvoer van micronutriënten via bemesting voor elk individueel gewas gerelateerd aan gewasrespons. Omdat het effect van bemesting op gewasrespons variabel is over de tijd van het jaar is tijdstip van bemesting in de analyse meegenomen:

- Het micronutriëntgehalte in het blad is vergeleken met de hoeveelheid micronutriënten die voor begin mei via bemesting zijn aangevoerd.
- Het micronutriëntgehalte in de korrel, gewasopbrengst en micronutriëntenafvoer zijn vergeleken met de totale hoeveelheid micronutriënten die in het jaar via bemesting zijn aangevoerd.

### **Balansen (aanvoer versus afvoer)**

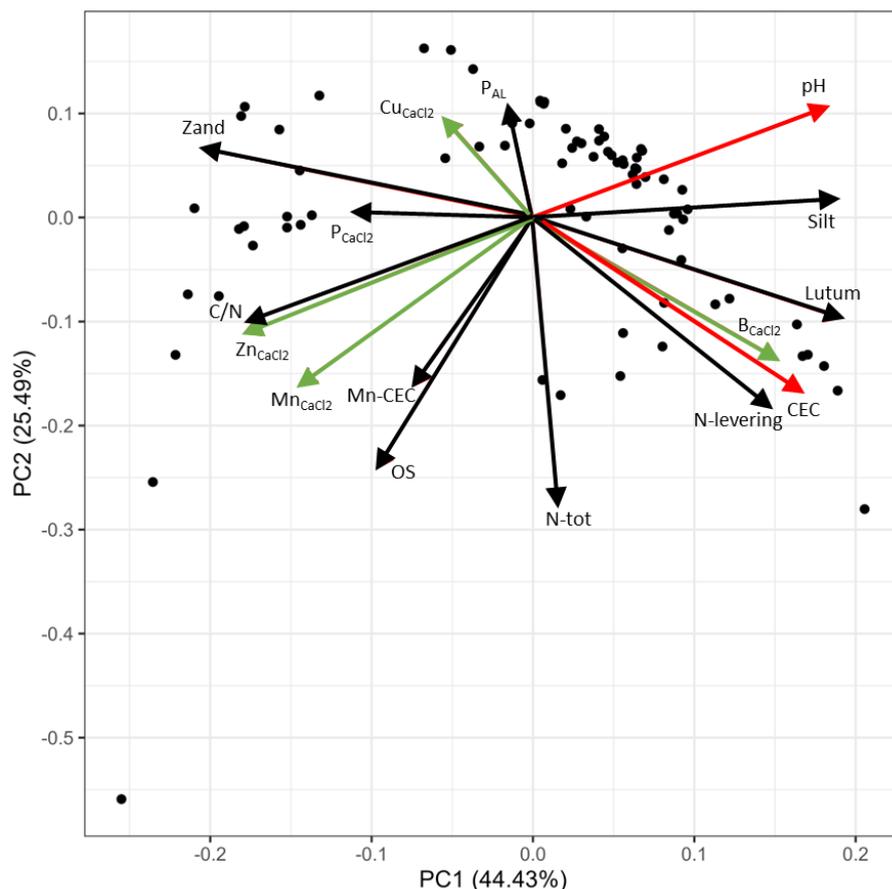
Hoe de aanvoer van micronutriënten via bemesting zich verhoudt tot de afvoer van micronutriënten via onttrekking door het gewas is belangrijk om in te schatten of extra bemesting van micronutriënten noodzakelijk is. Daarom is voor elk perceel de micronutriënten aanvoer met de afvoer vergeleken. De afvoer van micronutriënten is berekend door de hoeveelheid geoogst product te vermenigvuldigen met de droge stof waarde van het geoogst product en het micronutriëntgehalte per massa droge stof. Voor wintertarwe is aangenomen dat er naast afvoer van micronutriënten door oogsten van de korrel ook micronutriënten worden afgevoerd via stro. Hiervoor is aangenomen dat elke ton tarwe gepaard gaat met 0.4 ton stro. Voor de wintertarwe percelen komt dat overeen met  $4.2 \pm 0.6$  ton ha<sup>-1</sup>. Verder is aangenomen dat het droge stofgehalte en micronutriëntgehalte van het stro gelijk is aan het droge stofgehalte en micronutriëntgehalte van de korrel. In de analyse is onderscheid gemaakt in type bemesting (organische mest/kunstmest).

Gebruik makende van de micronutriëntbalansen op perceelniveau is voor elk gewas nagegaan wat er gemiddeld wordt aangevoerd en afgevoerd. Gebruik makende van deze gemiddelden is voor een rotatie van (poot of consumptie)aardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien de cumulatieve aanvoer en afvoer berekend. Hiermee kan worden ingeschat of de micronutriëntenbalans op rotatieniveau positief (aanvoer > afvoer) of negatief (aanvoer < afvoer) is.

# 3 Resultaten en Discussie

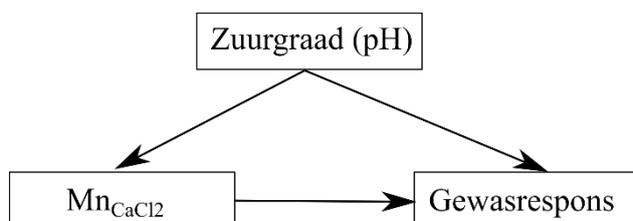
## Relaties tussen micronutriënten en bodemeigenschappen

Een principal component analyse (PCA) is uitgevoerd om gelijktijdig de mogelijke lineaire relaties tussen beschikbaarheid van verschillende micronutriënten en bodemparameters te tonen. De resultaten van de PCA bevestigen het beeld dat de pH het meest sturend is voor direct beschikbare gehalten van Zn en Mn, en dat de CEC het meest sturend is op de direct beschikbare gehalten van B en in mindere mate Cu (Figuur 3.1). De pH van de bodem is sterk negatief gecorreleerd met direct beschikbare gehalten van Mn en Zn (lange pijlen die recht tegenover elkaar staan). De CEC van de bodem is sterk positief gecorreleerd met het direct beschikbaar gehalte van B (lange pijlen die in dezelfde richting lopen) en zwak negatief gecorreleerd met het direct beschikbaar gehalte van Cu (peil van Cu is kort, peilen staan recht tegenover elkaar). Verder valt voor borium op dat er een groep is van variabelen die positief met elkaar correleren (lutum,  $B_{CaCl_2}$ , CEC en N-levering), waarmee zand sterk negatief correleert. Dit bevestigt dat de directe B-beschikbaarheid laag is in zandgronden.



Figuur 3.1 Bi-plot van de principal component analyse van de data van alle praktijkpercelen, waarbij de principal component scores van de individuele observaties tegen over elkaar zijn uitgezet. Het getal in procenten geeft aan hoeveel variatie de principal component verklaard van de totale variatie in de dataset. De pijlen geven de correlaties aan tussen de verschillende variabelen (factor loadings van variabelen op principal components). Het type correlatie is weergegeven in de directie van de pijlen (zelfde richting = positieve correlatie, tegenovergestelde richting = negatieve correlatie). De sterkte van de correlatie is aangegeven met de lengte van de pijl (lange pijlen = sterke correlatie, korte pijlen = zwakke correlatie).

De observatie dat diverse bodemeigenschappen sterk correleren met de directe beschikbaarheid van micronutriënten in de bodem heeft invloed op de duiding van de resultaten waar micronutriëntgehalten in de bodem worden vergeleken met gewasrespons. Als voorbeeld komt een hoger gehalte aan  $Mn_{CaCl_2}$  overeen met een lagere pH. Een positieve gewasrespons bij een hoger gehalte aan  $Mn_{CaCl_2}$  kan hierdoor niet volledig worden losgekoppeld van een effect van de pH of andere eigenschappen van de bodem. De pH van de bodem is bepalend voor de Mn-beschikbaarheid. Mn toevoegen aan de bodem zal de beschikbaarheid in de bodem niet verhogen wanneer de omstandigheden (zoals bv. pH) van de bodem die de Mn-beschikbaarheid bepalen gelijk blijven.



Figuur 3.2 Voorbeeld van de pH als een 'confounder' bij een analyse waar het direct beschikbaar mangaangehalte in de bodem wordt vergeleken met gewasrespons

Vanuit de theorie (Brinks, Rotterdam, & Houben, 2020) zijn met name de pH, CEC, organische stof en klei belangrijke bodemeigenschappen die de directe beschikbaarheid van micronutriënten beïnvloeden (ook terug te zien in de PCA, Figuur 3.1). Voor mangaan en zink wordt de directe beschikbaarheid met name beïnvloed door pH; er bestaat een significant exponentiële relatie tussen de pH en de direct beschikbare gehalten van mangaan ( $R^2 = 0.92$ ,  $Pr < 2.2 \cdot 10^{-16}$ ) en zink ( $R^2 = 0.86$ ,  $Pr < 2.2 \cdot 10^{-16}$ ) (Tabel 3-1). Voor het direct beschikbaar boriumgehalte in de bodem is een significant lineaire correlatie met de CEC geobserveerd ( $R^2 = 0.63$ ,  $Pr < 2.2 \cdot 10^{-16}$ ). Het direct beschikbaar kopergehalte in de bodem is minder beïnvloed door de pH, CEC, kleigehalte en organische stofgehalte. De geobserveerde correlatie is een lichte maar significante lineaire correlatie met de CEC ( $R^2 = 0.13$ ,  $Pr = 1.3 \cdot 10^{-3}$ ). In de volgende sectie (Sectie 3.1) wordt nader op de relaties tussen mangaan en zink met de pH en de relaties tussen borium en koper met zink ingegaan.

Tabel 3-1 Relatie tussen de zuurgraad (pH), klei-humus-complex (CEC), lutumgehalte en het organische stofgehalte met de direct beschikbare gehalten van borium, mangaan, koper en zink in de bodem als gemeten met een CaCl-extractie. De getallen refereren naar de verklaarde variatie ( $R^2$ ) en de Pr-waarde (getal tussen haakjes) van de lineaire correlatie. Per micronutriënt is een cel groen gemarkeerd bij de bodemeigenschap die het sterkst met het micronutriënt correleert.

| Micronutriënt | pH                              | CEC                             | Klei                            | OS                             |
|---------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Borium        | 0.15 ( $3.1 \cdot 10^{-4}$ )    | 0.63 ( $< 2.2 \cdot 10^{-16}$ ) | 0.60 ( $< 2.2 \cdot 10^{-16}$ ) | 0.00 (0.68)                    |
| Mangaan       | 0.92 ( $< 2.2 \cdot 10^{-16}$ ) | 0.04 (0.053)                    | 0.17 ( $9.9 \cdot 10^{-5}$ )    | 0.56 ( $5.3 \cdot 10^{-15}$ )  |
| Koper         | 0.00 (0.55)                     | 0.13 ( $1.3 \cdot 10^{-3}$ )    | 0.06 (0.015)                    | 0.03 (0.14)                    |
| Zink          | 0.86 ( $< 2.2 \cdot 10^{-16}$ ) | 0.15 ( $2.5 \cdot 10^{-4}$ )    | 0.32 ( $7.3 \cdot 10^{-8}$ )    | 0.41 ( $1.82 \cdot 10^{-10}$ ) |

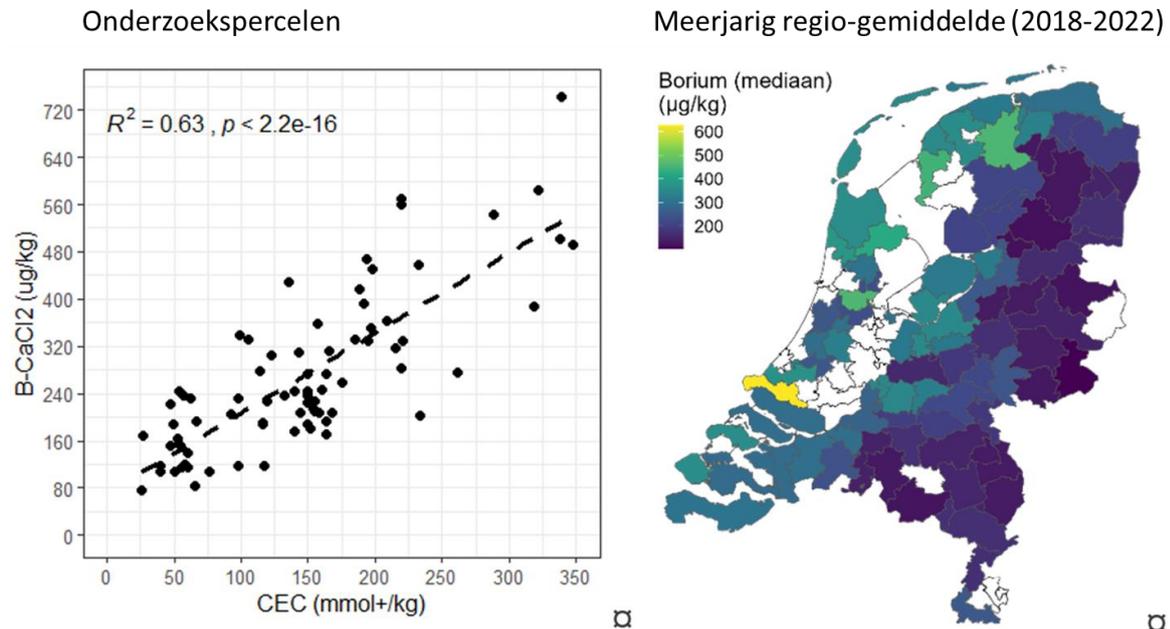
\*De relatie tussen het micronutriënt en de bodemeigenschap is exponentieel. De  $R^2$  en Pr-waarde refereren naar de resultaten van een exponentiële regressie.

### 3.1 Ruimtelijke variatie in de beschikbaarheid van micronutriënten

#### Borium

In de praktijkpercelen is een significante relatie tussen het klei-humuscomplex (CEC) en het beschikbaar boriumgehalte gevonden (Figuur 3.1 links). In de bodemdata van heel Nederland (postcode 2-schaal) worden er met name in het oosten lage waarden gevonden ten opzichte van het westen. Opvallend is dat in de praktijkmetingen een vrij hoge waarde, een gehalte van ruim 700  $\mu\text{g}/\text{kg}$  grond is gemeten.

Volgens een eerder onderzoek is borium neutraal (geen kation of anion) en daardoor zwak gebonden aan bodemdeeltjes als organische stof en klei. Door deze zwakke binding kan borium snel uitspoelen, met name op zand en dalgronden (Brinks, Rotterdam & Houben, 2020)

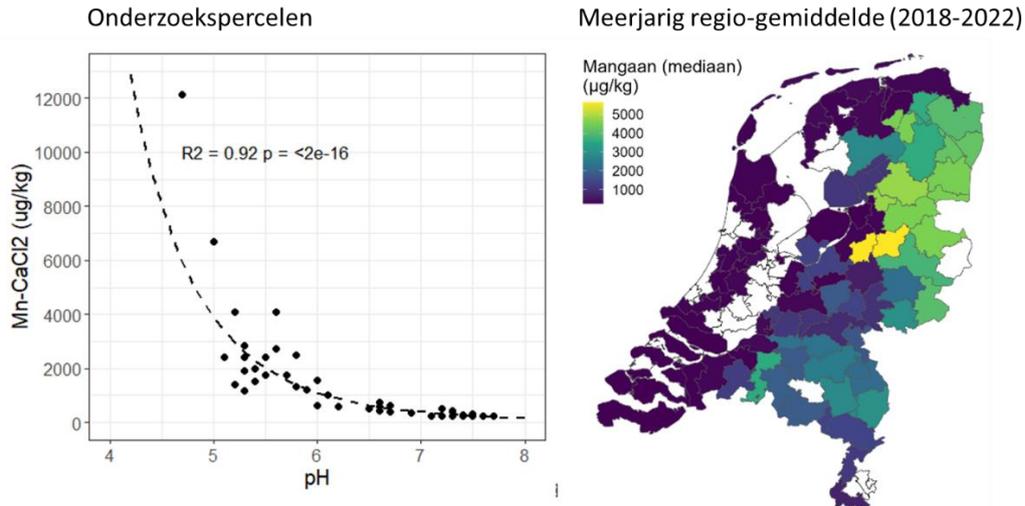


Figuur 3.3 Klei-humuscomplex (CEC) van de bodem uitgezet tegenover het direct beschikbaar boriumgehalte in de bodem van de praktijkpercelen (links) en de ruimtelijke verdeling van het direct beschikbare boriumgehalte (B-CaCl<sub>2</sub>) in de bodem op basis van langjarige (2018 tot en met 2022) gemiddelde data over Nederland, geaggregeerd op postcode2 niveau (rechts, bron Eurofins). Door de lagen B-binding is het risico op boriumuitspoeling op gronden met een lage CEC het grootst.

## Mangaan

In de praktijkdata bestaat een sterke relatie tussen de pH van de bodem en het direct beschikbare mangaangehalte in de bodem (Figuur 3.4, links). Het mangaangehalte in Nederland in de periode 2018 tot en met 2022 is in bodems in het westen laag en in het noordoosten hoog (Figuur 3.2, rechts). Opvallend zijn de vrij hoge mangaangehaltes in de praktijkdata, met meer dan 6000 µg Mn/kg grond, ten opzichte van de historische data. Beide hoge mangaan gehalten in Figuur 3.2 links hebben een sterk effect op de kromming van de curve. Bij een pH-waarde lager dan 6,5 is een grote spreiding in Mn-CaCl<sub>2</sub> mogelijk. De relatie tussen Mn-CaCl<sub>2</sub> en pH is conform literatuur en de basis van het huidige bemestingsadvies.

De beschikbaarheid van mangaan wordt sterk gestuurd door de pH van de bodem. Bij kalkhoudende bodems oxideert mangaan bij hoge redoxomstandigheden tot Mn (IV) en precipiteert mangaan tot niet direct beschikbare verbindingen (Brinks, Rotterdam, & Houben, 2020). Het risico op mangaangebrek is het hoogst op kalkrijke gronden met een hoge zuurgraad.

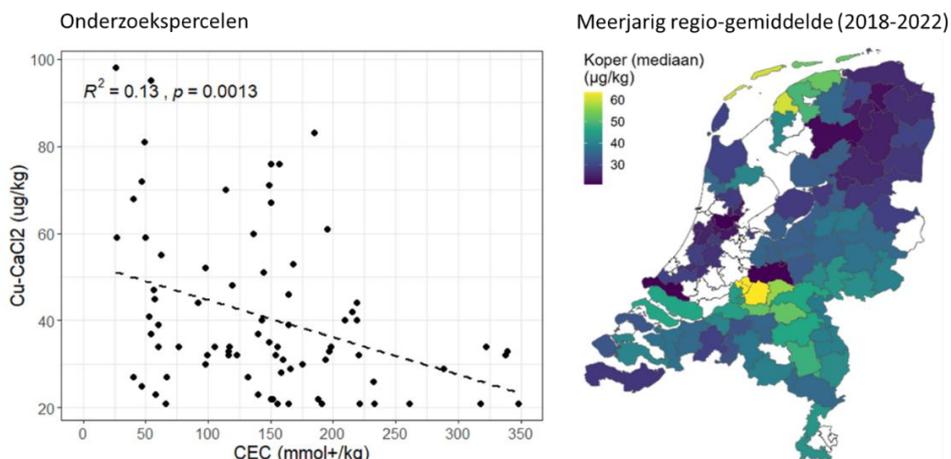


Figuur 3.4 PH van de bodem uitgezet tegenover het direct beschikbaar mangaangehalte in de bodem van de praktijkpercelen (links) en de ruimtelijke verdeling van het direct beschikbare mangaangehalte (Mn-CaCl<sub>2</sub>) in de bodem op basis van langjarige (2018 tot en met 2022) gemiddelde data over Nederland, geaggregeerd op postcode2 niveau (rechts, bron Eurofins).

### Koper

In de literatuur wordt de beschikbaarheid van koper voornamelijk gestuurd door organische stof, klei en Al- en Fe (hydr)-oxiden waar Cu aan adsorbeert en de pH van de bodem. Bij een toenemende pH wordt koper beter door bodemdeeltjes gebonden (Brinks, Rotterdam, & Houben, 2020).

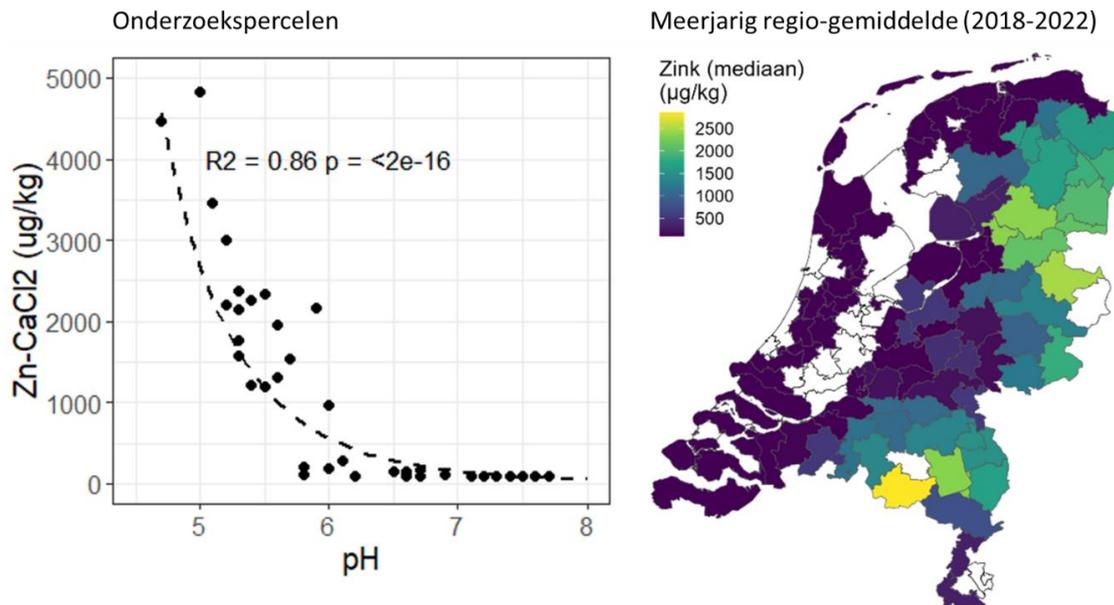
We vinden in de praktijkdata geen (sterke) relaties tussen Cu-CaCl<sub>2</sub> en algemene bodemkenmerken. Resultaten van het onderzoek in de praktijkpercelen tonen dat de koperbeschikbaarheid lager is bij een hoge CEC dan bij een lage CEC (Figuur 3.5, links). Het klei-humuscomplex wordt voornamelijk bepaald door organische stof en klei. Het regressiemodel verklaart echter weinig van de totale variatie in de direct beschikbare kopergehalten in de bodem ( $R^2 = 0,13$ , linker figuur in Figuur 3.5). Deze data laat geen relatie zien tussen Cu-CaCl<sub>2</sub> en pH. Ook in koper, net als borium en mangaan, zijn er een aantal hoge waarden gemeten (meer dan 60 µg Cu/kg grond) in de praktijkdata ten opzichte van de historische data. Verder is de ruimtelijke variatie in het direct beschikbare kopergehalte, op basis van langjarige gemiddelde data in Nederland, niet duidelijk gerelateerd aan grondsoortzones (rechterfiguur in Figuur 3.5).



Figuur 3.5 Klei-humuscomplex (CEC) van de bodem uitgezet tegenover het direct beschikbaar kopergehalte in de bodem van de praktijkpercelen (links) en de ruimtelijke verdeling van het direct beschikbare kopergehalte (Cu-CaCl<sub>2</sub>) in de bodem op basis van langjarige (2018 tot en met 2022) gemiddelde data over Nederland, geaggregeerd op postcode2 niveau (rechts, bron Eurofins).

## Zink

Zink wordt gebonden aan organische stof, metaal(hydr)oxiden en kleimineralen (Brinks, Rotterdam, & Houben, 2020). Net als bij mangaan wordt de directe beschikbaarheid van zink sterk gestuurd door de pH van de bodem. In overeenstemming met literatuur en de basis van het huidige bemestingsadvies is in de praktijkdata een significante relatie gevonden tussen de zuurgraad van de bodem en het direct beschikbare zinkgehalte in de bodem (linker figuur in Figuur 3.6). Uit de langjarige gemiddelde data blijkt dat net als voor mangaan de direct beschikbare zinkgehalten in kalkrijke gronden met een hoge pH dan ook laag zijn (rechter figuur in Figuur 3.6). In de praktijkdata worden er voor een aantal percelen hogere waarden gemeten, ten opzichte van het meerjarige gemiddelde. Bij een pH-waarde lager dan 6,5 is een grote spreiding in Zn-CaCl<sub>2</sub> mogelijk.



Figuur 3.6 PH van de bodem uitgezet tegenover het direct beschikbare zinkgehalte in de bodem van de praktijkpercelen (links) en de ruimtelijke verdeling van het direct beschikbare zinkgehalte (Zn-CaCl<sub>2</sub>) in de bodem op basis van langjarige (2018 tot en met 2022) gemiddelde data over Nederland, geaggregeerd op postcode2 niveau (rechts, bron Eurofins).

### 3.2 Spreiding micronutriëntgehalten percelen in vergelijking met regiogemiddelden

Om te onderzoeken of de voor dit onderzoek geselecteerde percelen representatief zijn voor de regio waar ze in gelegen zijn, is de spreiding van micronutriëntgehalten (bodem en gewas) op de percelen vergeleken met regiogemiddelden. Over het algemeen komen micronutriëntgehalten op de percelen overeen met de regio-gemiddelden, of zijn deze op de percelen lager dan de regiogemiddelden. Dit komt omdat in de selectie van de percelen gestuurd is op waar gebrek werd verwacht en niet op een representatief beeld van het gebied. Dit is bijvoorbeeld het geval voor direct beschikbare mangaangehalten in de bodem op de wintertarwe percelen. Naar verwachting liggen de percelen op kalkrijkere delen dan gemiddeld voor de regio, wat overeenkomt met een lagere directe beschikbaarheid van mangaan (Figuur 3.4). Een tabel met alle resultaten is opgenomen in Bijlage II.

### 3.3 Directe beschikbaarheid van micronutriënten in de bodem in relatie met gewasrespons

Voor het opstellen van een bemestingsadvies op basis van bodemonderzoek is het onder meer nodig dat er een relatie bestaat tussen het gemeten gehalte van het micronutriënt in de bodem en de

gewasrespons (kwaliteit en/of opbrengst). Per micronutriënt is nader onderzocht of er een relatie bestaat tussen enerzijds het micronutriëntgehalte in de bodem, als gemeten met calciumchloride, en anderzijds het gehalte van het micronutriënt in het gewas, gemeten als opbrengst en micronutriënten afvoer. Hier moet worden opgemerkt dat de opbrengst een schatting zijn is en geen meting. Voor de duiding van de resultaten is de spreiding van direct beschikbare micronutriëntgehalten in de bodem in Tabel 3-2 weergegeven. Aangezien er te weinig praktijkpercelen voor poot aardappelen (n=4) en zetmeelaardappelen (n=2) waren, worden de resultaten van deze percelen niet verder besproken.

Tabel 3-2 Spreiding in direct beschikbare micronutriëntgehalten in de bodem van de praktijkpercelen waar historische analysesresultaten en bemestingsgegevens zijn opgehaald

| Gewas                 | Datapunten (nr) | B <sub>CaCl2</sub> (µg kg <sup>-1</sup> ) | Mn <sub>CaCl2</sub> (µg kg <sup>-1</sup> ) | Cu <sub>CaCl2</sub> (µg kg <sup>-1</sup> ) | Zn <sub>CaCl2</sub> (µg kg <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------|-----------------|---|--|--|--|
| Consumptieaardappelen | 17              | 7 – 450                                   | 250 – 4070                                 | 27 – 98                                    | 100 – 2170                                 |
| Suikerbieten          | 20              | 117 – 560                                 | 250 – 12120                                | 22 – 68                                    | 100 – 4470                                 |
| Wintertarwe           | 18              | 117 – 743                                 | 250 – 1320                                 | 21 – 53                                    | 100 – 200                                  |
| Zaaiuien              | 22              | 107 – 392                                 | 250 – 4090                                 | 21 – 95                                    | 100 – 2450                                 |

Een visualisatie van alle relaties tussen het micronutriëntgehalte in de bodem en gewasrespons, is opgenomen in Bijlage III. Bijlage III toont ook per gewas een principal component analyse (PCA) waarin gelijktijdig de mogelijke lineaire relaties tussen gewasrespons en de beschikbaarheid van verschillende micronutriënten in de bodem en bodemparameters is getoond. Omdat de PCA per gewas is uitgevoerd is het aantal observaties relatief klein. Door de kleine subset zijn de relaties tussen bodemeigenschappen en directe beschikbaarheid kleiner dan beschreven in paragraaf 3.1. Daarnaast is de PCA gebaseerd op lineaire relaties terwijl bekend is dat gewassen non-lineair reageren. De belangrijkste relaties die uit deze PCA-analyse komen zijn in onderstaande paragrafen beschreven

## Borium

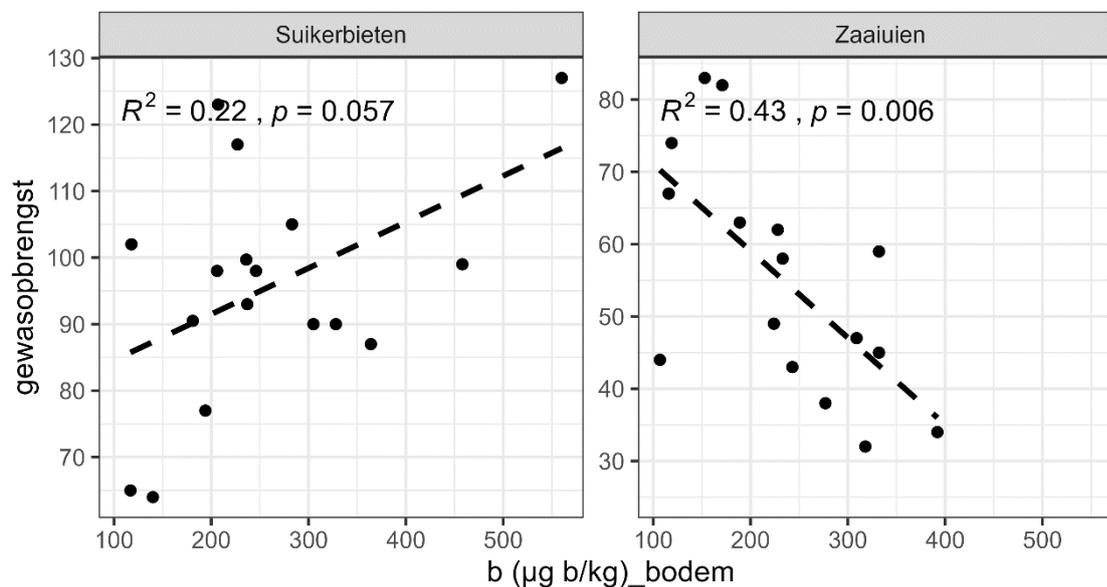
Voor borium laat de data alleen een relatie zien tussen het direct beschikbaar boriumgehalte in de bodem en de opbrengst van suikerbieten (trend) en zaaiuien (statistisch significant) (Tabel 3-3). Voor de overige gewassen is geen relatie tussen het direct beschikbaar boriumgehalte en gewasrespons waargenomen.

Tabel 3-3 P-waarden (overschrijdingskansen) van de lineaire correlatie tussen het direct beschikbaar boriumgehalte in de bodem (B<sub>CaCl2</sub>) en boriumgehalten in het blad, boriumgehalte in het geoogst product, gewasopbrengst en boriumafvoer voor consumptieaardappelen, poot aardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien. Trends (p < 0.1) zijn geel gemarkeerd, significante correlaties (p < 0.05) zijn groen gemarkeerd. Het aantal datapunten waar de regressie op is uitgevoerd is tussen haakjes weergegeven (n).

|                       | B-gehalte blad | B-gehalte geoogst product | Gewasopbrengst | B-afvoer    |
|-----------------------|----------------|---------------------------|----------------|-------------|
| Consumptieaardappelen | 0.18 (n=9)     | 0.83 (n=9)                | 0.59 (n=12)    | 0.37 (n=7)  |
| Suikerbieten          | 0.36 (n=15)    | 0.64 (n=15)               | 0.057 (n=17)   | 0.15 (n=14) |
| Wintertarwe           | 0.97 (n=18)    | 0.37 (n=18)               | 0.18 (n=14)    | 0.15 (n=14) |
| Zaaiuien              | 0.54 (n=16)    | 0.13 (n=12)               | 0.006 (n=16)   | 0.35 (n=11) |

Voor suikerbieten is de trend tussen het direct beschikbaar boriumgehalte in de bodem positief (links in Figuur 3.7). Dit is in lijn met de verwachting, i.e. als het boriumgehalte in de bodem limiterend is voor gewasopbrengst is er een positieve correlatie tussen het boriumgehalte in de bodem en gewasopbrengst te verwachten. Suikerbieten is in dit onderzoek het enige onderzochte gewas dat als boriumgevoelig is aangemerkt (handboekbodembemesting, 2023). Andere bodemeigenschappen kunnen echter ook verklarend zijn voor de gevonden relatie. Op de percelen waar suikerbieten zijn geteeld is namelijk ook een significant positieve correlatie geobserveerd tussen de pH van de bodem en het direct beschikbaar boriumgehalte in de bodem (p = 4.6 10<sup>-5</sup>). Vanuit de literatuur is bekend dat

suikerbieten beter groeien bij een hogere pH (Wilting, 2012). Het is daarom mogelijk dat de pH van de bodem een sterker effect heeft op de suikerbietenopbrengst dan het beschikbaar boriumgehalte. Ook zijn het kleigehalte en de CEC zijn positief gecorreleerd met het direct beschikbaar boriumgehalte in de bodem (Figuur 3.1), waardoor een hogere suikerbieten opbrengst bij een hoger beschikbaar boriumgehalte in de bodem ook toe te schrijven kunnen zijn aan betere opbrengsten op kleigronden in vergelijking met zandgronden.



Figuur 3.7 Het direct beschikbaar boriumgehalte in de bodem uitgezet tegenover de opbrengst van suikerbieten en zaaiuien. De gestippelde lijn correspondeert met de lineaire regressielijn.

In tegenstelling tot suikerbieten, is bij zaaiuien een negatieve correlatie met B-beschikbaarheid in de bodem geobserveerd (rechts in Figuur 3.7). Het is echter niet de verwachting dat zaaiuien worden gelimiteerd door een te hoog boriumgehalte. Op de percelen met zaaiuien is het direct beschikbaar boriumgehalte in de bodem gecorreleerd met het kleigehalte. De negatieve relatie tussen opbrengst van zaaiuien en borium beschikbaarheid kan dus ook geduid worden als een lagere opbrengst op kleigronden dan op zandgronden. Het is daarbij niet uit te sluiten dat op de kleigronden niet is berekend en op de zandgronden wel, wat geleid kan hebben tot de hogere opbrengsten op zandgronden.

In dit onderzoek wordt geconcludeerd dat voor suikerbieten een hoger gehalte aan direct beschikbaar borium in de bodem gepaard lijkt te gaan met een hogere opbrengst (trend  $p = 0.057$ ). Voor de andere onderzochte percelen is er geen duidelijke relatie tussen boriumgehalten in bodem en gewas. Wat betreft de suikerbieten kan echter niet worden uitgesloten dat deze observatie te verklaren is door aan het B-gehalte gerelateerde bodemeigenschappen zoals de pH, CEC en kleigehalte.

## Mangaan

Voor mangaan zijn voor de onderzochte percelen significante lineaire relaties gevonden tussen het direct beschikbaar mangaangehalte in de bodem en gewasrespons voor de gewassen consumptieaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien (Tabel 3-4). Bij suikerbieten is deze relatie echter vooral gebaseerd op één enkele uitschieter (Figuur 3.8).

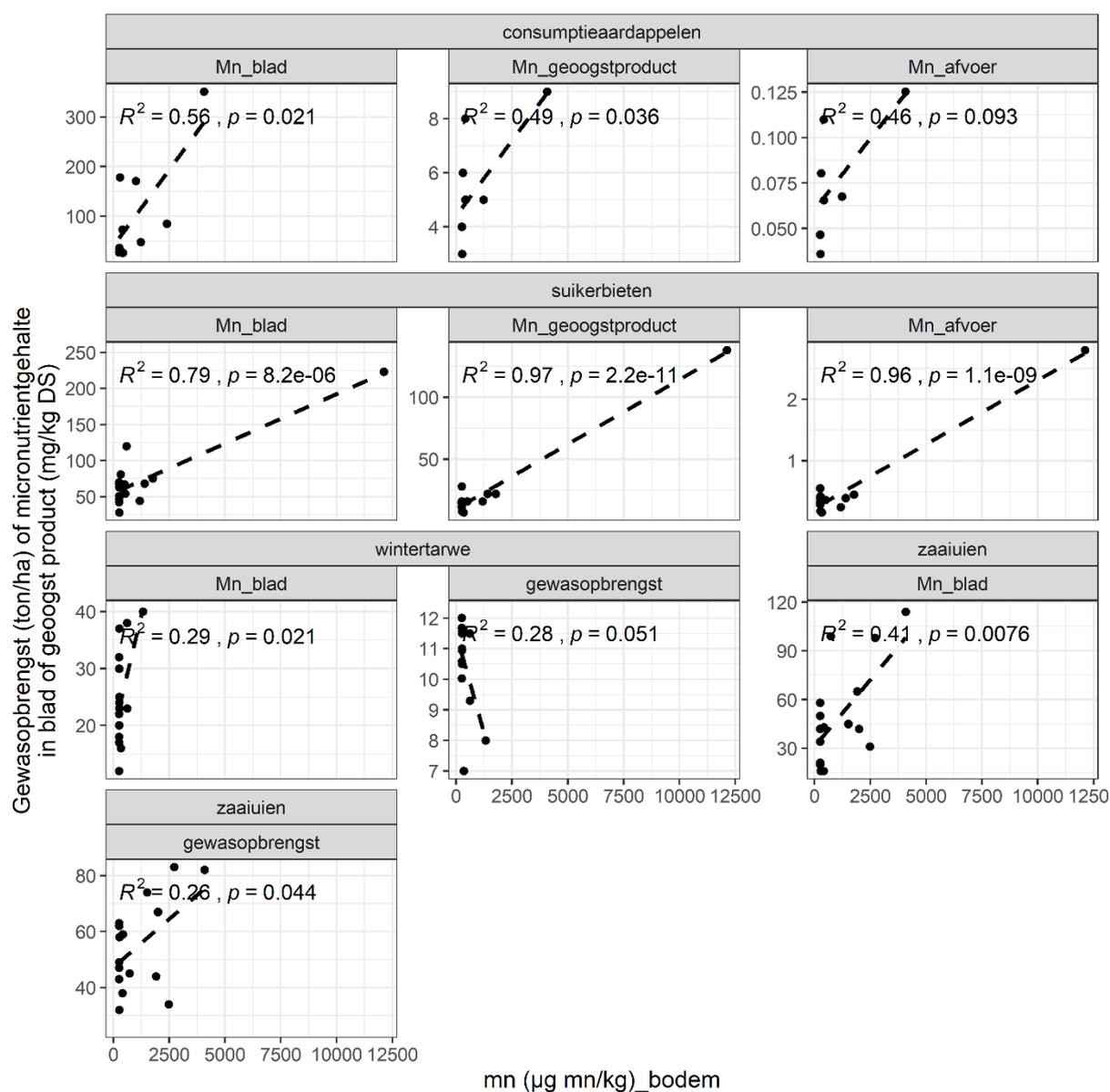
Bij alle gewassen zijn er percelen met een pH hoger dan 6 (Tabel 2-1) waardoor de directe beschikbaarheid van mangaan laag is (Figuur 3.4). De spreiding van mangaangehalten in het blad en geoogst product is groot op de percelen waar de mangaanbeschikbaarheid laag is. Deze variatie wordt veroorzaakt omdat dit onderzoek geen proef betreft maar een monitoring waarbij voor alle percelen de bemesting is uitgevoerd volgens standaard gebruik. Ook voor mangaan, gelijk aan borium, zijn er

gewassen die een positief en een negatieve trend of effect laten zien. Wintertarwe opbrengsten zijn negatief gecorreleerd (trend), terwijl uien een positieve trend laten zien.

Tabel 3-4 p-waarden (overschrijdingskansen) van de lineaire correlatie tussen het direct beschikbaar mangaangehalte in de bodem ( $Mn_{CaCl_2}$ ) en mangaangehalten in het blad, mangaangehalte in het geoogst product, gewasopbrengst en mangaanafvoer voor consumptieaardappelen, , suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien. Trends ( $p < 0.1$ ) zijn geel gemarkeerd, significante correlaties ( $p < 0.05$ ) zijn groen gemarkeerd. Het aantal datapunten waar de regressie op is uitgevoerd is tussen haakjes weergegeven (n).

|                       | Mn-gehalte blad            | Mn-gehalte geoogst product  | Gewas-opbrengst | Mn-afvoer                  |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------------|
| Consumptieaardappelen | 0.021 (n=9)                | 0.036 (n=9)                 | 0.67 (n=12)     | 0.093 (n=7)                |
| Suikerbieten          | $8.2 \cdot 10^{-6}$ (n=15) | $2.2 \cdot 10^{-11}$ (n=15) | 0.34 (n=17)     | $1.1 \cdot 10^{-9}$ (n=14) |
| Wintertarwe           | 0.021 (n=18)               | 0.82 (n=18)                 | 0.051 (n=14)    | 0.3 (n=14)                 |
| Zaaiuien              | 0.0076 (n=16)              | 0.82 (n=12)                 | 0.044 (n=16)    | 0.97 (n=11)                |

\* Deze significante relatie is vooral gebaseerd op één punt.



Figuur 3.8 Het direct beschikbaar mangaangehalte in de bodem ( $Mn-CaCl_2$ ) uitgezet tegen (i) het mangaangehalte in het blad, mangaangehalte in het geoogst product en mangaanafvoer van consumptieaardappelen en suikerbieten; en (ii) het mangaangehalte in het blad en opbrengst van wintertarwe en zaaiuien.

## Koper

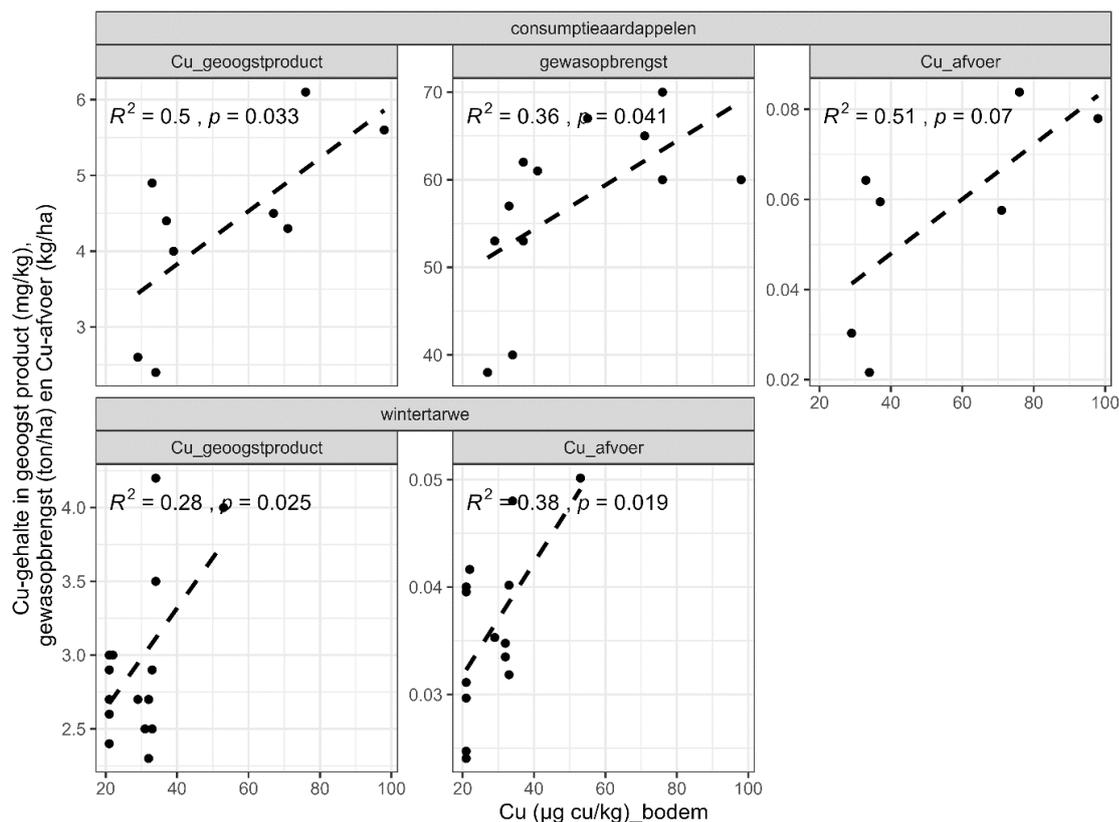
Voor koper zijn voor de onderzochte percelen significante lineaire relaties gevonden tussen het direct beschikbaar kopergehalte in de bodem en gewasrespons voor de gewassen consumptieaardappelen en wintertarwe (Tabel 3-5). Voor de overige gewassen is geen gewasrespons waargenomen.

Hoewel voor consumptieaardappelen een positieve correlatie is waargenomen tussen het direct beschikbaar kopergehalte in de bodem en het kopergehalte in het geoogst product en opbrengst, is aardappel geen koperbehoefstig gewas. Kopergebrek is dus niet te verwachten. De geobserveerde relatie tussen het kopergehalte in de bodem en aardappelopbrengst is waarschijnlijk te verklaren door een bodemeigenschap die beide beïnvloedt (zoals CEC, Figuur 3.5).

In tegenstelling tot aardappel is voor tarwe wel in het verleden kopergebrek waargenomen. Kopergebrek was vroeger vooral van belang bij granen op humusrijke podzolgronden, dalgronden, veengronden en andere gronden met een hoog gehalte aan organische stof en met een laag kopergehalte ( $Cu-HNO_3$ ) in de bodem (Brinks et al., 2020). De wintertarwe percelen in het huidig onderzoek liggen vooral op de kalkrijke kleigronden (Tabel 2-1), waar kopergebrek niet direct te verwachten is. Voor tarwe wordt geconcludeerd dat op kalkrijke kleigronden een hoger direct beschikbaar kopergehalte in de bodem leidt tot een hoger kopergehalte in het geoogst product. Dit sluit aan bij de op de praktijkpercelen aangetroffen (zwakke) relatie tussen CEC en beschikbaar Cu-gehalte.

Tabel 3-5 p-waarden (overschrijdingskansen) van de lineaire correlatie tussen het direct beschikbaar kopergehalte in de bodem ( $Cu_{CaCl_2}$ ) en kopergehalten in het blad, kopergehalte in het geoogst product, gewasopbrengst en koperafvoer voor consumptieaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien. Trends ( $p < 0.1$ ) zijn geel gemarkeerd, significante correlaties ( $p < 0.05$ ) zijn groen gemarkeerd. Het aantal datapunten waar de regressie op is uitgevoerd is tussen haakjes weergegeven (n).

|                       | Cu-gehalte blad | Cu-gehalte geoogst product | Gewas-opbrengst | Cu-afvoer    |
|-----------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|--------------|
| Consumptieaardappelen | 0.73 (n=9)      | 0.033 (n=9)                | 0.041 (n=12)    | 0.07 (n=7)   |
| Suikerbieten          | 0.36 (n=15)     | 0.51 (n=15)                | 0.16 (n=17)     | 0.71 (n=14)  |
| Wintertarwe           | 0.1 (n=18)      | 0.025 (n=18)               | 0.47 (n=14)     | 0.019 (n=14) |
| Zaaiuien              | 0.25 (n=16)     | 0.55 (n=12)                | 0.2 (n=16)      | 0.66 (n=11)  |



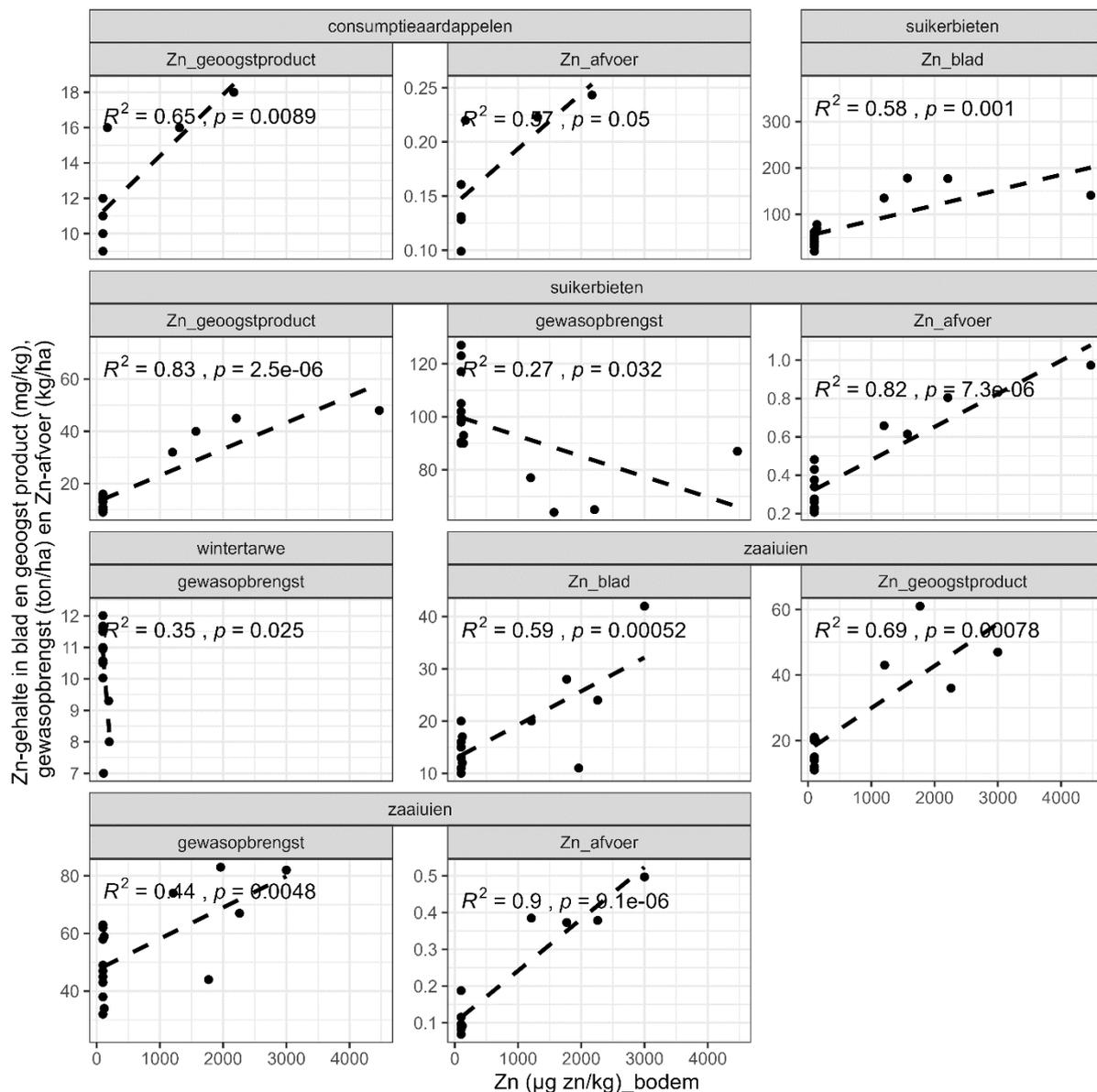
Figuur 3.9 Het direct beschikbaar kopergehalte in de bodem uitgezet tegenover het kopergehalte in het geogst product van consumptieaardappelen, gewasopbrengst van consumptieaardappelen en kopergehalte in het geogst product van wintertarwe. De zwarte lijn correspondeert met de lineaire regressielijn.

## Zink

Voor zink zijn voor de onderzochte percelen significante lineaire relaties gevonden tussen het direct beschikbaar zinkgehalte in de bodem en de gewasrespons voor de gewassen van consumptieaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien (Tabel 3-6). Voor zink geldt, net als voor mangaan, dat de directe beschikbaarheid sterk wordt beïnvloed door de pH van de bodem (Figuur 3.6). Net als voor mangaan geldt dat er bij een hoge pH een hoger risico lijkt te zijn op lagere zinkgehalten in het blad en geogst product. Ook bij zink is de spreiding in gewasrespons groot bij een lage zinkbeschikbaarheid.

Tabel 3-6 p-waarden (overschrijdingskansen) van de lineaire correlatie tussen het direct beschikbaar zinkgehalte in de bodem ( $Zn_{CaCl_2}$ ) en zinkgehalte in het blad, zinkgehalte in het geogst product, gewasopbrengst en zinkafvoer voor consumptieaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien. Trends ( $p < 0.1$ ) zijn geel gemarkeerd, significante correlaties ( $p < 0.05$ ) zijn groen gemarkeerd. Het aantal datapunten waar de regressie op is uitgevoerd is tussen haakjes weergegeven (n).

|                       | Zn-gehalte blad            | Zn-gehalte geogst product  | Gewas-opbrengst | Zn-afvoer                  |
|-----------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|
| Consumptieaardappelen | 0.26 (n=9)                 | 0.0089 (n=9)               | 0.4 (n=12)      | 0.05 (n=7)                 |
| Suikerbieten          | 0.001 (n=15)               | $2.5 \cdot 10^{-8}$ (n=15) | 0.032 (n=17)    | $7.3 \cdot 10^{-8}$ (n=14) |
| Wintertarwe           | 0.71 (n=18)                | 0.15 (n=18)                | 0.025 (n=14)    | 0.13 (n=14)                |
| Zaaiuien              | $5.2 \cdot 10^{-4}$ (n=16) | $7.8 \cdot 10^{-4}$ (n=12) | 0.0048 (n=16)   | $9.1 \cdot 10^{-8}$ (n=11) |



Figuur 3.10 Het direct beschikbare zinkgehalte in de bodem uitgezet tegenover het (i) zinkgehalte in het geogst product en zinkafvoer van consumptieaardappelen, (ii) zinkgehalten in het blad, zinkgehalten in het geogst product, opbrengst en zinkafvoer van suikerbieten en zaaiuien, en (iii) opbrengst van wintertarwe. De zwarte lijn correspondeert met de lineaire regressielijn.

### 3.4 Bemesting-gewas

Het gewas reageert op de combinatie van bodem en bemesting. Net als voor de bodemeigenschappen zijn ook relaties tussen gewasrespons en bemesting onderzocht voor de verschillende micronutriënten. Hierbij wordt aangenomen dat de uiteindelijke efficiëntie van de opname van het bemeste nutriënt 100% is. In de praktijk zal dat echter niet het geval zijn.

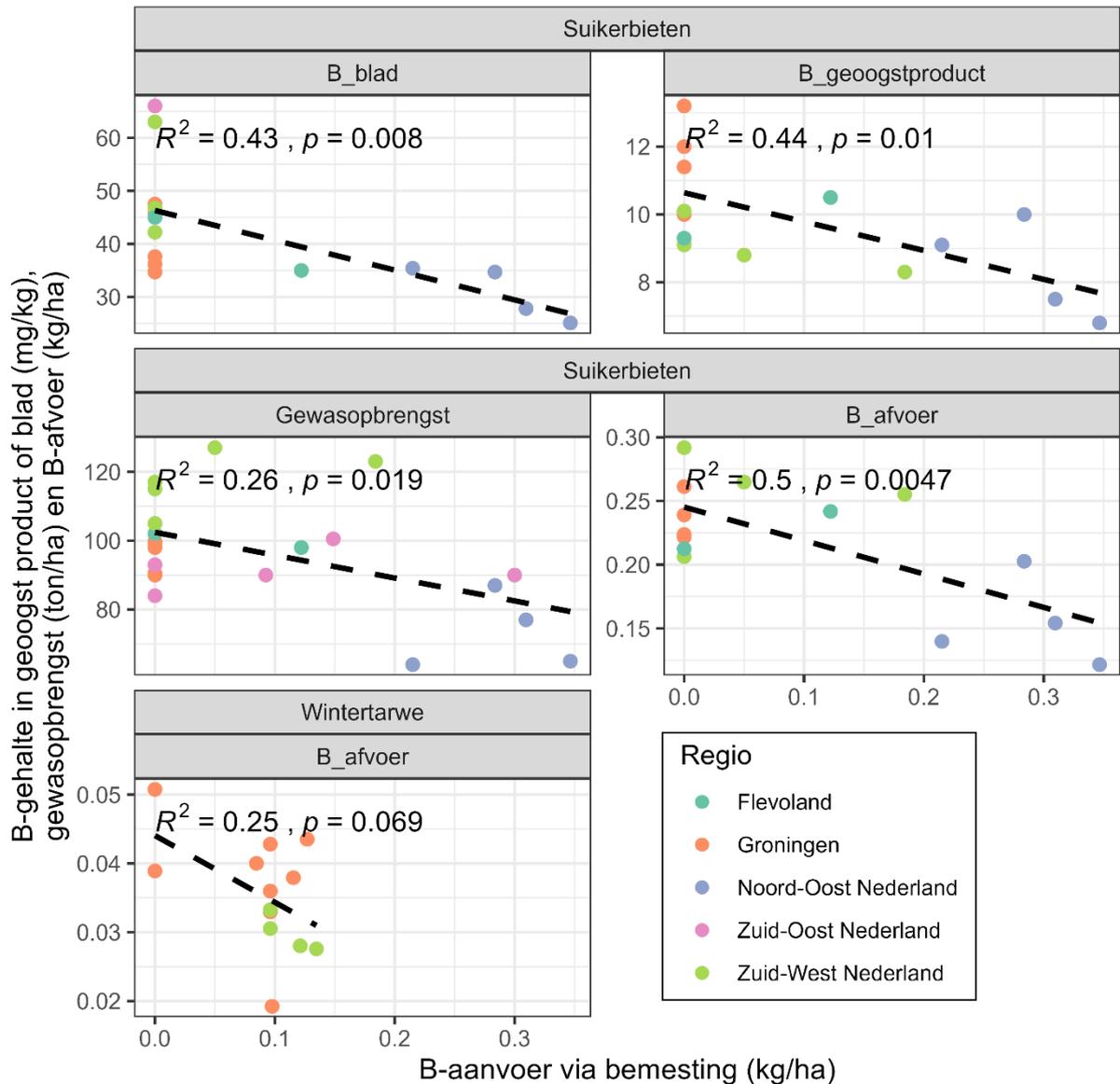
Net als voor de relatie tussen bodem en gewas is ook voor de relatie tussen bemesting en gewas in het merendeel van de micronutriënt – gewas relaties geen significante relatie gevonden. Echter, op veel percelen is er niet bemest met sporenelementen, wat het trekken van conclusies lastiger maakt. Ook moet worden opgemerkt dat de aanvoer van de micronutriënten een schatting is geweest, gelijk met de opbrengst. De micronutriëntgehalten in de bodem, blad en geogst product zijn metingen.

## Borium

Voor suikerbieten is in de onderzochte percelen een significante ( $p < 0.05$ ) relatie gevonden tussen B-bemesting en B-gehalte in het blad, opbrengst en B-afvoer. Bijzonder is echter dat de relatie negatief is: bij een hogere bemesting neemt het B-gehalte in het geoogst product, gewasopbrengst en B-afvoer af in plaats van toe. Dit betekent dat voor suikerbieten B-bemesting averechts lijkt te werken. Het is mogelijk dat dit wordt veroorzaakt doordat vaker op zandgronden is bemest. Over het algemeen is de boriumaanvoer het hoogst en de bietenopbrengst het laagst in Noordoost Nederland. Voor suikerbieten is gewasopbrengst, B-gehalte en B-afvoer vooral gerelateerd aan de textuur van de bodem; hoger op zwaardere kleibodems en lager op zandgronden (zie PCA-analyse bijlage III). Daarnaast is op slechts 7 van de 15 percelen is borium bemesting toegepast. De data aanwezig duiden dat B-bemesting of lagere B-onttrekking en opbrengsten op de lichtere zandgronden overcompenseert. Ook voor wintertarwe is de boriumafvoer negatief gerelateerd (trend) aan de bemesting. De praktijkpercelen met dit gewas liggen voornamelijk op kleigronden, waar een hoge CEC aanwezig is en waarop grond van eerder gepresenteerde data verwacht kan worden dat de borium beschikbaarheid hoog is. Suikerbieten krijgen veelal geen organische mest op kleigronden.

Tabel 3-7 p-waarden (overschrijdingskansen) van de lineaire correlatie tussen de totale boriumaanvoer via bemesting en boriumgehalte in het blad, boriumgehalte in het geoogst product, gewasopbrengst en boriumafvoer voor consumptieaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien. Trends ( $p < 0.1$ ) zijn geel gemarkeerd, significante correlaties ( $p < 0.05$ ) zijn groen gemarkeerd. Het aantal datapunten waar de regressie op is uitgevoerd is tussen haakjes weergegeven (n).

|                       | B-gehalte blad | B-gehalte geoogst product | Gewas-opbrengst | B-afvoer      |
|-----------------------|----------------|---------------------------|-----------------|---------------|
| Consumptieaardappelen | 0.79 (n=9)     | 0.39 (n=7)                | 0.9 (n=15)      | 0.92 (n=7)    |
| Suikerbieten          | 0.008 (n=15)   | 0.01 (n=14)               | 0.019 (n=21)    | 0.0047 (n=14) |
| Wintertarwe           | 0.25 (n=14)    | 0.22 (n=14)               | 0.48 (n=18)     | 0.069 (n=14)  |
| Zaaiuien              | 0.55 (n=15)    | 0.27 (n=11)               | 0.13 (n=19)     | 0.9 (n=11)    |



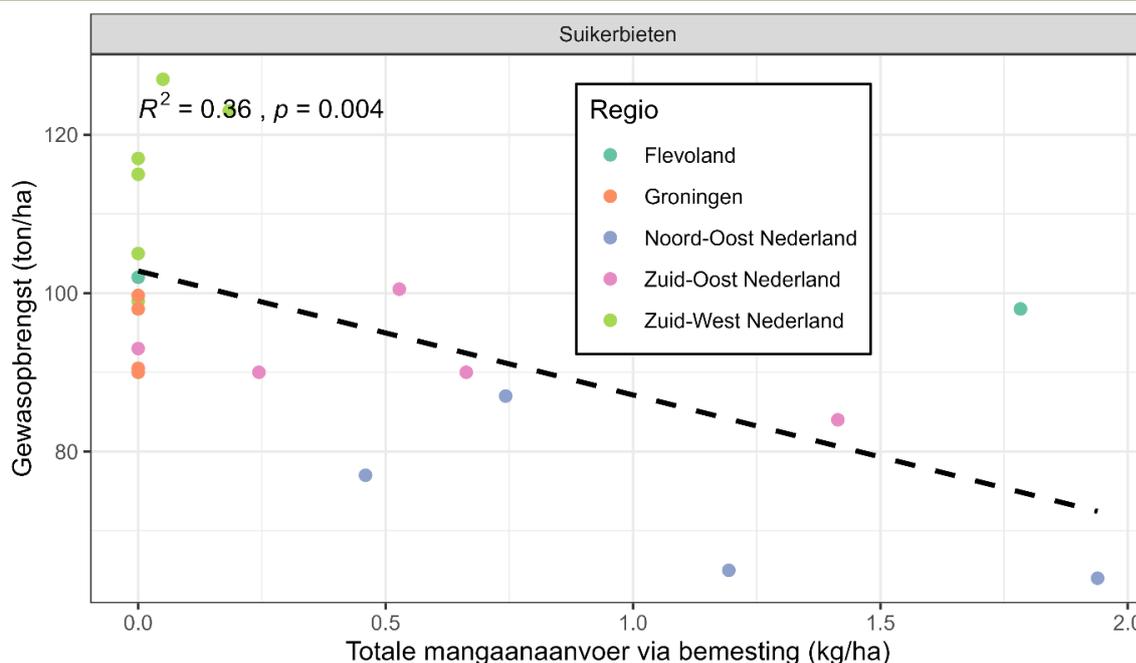
Figuur 3.11 Totale boriumaanvoer via bemesting uitgezet tegenover (i) het boriumgehalte in het blad, boriumgehalte in het geogst product, opbrengst en boriumafvoer van suikerbieten, en (ii) de boriumafvoer van wintertarwe. De zwarte lijnen corresponderen met lineaire regressielijnen. De kleur refereert naar de regio waarin het perceel gelegen is.

## Mangaan

De enige significante gewasrespons op Mn-bemesting is gevonden voor suikerbieten (Tabel 3-8). Net als voor borium is ook voor suikerbieten de respons in gewasopbrengst op Mn-bemesting negatief; zonder Mn-bemesting is de opbrengst het hoogst en deze neemt af bij hogere bemesting (Figuur 3.12). In de grafiek is duidelijk een effect te zien van textuur/CEC; gronden met een hogere CEC zijn niet bemest. De lagere suikerbietenopbrengsten in Noordoost en Zuidoost Nederland in vergelijking met de overige regio's impliceert dat de variatie in suikerbietenopbrengst met name wordt verklaard door grondsoort-verschillen en in niet door variatie in mangaanbemesting (vergelijkbaar met de resultaten voor Borium). Suikerbieten krijgen veelal geen organische mest op kleigronden.

Tabel 3-8 p-waarden (overschrijdingskansen) van de lineaire correlatie tussen de totale mangaanaanvoer via bemesting en mangaangehalte in het blad, mangaangehalte in het geoogst product, gewasopbrengst en mangaanafvoer voor consumptieaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien. Trends ( $p < 0.1$ ) zijn geel gemarkeerd, significante correlaties ( $p < 0.05$ ) zijn groen gemarkeerd. Het aantal datapunten waar de regressie op is uitgevoerd is tussen haakjes weergegeven (n).

|                       | Mn-gehalte blad | Mn-gehalte geoogst product | Gewas-opbrengst | Mn-afvoer   |
|-----------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|-------------|
| Consumptieaardappelen | 0.36 (n=9)      | 0.65 (n=7)                 | 0.41 (n=15)     | 0.65 (n=7)  |
| Suikerbieten          | 0.65 (n=15)     | 0.73 (n=14)                | 0.004 (n=21)    | 0.68 (n=14) |
| Wintertarwe           | 0.32 (n=14)     | 0.43 (n=14)                | 0.33 (n=18)     | 0.25 (n=14) |
| Zaaiuien              | 0.38 (n=15)     | 0.73 (n=11)                | 0.15 (n=19)     | 0.57 (n=11) |



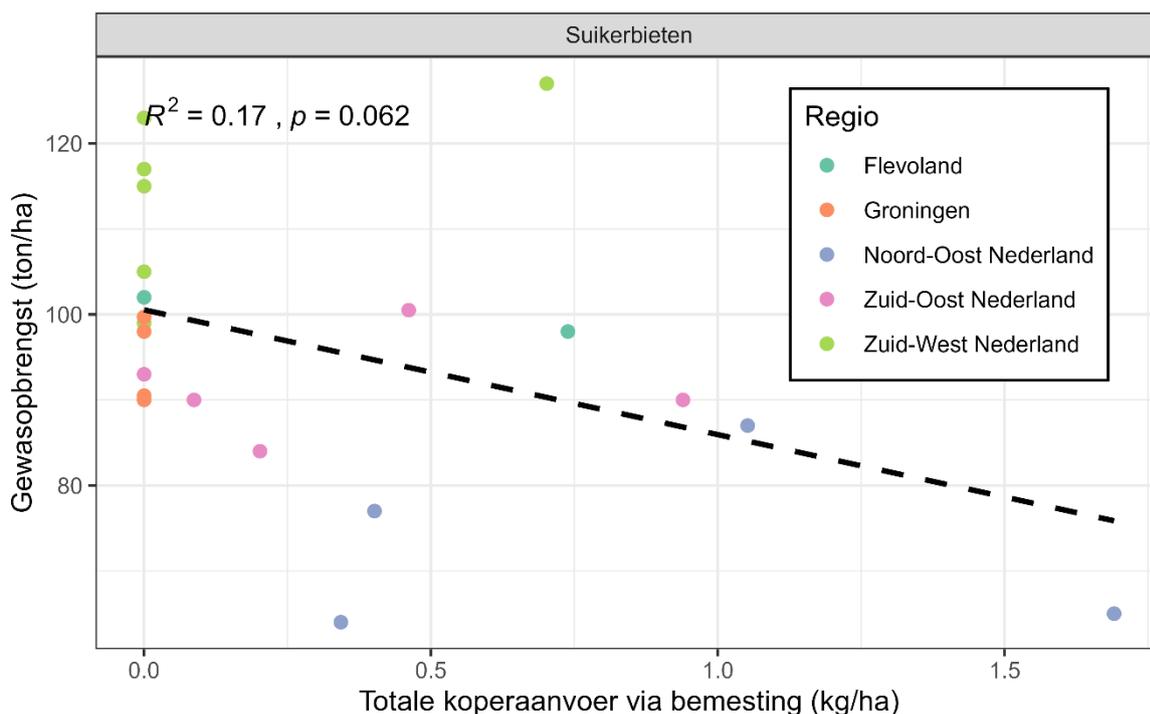
Figuur 3.12 Totale mangaanaanvoer via bemesting uitgezet tegenover de opbrengst van suikerbieten. De zwarte lijn correspondeert met de lineaire regressielijn. De kleur refereert naar de regio waarin het perceel gelegen is.

## Koper

Voor koper is geen significante relatie waargenomen op de onderzochte percelen tussen één van de onderzochte gewassen en de uitgevoerde Cu-bemesting ((Tabel 3-9). Voor suikerbieten is de negatieve trend tussen opbrengst en Cu-bemesting (Figuur 3.13) vergelijkbaar met de relatie tussen opbrengst en Mn-bemesting (Figuur 3.12). Suikerbieten krijgen veelal geen organische mest op kleigronden.

Tabel 3-9 p-waarden (overschrijdingskansen) van de lineaire correlatie tussen de totale koperaanvoer via bemesting en kopergehalte in het blad, kopergehalte in het geoogst product en gewasopbrengst voor consumptieaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien. Trends ( $p < 0.1$ ) zijn geel gemarkeerd, significante correlaties ( $p < 0.05$ ) zijn groen gemarkeerd. Het aantal datapunten waar de regressie op is uitgevoerd is tussen haakjes weergegeven (n).

|                       | Cu-gehalte blad | Cu-gehalte geoogst product | Gewas-opbrengst | Cu-afvoer   |
|-----------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|-------------|
| Consumptieaardappelen | 0.76 (n=9)      | 0.95 (n=7)                 | 0.6 (n=15)      | 0.96 (n=7)  |
| Suikerbieten          | 0.44 (n=15)     | 0.9 (n=14)                 | 0.062 (n=21)    | 0.78 (n=14) |
| Wintertarwe           | 0.78 (n=14)     | 0.72 (n=14)                | 0.14 (n=18)     | 0.46 (n=14) |
| Zaaiuien              | 0.68 (n=15)     | 0.96 (n=11)                | 0.18 (n=19)     | 0.88 (n=11) |



Figuur 3.13 Totale koperaanvoer via bemesting uitgezet tegenover de opbrengst van suikerbieten. De zwarte lijn correspondeert met een lineaire regressielijn. De kleur refereert naar de regio waarin het perceel gelegen is.

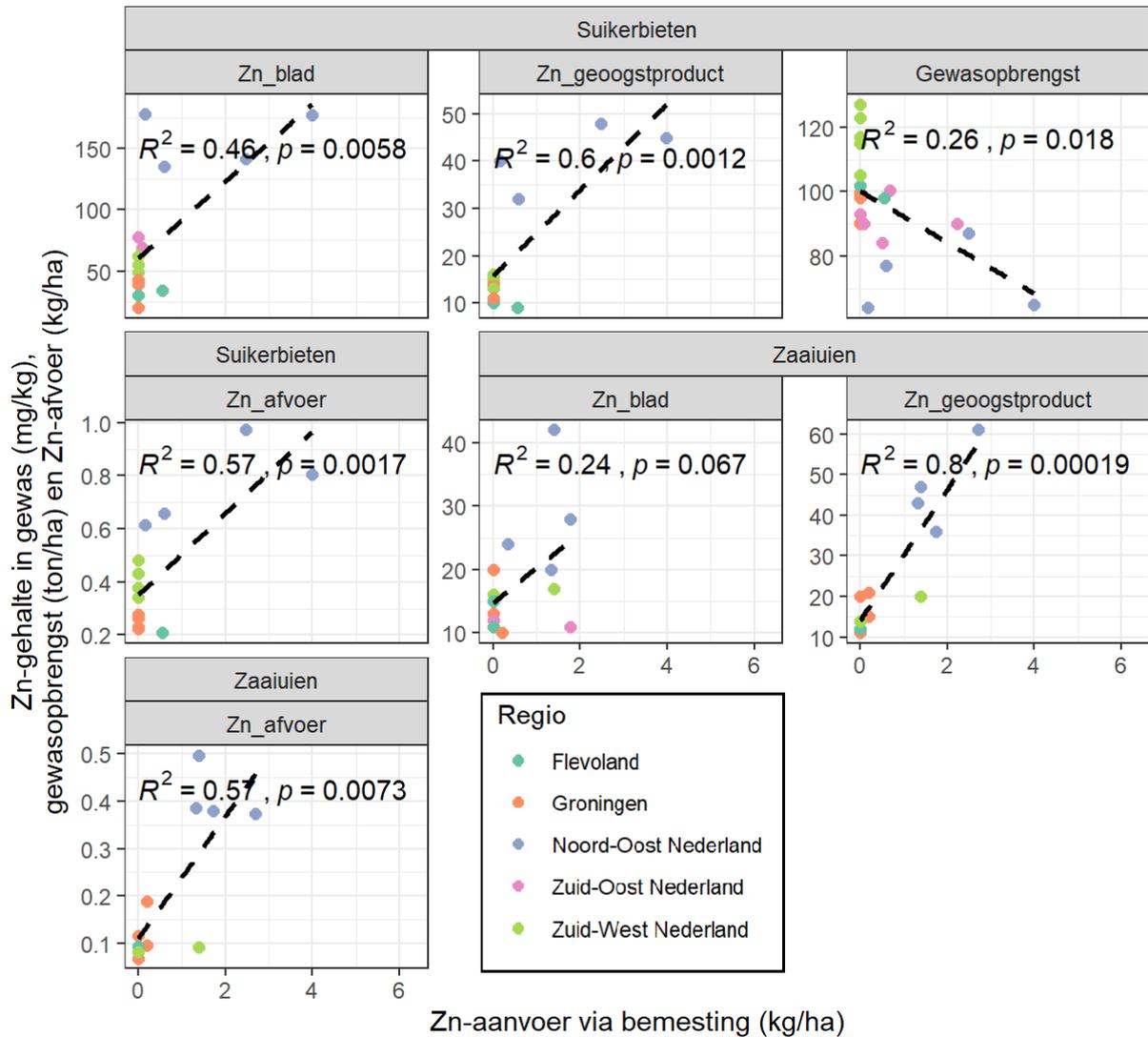
## Zink

Voor zink zijn voor zowel suikerbieten als voor zaaiuien significante relaties gevonden tussen gewas (Zn-gehalte, opbrengst en afvoer) en Zn-bemesting. Alleen voor suikerbieten is de relatie tussen opbrengst en Zn-bemesting negatief; opbrengst neemt af bij hogere bemesting. De Zn-gehalten in het blad, in het geoogste product en de Zn-afvoer van suikerbieten laten echter wel een positieve relatie zien tussen opname en bemesting. Zn-bemesting vond vooral plaats op percelen in Noordoost Nederland (n=7 van de totaal 14/15 percelen). Over het algemeen gaat bij suikerbieten een hogere opbrengst over het algemeen gepaard met lagere Zn gehalten in het blad en het geoogst product (verdunningseffect); echter de data van deze praktijkpercelen geven dit niet aan.

Voor zaaiuien neemt bij bemesting het Zn-gehalte in het blad licht toe (trend,  $p = 0,067$ ); ook nemen het Zn-gehalte in het geoogste product en de Zn-afvoer significant toe. Echter bemesting heeft vooral plaatsgevonden op percelen in Noord-Oost-Nederland, waar een lagere pH al zorgt voor een hogere beschikbaarheid van zink.

Tabel 3-10 p-waarden (overschrijdingskansen) van de lineaire correlatie tussen de totale zinkaanvoer via bemesting en zinkgehalte in het blad, zinkgehalte in het geoogst product, gewasopbrengst en zinkafvoer voor consumptieaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien. Trends ( $p < 0.1$ ) zijn geel gemarkeerd, significante correlaties ( $p < 0.05$ ) zijn groen gemarkeerd. Het aantal datapunten waar de regressie op is uitgevoerd is tussen haakjes weergegeven (n).

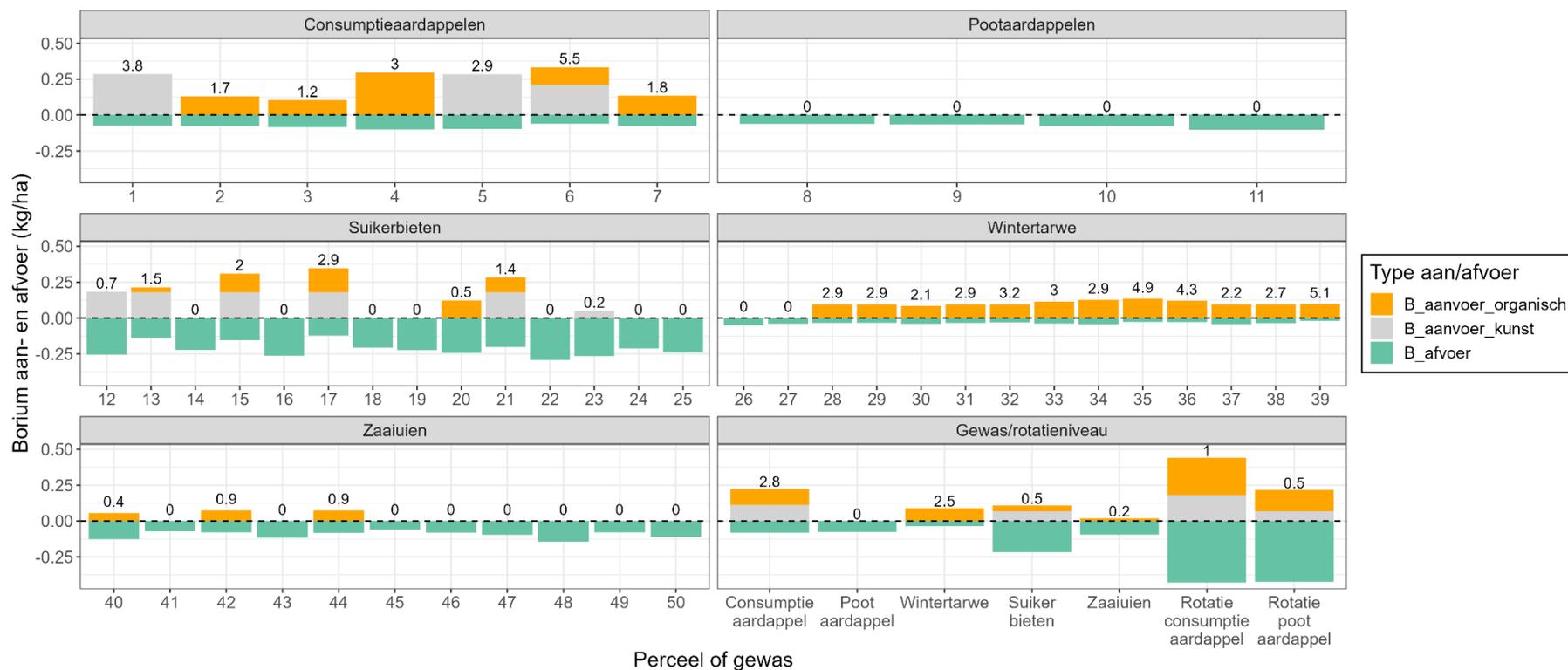
|                       | Zn-gehalte blad | Zn-gehalte geoogst product | Gewas-opbrengst | Zn-afvoer     |
|-----------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|---------------|
| Consumptieaardappelen | 0.62 (n=9)      | 0.93 (n=7)                 | 0.6 (n=15)      | 0.98 (n=7)    |
| Suikerbieten          | 0.0058 (n=15)   | 0.0012 (n=14)              | 0.018 (n=21)    | 0.0017 (n=14) |
| Wintertarwe           | 0.43 (n=14)     | 0.56 (n=14)                | 0.41 (n=18)     | 0.86 (n=14)   |
| Zaaiuien              | 0.067 (n=15)    | $1.9 \cdot 10^{-4}$ (n=11) | 0.14 (n=19)     | 0.0073 (n=11) |



Figuur 3.14 Totale zinkaanvoer via bemesting uitgezet tegenover (i) het zinkgehalte in het blad, zinkgehalte in geoogst product, opbrengst en zinkafvoer van suikerbieten, en (ii) het zinkgehalte in het blad, zinkgehalte in het geoogst product en zinkafvoer van zaaiuien. De zwarte lijnen corresponderen met lineaire regressielijnen. De kleur refereert naar de regio waarin het perceel gelegen is.

## 3.5 Balansen

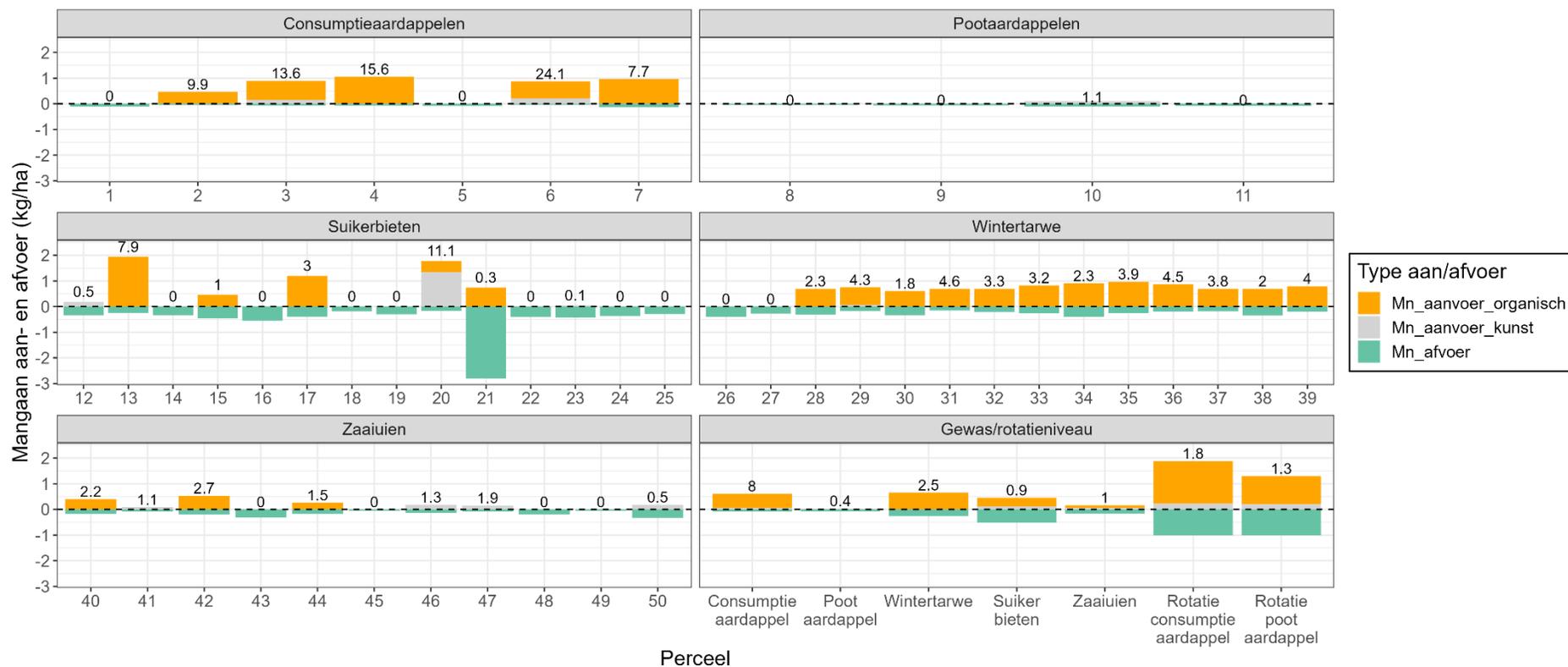
### Borium



Figuur 3.15 Boriumbalansen op perceelniveau, voor consumptieaardappelen, pootaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaauijen. De kleuren in de figuur verwijzen naar het type aan- en afvoer, waarbij onderscheid is gemaakt in aanvoer/afvoer en het type mest (organisch/kunst). Het getal boven de staaf geeft de ratio tussen aanvoer en afvoer weer (bijvoorbeeld: 2 = 2x meer aanvoer dan afvoer, indien aanvoer nul is, is ratio tussen aanvoer en afvoer gelijk nul). Gebruik makende van de gemiddelde aan- en afvoer per gewas is een voorbeeld weergegeven op rotatieniveau (consumptieaardappelen of pootaardappel in combinatie met wintertarwe, suikerbieten en zaauijen).

Bij de teelt van consumptieaardappelen en wintertarwe is de gemiddelde B-aanvoer 3x hoger dan de B-afvoer. Bij suikerbieten, zaaiuien en pootaardappelen is de afvoer van borium groter dan de aanvoer. Bij de rotatie met consumptieaardappelen is sprake van evenwichtsbemesting (boriumbalans van 0 kg ha<sup>-1</sup>), bij de rotatie met pootaardappelen is een licht negatieve boriumbalans van -0.2 kg ha<sup>-1</sup>. Bij de aanvoer via organische mest en kunstmest wordt uitgegaan van een opname efficiëntie van 100%.

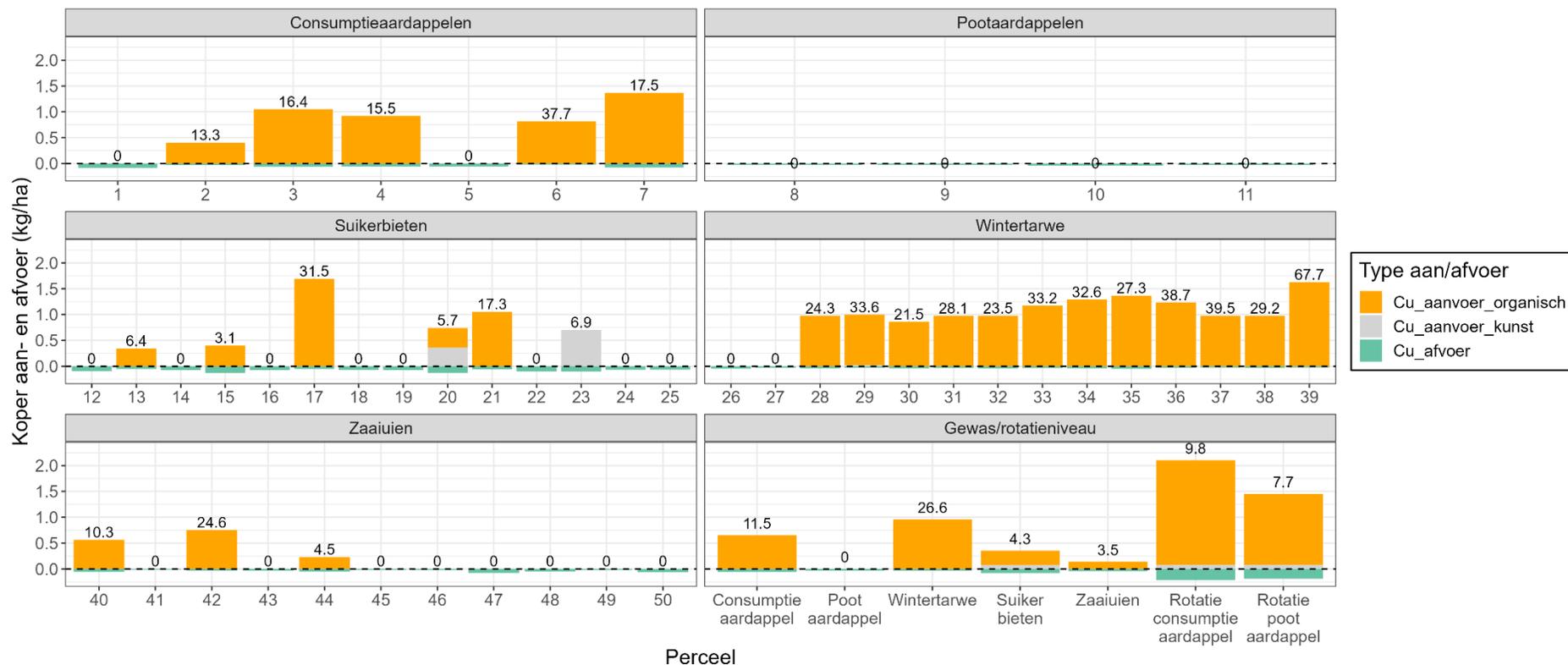
## Mangaan



Figuur 3.16 Mangaanbalansen op perceelniveau, voor consumptieaardappelen, pootaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien. De kleuren in de figuur verwijzen naar het type aan -en afvoer, waarbij onderscheid is gemaakt in aanvoer/afvoer en het type mest (organisch/kunst). Het getal boven de staaf geeft de ratio tussen aanvoer en afvoer weer (bijvoorbeeld: 2 = 2x meer aanvoer dan afvoer). Gebruik makende van de gemiddelde aan -en afvoer per gewas is een voorbeeld weergegeven op rotatieniveau (consumptieaardappelen of pootaardappel in combinatie met wintertarwe, suikerbieten en zaaiuien).

Bij de teelt van consumptieaardappelen en wintertarwe wordt gemiddeld meer mangaan aangevoerd dan afgevoerd. Bij zaaiuien en suikerbieten is de aanvoer (bijna) gelijk aan de afvoer. Bij de rotatie met consumptieaardappelen is de positieve mangaanbalans 0.9 kg ha<sup>-1</sup> en bij de rotatie met pootaardappelen is de positieve mangaanbalans 0.3 kg ha<sup>-1</sup> (aanvoer komt overeen met 1 tot 2 keer de afvoer). Bij de aanvoer via organische mest en kunstmest wordt uitgegaan van een opname efficiëntie van 100%.

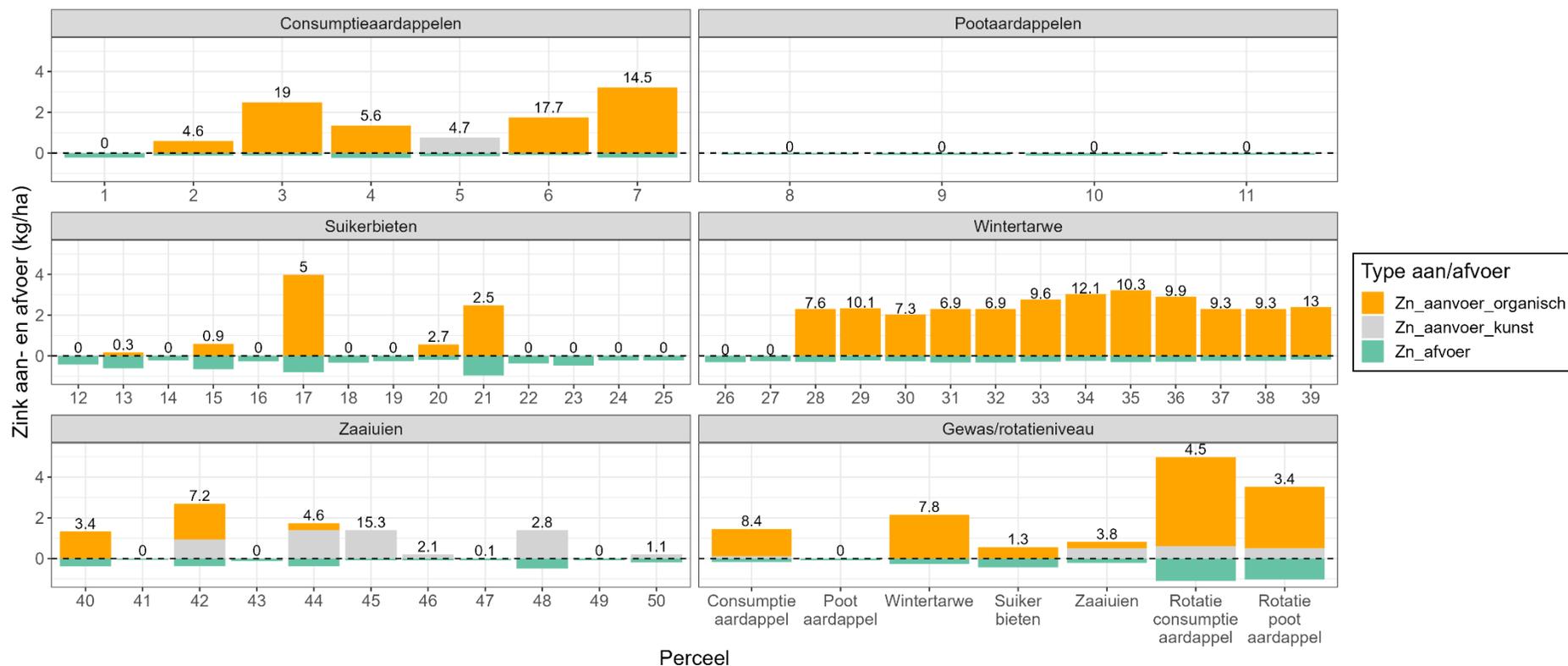
## Koper



Figuur 3.17 Koperbalansen op perceelniveau, voor consumptieaardappelen, pootaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien. De kleuren in de figuur verwijzen naar het type aan- en afvoer, waarbij onderscheid is gemaakt in aanvoer/afvoer en het type mest (organisch/kunst). Het getal boven de staaf geeft de ratio tussen aanvoer en afvoer weer (bijvoorbeeld: 2 = 2x meer aanvoer dan afvoer). Gebruik makende van de gemiddelde aan- en afvoer per gewas is een voorbeeld weergegeven op rotatieniveau (consumptieaardappelen of pootaardappel in combinatie met wintertarwe, suikerbieten en zaaiuien)

Bij de teelt van consumptieaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien wordt gemiddeld meer koper aangevoerd dan afgevoerd. Bij de rotatie met consumptieaardappelen is de positieve koperbalans 1.9 kg ha<sup>-1</sup>, bij de rotatie met pootaardappelen is de positieve koperbalans 1.3 kg ha<sup>-1</sup> en komt de aanvoer van Cu overeen met 8 tot 10 keer de afvoer. Bij de aanvoer via organische mest en kunstmest wordt uitgegaan van een opname efficiëntie van 100%.

## Zink



Figuur 3.18 Zinkbalansen op perceelniveau, voor consumptieaardappelen, pootaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien. De kleuren in de figuur verwijzen naar het type aan- en afvoer, waarbij onderscheid is gemaakt in aanvoer/afvoer en het type mest (organisch/kunst). Het getal boven de staaf geeft de ratio tussen aanvoer en afvoer weer (bijvoorbeeld: 2 = 2x meer aanvoer dan afvoer). Gebruik makende van de gemiddelde aan- en afvoer per gewas is een voorbeeld weergegeven op rotatieniveau (consumptieaardappelen of pootaardappel in combinatie met wintertarwe, suikerbieten en zaaiuien).

Bij de teelt van consumptieaardappelen, wintertarwe en zaaiuien wordt gemiddeld meer zink aangevoerd dan afgevoerd. Bij de rotatie met consumptieaardappelen is de positieve zinkbalans 3.9 kg ha<sup>-1</sup>, bij de rotatie met pootaardappelen is de positieve zinkbalans 2.5 kg ha<sup>-1</sup>. De aanvoer van Zn komt overeen met 3 tot 5 keer de afvoer. Bij de aanvoer via organische mest en kunstmest wordt uitgegaan van een opname efficiëntie van 100%.

## 4 Conclusies

Aanleiding voor het onderzoek was de conclusie uit een in 2019 uitgevoerde literatuurstudie naar de effecten van (blad)bemesting met sporenelementen. Conclusie van dat onderzoek was dat in de basis de adviezen nog actueel zijn maar dat de analysemethoden waar de adviezen in het handboek op zijn gebaseerd tegenwoordig niet of nauwelijks meer gebruikt worden. In dit onderzoek is bekeken of:

- de nieuwe methode, gebaseerd op extractie met 0.01M CaCl<sub>2</sub>, een goede basis is/toegevoegde waarde geeft voor het geven van adviezen voor borium, mangaan, zink en koper;
- er noodzaak is om het koperadvies aan te passen;
- er een noodzaak is om een advies voor zink te ontwikkelen;
- de adviezen en begeleidende teksten op [www.handboekbodemenbemesting.nl](http://www.handboekbodemenbemesting.nl) moeten worden aangepast.

Uit het onderzoek blijkt dat de directe beschikbaarheid van de sporenelementen B, Zn, Mn en Cu goed kunnen worden voorspeld met een 0.01M CaCl<sub>2</sub> extractie. De metingen laten een relatie zien met algemene bodemkenmerken waarvan uit de literatuur bekend is dat deze bodemkenmerken bepalend zijn voor de beschikbaarheid. De direct beschikbare van sporenelementen in de bodem zoals gemeten met een 0.01M CaCl<sub>2</sub> extractie zijn in dit onderzoek sterk gecorreleerd aan één of meerdere bodemeigenschappen. Daarnaast zijn er diverse relaties gevonden tussen direct beschikbare sporenelementen en het gehalte in blad en/of geoogst product.

In het praktijkonderzoek zijn micronutriëntgehalten in de bodem in enkele gevallen gerelateerd aan gewasopbrengst. Aandachtspunt hierbij is dat dit geen bemestingsproeven zijn en dat de bodemmetingen in het seizoen zijn gedaan en niet vooraf aan de teelt. Er zijn verschillende relaties gevonden tussen de aanvoer van micronutriënten en de gewasrespons. Hierbij moet worden opgemerkt dat er een schatting is gedaan met betrekking tot de hoeveelheid en de samenstelling van de aanvoer en er is een schatting gedaan van de gewasopbrengsten. In dit onderzoek zijn veel gewassen niet specifiek bemest met sporenelementen (aanvoer alleen via organische mest). In een standaard bouwplan met aardappelen (consumptie of pootgoed), suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien is op bouwplan niveau de aanvoer van Mn, Cu en Zn met (organische en minerale) bemesting hoger dan de afvoer met het gewas. Alleen voor B is gemiddeld de aanvoer in balans met de afvoer.

De directe beschikbaarheid van borium is goed te bepalen op basis van extractie met 0.01M CaCl<sub>2</sub>. De algemene bodemkenmerken CEC en in iets mindere mate kleigehalte zijn bepalend voor de beschikbaarheid van borium in de bodem. In suikerbieten gaf een hogere boriumbeschikbaarheid (klei) een hogere opbrengst maar een hogere bemesting (zand) juist een lagere opbrengst. Een hogere boriumbeschikbaarheid (klei) gaf een lagere opbrengst in uien. Dit laatste kan te maken hebben met waar wel (zand) of mogelijk niet (klei) is berekend.

De directe beschikbaarheid van mangaan is sterk gerelateerd aan pH. Voor mangaan zijn voor de onderzochte percelen significante lineaire relaties gevonden tussen het direct beschikbaar mangaangehalte in de bodem en gewasrespons (blad, geoogst product en afvoer) voor de gewassen consumptieaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien. De directe

beschikbaarheid van mangaan is laag bij  $pH > 6.0$ . De spreiding in gehalten in het gewas is groot op percelen met een hoge pH.

De directe beschikbaarheid van koper bleek minder sterk te relateren aan bodemeigenschappen en lijkt sterker beïnvloed door (historische) bemesting met organische mest. Er is voor de consumptieaardappelen een positieve correlatie waargenomen tussen het direct beschikbaar kopergehalte in de bodem en het kopergehalte in het geoogst product en opbrengst. Aardappel is geen koperbehoefstig gewas. De geobserveerde relatie tussen het kopergehalte in de bodem en aardappelopbrengst is waarschijnlijk te verklaren door een bodemeigenschap die beiden beïnvloedt, zoals CEC.

Voor zink zijn voor de onderzochte percelen significante lineaire relaties gevonden tussen het direct beschikbaar zinkgehalte in de bodem en de gewasrespons voor de gewassen consumptieaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien. Voor zink geldt, net als voor mangaan, dat de directe beschikbaarheid sterk wordt beïnvloed door de pH van de bodem.

Uit balansberekeningen, uitgevoerd op basis van de aanvoergegevens van de bemonsterde percelen blijkt dat de totale aanvoer van mangaan, zink en koper hoger is dan de afvoer via het geoogste product. Voor mangaan bedraagt de aanvoer 1,3 tot 1,8 keer de afvoer, voor zink 3 tot 5 keer en voor koper 8 tot 10 keer.

## 5 Concrete aanbeveling voor het Handboek Bodem en Bemesting:

De huidige bemestingsadviezen voor sporenelementen zijn gebaseerd op achterhaalde methodes. Voor elk sporenelement is in het verleden (begin vorige eeuw) een ander extractiemethode ontwikkeld. Door de onnauwkeurigheid van de toenmalige meetapparatuur moest deze extractiemethode ook relatief sterk zijn. Dit onderzoek bevestigt dat  $\text{CaCl}_2$  (0.01M), een goede basis is om de directe beschikbaarheid van de sporenelementen B, Mn, Zn en Cu in de bodem te meten; er is een goede relatie met bodemkenmerken waarvan bekend is dat deze bepalend zijn voor de beschikbaarheid en in praktijkproeven is in verschillende gewassen een relatie gevonden met gewasrespons.

Borium. Het huidige borium advies is gebaseerd op een bepaling waarbij 1 gewichtsdeel grond en 10 volumedelen water worden gemengd. Gedurende 10 minuten koken. Bepaling van B via atomaire emissie spectrometrie met inductief gekoppeld plasma (AES-ICP). Als tweede methode kan hier de bepaling op basis van 0,1M  $\text{CaCl}_2$  aan worden toegevoegd. In de toelichtende tekst moet deze methode dan ook worden opgenomen, inclusief de waarderingstabel gebaseerd op deze methode.

Koper. Het huidige koperadvies, op basis van extractie met 0,43 N  $\text{HNO}_3$  geldt slechts met enige zekerheid voor haver en tarwe. Deze extractiemethode is achterhaald en daarmee ook het advies.  $\text{CaCl}_2$  lijkt wel een goede methode om de directe beschikbaarheid van koper te meten in de bodem. De relatie met bodemkenmerken waarvan bekend is dat deze bepalend zijn voor de beschikbaarheid is beperkt, maar er is wel een relatie met aardappel gevonden. De sterk positieve balansberekeningen voor koper geven aan dat er geen aanleiding is om een gebrek te verwachten. De beschikbaarheid van de toegediende koper zou nader bepaald kunnen worden. De tekst in het handboek moet worden aangepast op basis van deze uitkomst.

Zink. De huidige tekst in het Handboek geeft aan: 'Zinkgebrek kan optreden op gronden met  $\text{pH} \geq 7$  met een hoog organische-stofgehalte. Een hoge fosfaattoestand en een hoge fosfaatgift bevorderen het optreden van een gebrek. Er is geen officieel, op basis van grondonderzoek, vastgesteld zinkbemestingsadvies beschikbaar. Zinkgebrek kan meestal worden verholpen door te spuiten met zinksulfaat of zink-chelaten'. De resultaten tonen aan dat zinkbemesting een verhogend effect had op het gehalte van het geogoste product en de afvoer bij zaaiuien en suikerbieten, maar niet op opbrengst. Met organische mest (huidige samenstelling) wordt meer dan voldoende zink aangevoerd om de afvoer te compenseren. Er kan een op grondonderzoek gebaseerd advies voor zink worden ontwikkeld, de noodzaak voor akkerbouwgewassen is echter niet groot.

Mangaan. Het mangaanadvies is naar aanleiding van het eerder uitgevoerde onderzoek (Brinks, H., Rotterdam, D. v., & Houben, S. (2020). Effecten van (blad)bemesting met sporenelementen. BO akkerbouw) reeds aangepast, de resultaten van het huidige project geven geen aanleiding om dit te herzien.

# Literatuur

Brinks, H., Rotterdam, D. v., & Houben, S. (2020). *Effecten van (blad)bemesting met sporenelementen*. BO akkerbouw.

handboekbodemenbemesting. (2023). *Borium*. Retrieved from handboekbodemenbemesting: [https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Bemesting/Sporenelementen/Borium.htm#:~:text=Boriumgebrek%20komt%20vooral%20voor%20op,bekalking\)%20in%20combinatie%20met%20droogte](https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Bemesting/Sporenelementen/Borium.htm#:~:text=Boriumgebrek%20komt%20vooral%20voor%20op,bekalking)%20in%20combinatie%20met%20droogte).

Wilting, P. (2012). Bietenopbrengst blijft achter bij lage pH. *COSUN magazine*.

# Bijlage I Aangenomen mestsamenstelling

Tabel S1-1 Aangenomen micronutriëntgehalten van de typen mest die op de percelen zijn toegepast

| Mesttype                        | organisch/<br>kunst | B<br>gehalte | Cu<br>gehalte | Mn<br>gehalte | Zn<br>gehalte | Eenhei<br>d |
|---------------------------------|---------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|-------------|
| 16-0-30                         | kunst               | 0            | 0             | 0             | 0             | %           |
| 16-0-32                         | kunst               | 0            | 0             | 0             | 0             | %           |
| 18-46-0                         | kunst               | 0            | 0             | 0             | 0             | %           |
| 26-14                           | kunst               | 0            | 0             | 0             | 0             | %           |
| Anasol                          | kunst               | 0            | 0             | 0             | 0             | %           |
| Anasol 15%                      | kunst               | 0            | 0             | 0             | 0             | %           |
| Ankal                           | kunst               | 0            | 0             | 0             | 0             | %           |
| APP 10-34                       | kunst               | 0            | 0             | 0             | 0             | %           |
| Bietenzout                      | kunst               | 0.06         | 0             | 0             | 0             | %           |
| Bortrac 150                     | kunst               | 10.9         | 0             | 0             | 0             | %           |
| Calcedera                       | kunst               | 0.1          | 0             | 0             | 0             | %           |
| Combitop                        | kunst               | 0            | 1             | 3             | 2             | %           |
| Digestaat                       | organisch           | 0.0037       | 0.037572      | 0.026523      | 0.088536      | kg/ton      |
| Digestaat<br>(voornamelijk VDM) | organisch           | 0.0037       | 0.037572      | 0.026523      | 0.088536      | kg/ton      |
| Easystart                       | kunst               | 0            | 0             | 0.7           | 0.8           | %           |
| Efficie-n-t 28                  | kunst               | 0            | 0             | 0             | 0             | %           |
| Epso Microtop                   | kunst               | 1            | 0             | 1             | 0             | %           |
| EpsoMicrotop                    | kunst               | 0.01         | 0             | 0.01          | 0             | %           |
| Exacote                         | kunst               | 0            | 0             | 0             | 0             | %           |
| Florakal                        | kunst               | 0            | 0             | 0             | 0             | %           |
| Foliplus Koper                  | kunst               | 0            | 0.435         | 0             | 0             | kg/l        |
| Gramitrel                       | kunst               | 0            | 3             | 9.1           | 4.9           | %           |
| Hu-man 15                       | kunst               | 0            | 0             | 150           | 10            | g/l         |
| Hydro-kalk                      | kunst               | 0            | 0             | 0             | 0             | %           |
| K60                             | kunst               | 0            | 0             | 0             | 0             | %           |
| Kali 60                         | kunst               | 0            | 0             | 0             | 0             | %           |
| Kali60                          | kunst               | 0            | 0             | 0             | 0             | %           |
| Kali-60                         | kunst               | 0            | 0             | 0             | 0             | %           |
| Kalisulfaat                     | kunst               | 0            | 0             | 0             | 0             | %           |
| Kaliumsulfaat                   | kunst               | 0            | 0             | 0             | 0             | %           |
| Kalveren mest                   | organisch           | 0.00016      | 0.0027        | 0.013192      | 0.00396       | kg/ton      |
| Kalverenmest                    | organisch           | 0.00016      | 0.0027        | 0.013192      | 0.00396       | kg/ton      |
| KAS                             | kunst               | 0            | 0             | 0             | 0             | %           |
| Kas 27%                         | kunst               | 0            | 0             | 0             | 0             | %           |
| Kas Nutramon                    | kunst               | 0            | 0             | 0             | 0             | %           |

|  |           |         |          |          |          |        |
|--|-----------|---------|----------|----------|----------|--------|
| KAS Sulfan                             | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| Limkal                                 | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| Mengmest<br>(voornamelijk VDM)         | organisch | 0.0037  | 0.037572 | 0.026523 | 0.088536 | kg/ton |
| mengsel<br>(30 rundvee , 40<br>zeugen) | organisch | 0.0037  | 0.037572 | 0.026523 | 0.088536 | kg/ton |
| Mest silo                              | organisch | 0.0037  | 0.037572 | 0.026523 | 0.088536 | kg/ton |
| NK 16-30                               | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| NK16+30                                | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| NK16-30                                | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| NP18-46                                | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| NTS (27-3)                             | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| NTS 23%                                | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| NTS 23%                                | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| NTS 27 N                               | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| NTS 27%                                | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| NTS 27N                                | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| NTS 29%                                | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| NTS APP                                | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| NTS27-3                                | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| N-xt Fertiphos                         | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| N-xt N 18                              | kunst     | 0       | 0        | 4        | 0        | g/l    |
| Paardenmest                            | organisch | 0.00232 | 0.038745 | 0.027216 | 0.056826 | kg/ton |
| patent kali                            | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| Patent kali 30%                        | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| Patentkali                             | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| P-Focus                                | kunst     | 0       | 0        | 0.05     | 0.05     | %      |
| Physiostart                            | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| Polyfeed duetto                        | kunst     | 0.035   | 0.07     | 0.2      | 0.07     | %      |
| Polysulfaat                            | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| Polysulphate                           | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| Power leaf Borium                      | kunst     | 11      | 0        | 0        | 0        | %      |
| Powerleaf Borium                       | kunst     | 11      | 0        | 0        | 0        | %      |
| Powerleaf Koper                        | kunst     | 0       | 24.2     | 0        | 0        | %      |
| Powerleaf Quattro<br>Plus / 610        | kunst     | 0       | 0        | 0.3      | 0        | %      |
| Powerleaf Quattro<br>Plus / 610        | kunst     | 0       | 0        | 0.3      | 0        | %      |
| Powerleaf Quattro<br>Plus /610         | kunst     | 0       | 0        | 0.3      | 0        | %      |
| Powerleaf Stikstof                     | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| Powerstart                             | kunst     | 0       | 0        | 0        | 3.1      | %      |
| Powerstart Flores                      | kunst     | 0       | 0        | 0        | 3.1      | %      |
| Powerstart Granada                     | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0.7      | %      |

|                                  |           |         |          |          |          |        |
|----------------------------------|-----------|---------|----------|----------|----------|--------|
| Powerstart Granada 470 Granulaat | kunst     | 0       | 0        | 2        | 0.7      | %      |
| RVDM                             | organisch | 0.0037  | 0.011475 | 0.013127 | 0.01683  | kg/ton |
| RVM Clevering                    | organisch | 0.0037  | 0.011475 | 0.013127 | 0.01683  | kg/ton |
| SKM                              | organisch | 0.005   | 0.049    | 0.277    | 0.023    | kg/ton |
| Top mix Bieten                   | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| Tripelsuper 45%                  | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| Urean                            | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| Urean 30 N                       | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| Urean 30N                        | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| Ureum                            | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| Ureum opl. 18 4%                 | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| Ureum46                          | kunst     | 0       | 0        | 0        | 0        | %      |
| VDM                              | organisch | 0.0037  | 0.037572 | 0.026523 | 0.088536 | kg/ton |
| VDM/RDVM                         | organisch | 0.0037  | 0.024523 | 0.019825 | 0.052683 | kg/ton |
| VitaloSol Gold                   | kunst     | 0       | 40       | 150      | 0        | g/l    |
| Vleeskalveren mest               | organisch | 0.00162 | 0.027    | 0.013192 | 0.0396   | kg/ton |
| Zeugenmest dunne                 | organisch | 0       | 0.004    | 0.028    | 0.01     | kg/ton |
| Zink Agro-Vital                  | kunst     | 0       | 0        | 0        | 700      | g/l    |

Tabel S1-2 Aangenomen dichtheden van de mesttypen waar een dichtheidsgetal voor nodig was om de bemeste hoeveelheid om te rekenen van kuubs of liter per hectare naar kg per hectare

| Mesttype                        | Dichtheid | Eenheid |
|---------------------------------|-----------|---------|
| App 10-34                       | 1.4       | kg/l    |
| Digestaat                       | 1040      | kg/m3   |
| Digestaat (voornamelijk VDM)    | 1040      | kg/m3   |
| Mengmest (voornamelijk VDM)     | 1040      | kg/m3   |
| mengsel (30 rundvee, 40 zeugen) | 1022.5    | kg/m3   |
| Powerleaf Borium                | 1.36      | kg/l    |
| Powerstart                      | 1.5       | kg/l    |
| RVDM                            | 1005      | kg/m3   |
| VDM                             | 1040      | kg/m3   |
| VDM/RDVM                        | 1022.5    | kg/m3   |
| Vleeskalveren mest              | 1005      | kg/m3   |

# Bijlage II Vergelijking met regio gemiddelden

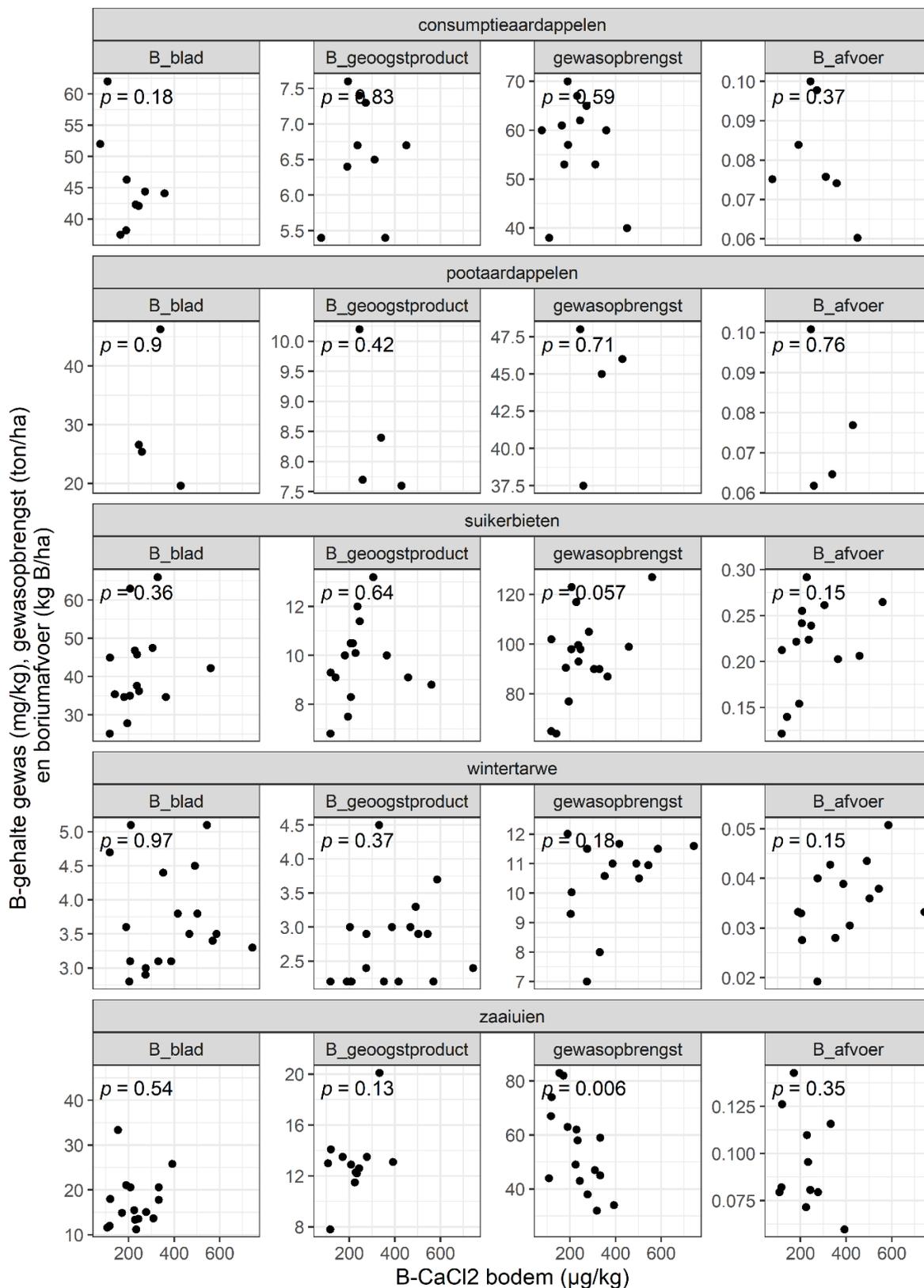
Tabel S2-1 Interkwantielafstanden (IQR, 25<sup>e</sup> en 75<sup>e</sup> kwantiel) van micronutriëntgehalten in grond ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ), blad ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en geoogst product ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) van de percelen in vergelijking met de corresponderende regiogemiddelden

| Nutriënt  | Type            | IQR percelen | IQR regio(s) | Komt overeen          |
|---|-----------------|--------------|--------------|-----------------------|
| Consumptieaardappelen (Flevoland, Zuid-Oost, Zuid-West)               |                 |              |              |                       |
| Borium  | Grond           | 170-258      | 171-285      | Ja                    |
|   | Blad            | 40-49        | 60-84        | IQR percelen is lager |
|   | Geoogst product | 6-7          | -            | -                     |
| Mangaan   | Grond           | 255-1120     | 749-2646     | IQR percelen is lager |
|   | Blad            | 32-132       | 77-208       | IQR percelen is lager |
|   | Geoogst product | 4-6          | -            | -                     |
| Koper   | Grond           | 36-69        | 30-48        | Ja                    |
|   | Blad            | 6-10         | 9-13         | IQR percelen is lager |
|   | Geoogst product | 4-5          | -            | -                     |
| Zink  | Grond           | 100-620      | 353-1236     | IQR percelen is lager |
|   | Blad            | 14-24        | 32-55        | IQR percelen is lager |
|   | Geoogst product | 10-16        | -            | -                     |
| Pootaardappelen (Groningen)   |                 |              |              |                       |
| Borium  | Grond           | 255-362      | 281-392      | Ja                    |
|   | Blad            | 24-32        | 24-36        | Ja                    |
|   | Geoogst product | 8-9          | -            | -                     |
| Mangaan   | Grond           | 250-348      | 250-720      | Ja                    |
|   | Blad            | 72-124       | 75-239       | Ja                    |
|   | Geoogst product | 7-8          | -            | -                     |
| Koper   | Grond           | 32-41        | 22-32        | IQR percelen is hoger |
|   | Blad            | 7-9          | 7-10         | Ja                    |
|   | Geoogst product | 3-4          | -            | -                     |
| Zink  | Grond           | 100-100      | 100-180      | Ja                    |
|   | Blad            | 12-15        | 25-45        | IQR percelen is lager |
|   | Geoogst product | 9-12         | -            | -                     |
| Suikerbieten (Flevoland, Groningen, Noord-Oost, Zuid-Oost, Zuid-West) |                 |              |              |                       |
| Borium  | Grond           | 188-294      | 159-282      | Ja                    |
|   | Blad            | 35-47        | -            | -                     |
|   | Geoogst product | 9-11         | -            | -                     |
| Mangaan   | Grond           | 250-885      | 758-2649     | IQR percelen is lager |
|   | Blad            | 50-76        | -            | -                     |
|   | Geoogst product | 14-22        | -            | -                     |
| Koper   | Grond           | 30-46        | 30-47        | Ja                    |

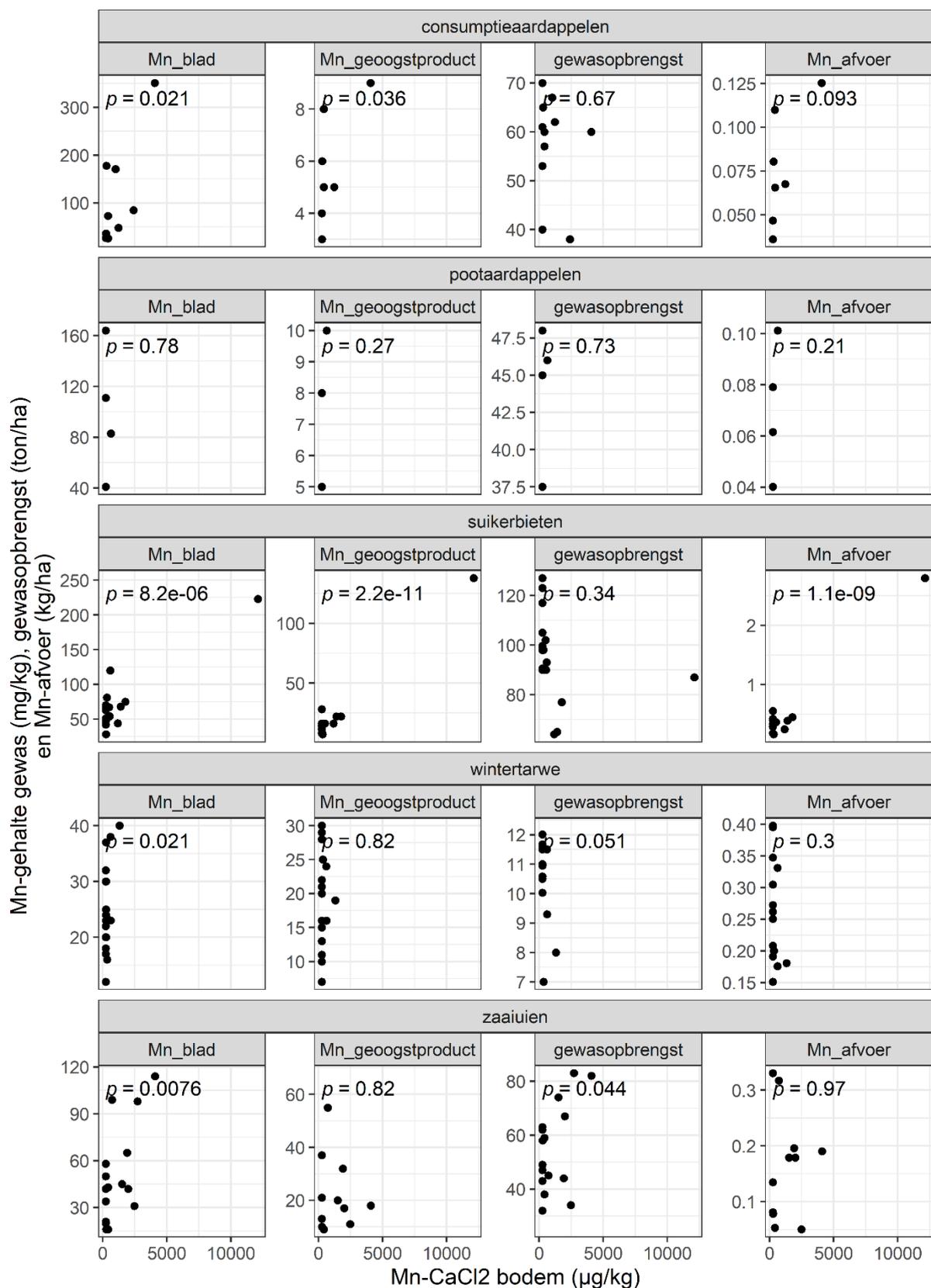
|   |                |           |          |                       |
|---|----------------|-----------|----------|-----------------------|
|   | Blad           | 9-18      | -        | -                     |
|   | Geogst product | 3-4       | -        | -                     |
| Zink  | Grond          | 100-670   | 374-1169 | IQR percelen is lager |
|   | Blad           | 40-136    | -        | -                     |
|   | Geogst product | 11-34     | -        | -                     |
| Wintertarwe (Groningen, Zeeland)                                  |                |           |          |                       |
| Borium  | Grond          | 226-499   | 217-365  | Ja                    |
|   | Blad           | 3-4       | -        | -                     |
|   | Geogst product | 2-3       | -        | -                     |
| Mangaan   | Grond          | 250-260   | 679-1965 | IQR percelen is lager |
|   | Blad           | 18-30     | -        | -                     |
|   | Geogst product | 15-24     | -        | -                     |
| Koper   | Grond          | 21-33     | 24-35    | Ja                    |
|   | Blad           | 3-6       | -        | -                     |
|   | Geogst product | 3-3       | -        | -                     |
| Zink  | Grond          | 100-100   | 279-692  | IQR percelen is lager |
|   | Blad           | 17-26     | -        | -                     |
|   | Geogst product | 20-23     | -        | -                     |
| Zaaiuien (Flevoland, Groningen, Noord-Oost, Zuid-Oost, Zuid-West) |                |           |          |                       |
| Borium  | Grond          | 162-293   | 204-326  | Ja                    |
|   | Blad           | 14-21     | -        | -                     |
|   | Geogst product | 12-14     | 20-26    | IQR percelen is lager |
| Mangaan   | Grond          | 250-2200  | 565-1802 | Ja                    |
|   | Blad           | 32-71     | -        | -                     |
|   | Geogst product | 13-29     | 46-74    | IQR percelen is lager |
| Koper   | Grond          | 26-61     | 30-46    | Ja                    |
|   | Blad           | 4-11      | -        | -                     |
|   | Geogst product | 4-6       | 6-7      | IQR percelen is lager |
| Zink  | Grond          | 100-1865  | 306-785  | Ja                    |
|   | Blad           | 12-20     | -        | -                     |
|   | Geogst product | 14-35     | 16-22    | Ja                    |
| Zetmeelaardappelen (Noord-Oost)                                   |                |           |          |                       |
| Borium  | Grond          | 101-134   | -        | -                     |
|   | Blad           | 19-22     | -        | -                     |
|   | Geogst product | 5-6       | -        | -                     |
| Mangaan   | Grond          | 3820-5740 | -        | -                     |
|   | Blad           | 121-124   | -        | -                     |
|   | Geogst product | 4-5       | -        | -                     |
| Koper   | Grond          | 22-24     | -        | -                     |
|   | Blad           | 7-9       | -        | -                     |
|   | Geogst product | 4-5       | -        | -                     |

|      |                |           |   |   |
|------|----------------|-----------|---|---|
| Zink | Grond          | 2982-4208 | - | - |
|      | Blad           | 33-35     | - | - |
|      | Geogst product | 14-16     | - | - |

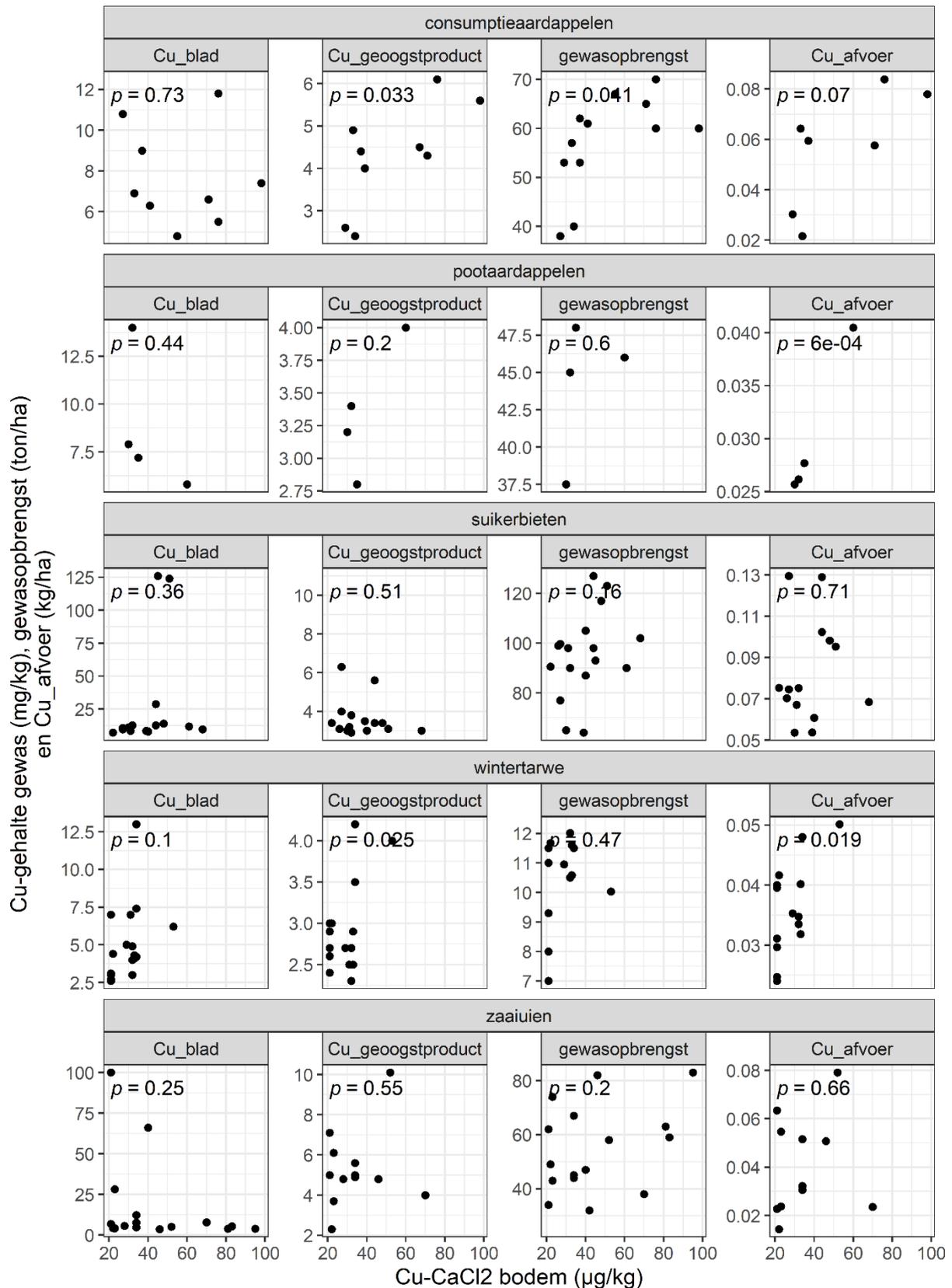
# Bijlage III Bodem-Gewas



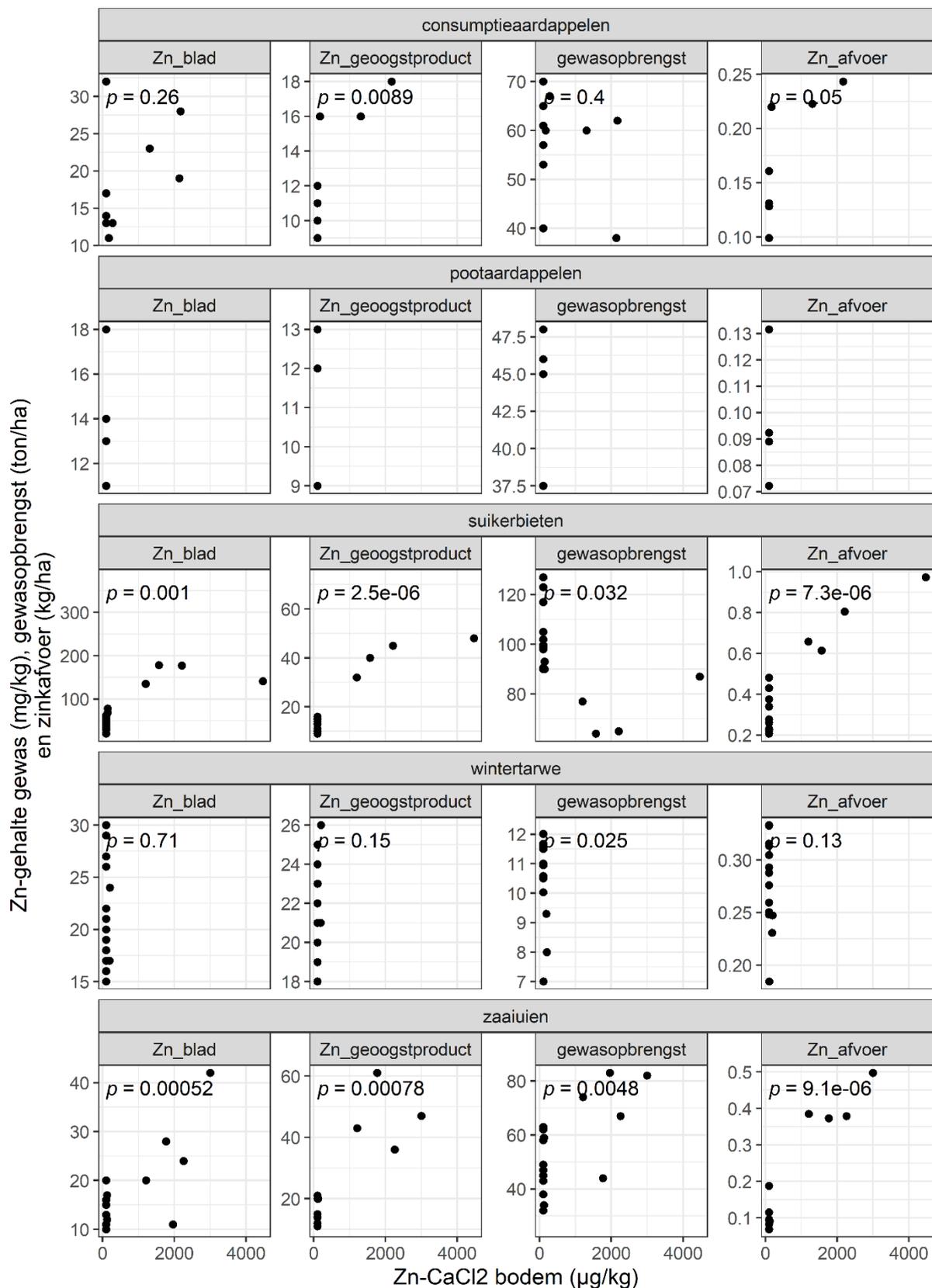
Figuur S3-1 Direct beschikbaar boriumgehalte in de bodem uitgezet tegenover boriumgehalten in het blad en geoogst product, gewasopbrengst en boriumafvoer van consumptieaardappelen, pootaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien



Figuur S3-2 Direct beschikbaar mangaangehalte in de bodem uitgezet tegenover mangaangehalten in het blad en geogst product, gewasopbrengst en mangaanafvoer van consumptieaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien.



Figuur S3-3 Direct beschikbaar kopergehalte in de bodem uitgezet tegenover kopergehalten in het blad en geoogst product, gewasopbrengst en koperafvoer van consumptieaardappelen, pootaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien



Figuur S3-4 Direct beschikbaar zinkgehalte in de bodem uitgezet tegenover zinkgehalten in het blad en geogst product, gewasopbrengst en zinkafvoer van consumptieaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien.

Per gewas is een principal component analyse (PCA) uitgevoerd om gelijktijdig de mogelijke lineaire relaties tussen gewasrespons en de beschikbaarheid van verschillende micronutriënten in de bodem en bodemparameters te tonen. Omdat de PCA per gewas is uitgevoerd is het aantal observaties reëel klein. Door de kleine subset zijn de relaties tussen bodemeigenschappen en directe beschikbaarheid kleiner dan beschreven in paragraaf 3.1. Daarnaast is een PCA gebaseerd op lineaire relaties terwijl bekend is dat gewassen non-lineair reageren. De PCA kan worden gebruikt voor exploratief onderzoek om verklarende variabelen te vinden. Het is niet een hypotheses gestuurde analyse van de data.

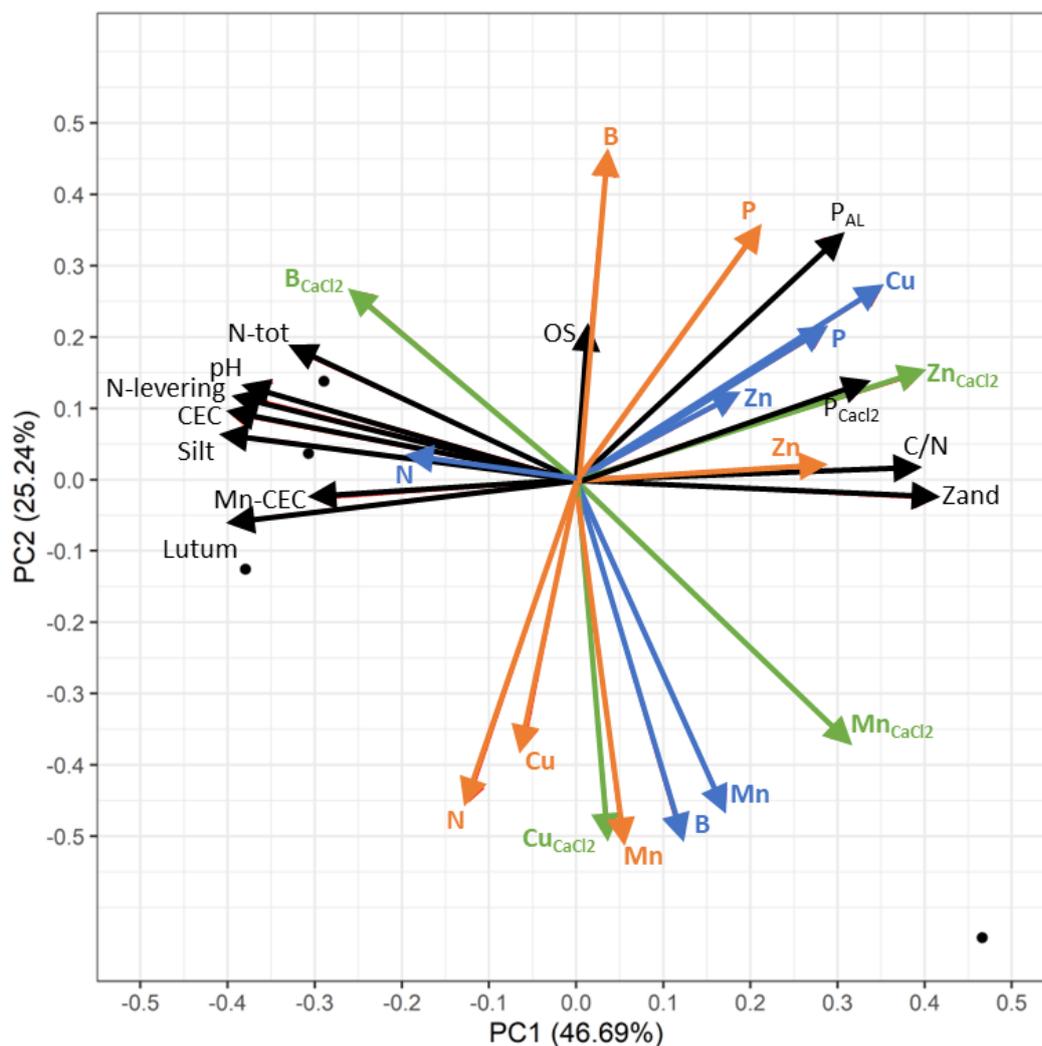
Groen = direct beschikbaar micronutriëntgehalte in de bodem

Blauw = gehalte in het blad

Oranje = gehalte in het geoogst product

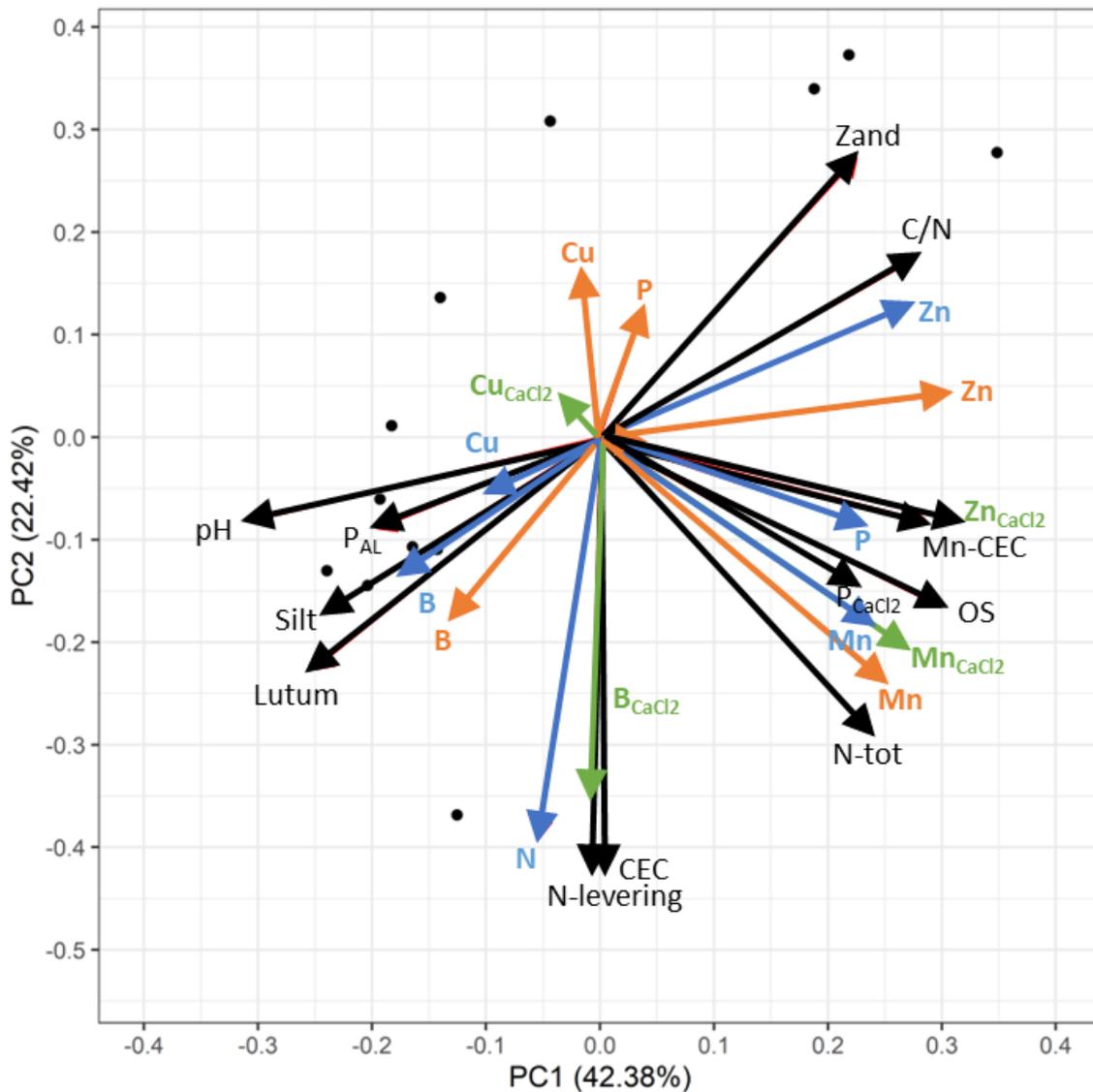
Zwart = andere bodemeigenschap

### Consumptieaardappelen



Figuur S3-5 Bi-plot van de principal component analyse voor consumptieaardappelen, waarbij de principal component scores van de individuele observaties tegen elkaar zijn uitgezet. Het getal in procenten geeft aan hoeveel variatie de principal component verklaart van de totale variatie in de dataset. De pijlen geven de correlaties aan tussen de verschillende variabelen (factor loadings van variabelen op principal components). Het type correlatie is weergegeven in de richting van de pijlen (zelfde richting = positieve correlatie, tegenovergestelde richting = negatieve correlatie). De sterkte van de correlatie is aangegeven met de lengte van de pijl (lange pijlen = sterke correlatie, korte pijlen = zwakke correlatie).

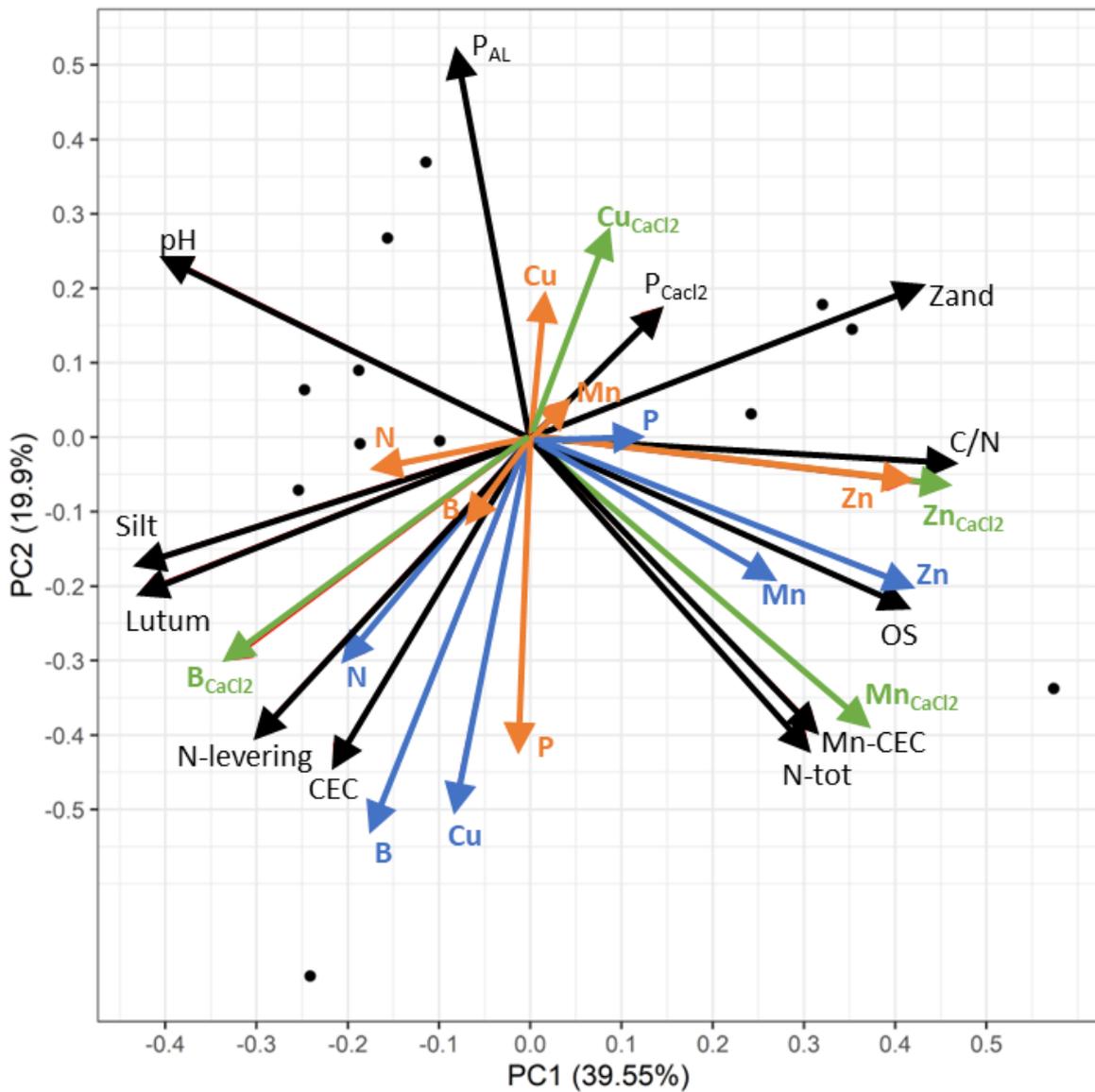
## Suikerbieten



Figuur S3-6 Bi-plot van de principal component analyse voor suikerbieten, waarbij de principal component scores van de individuele observaties tegen elkaar zijn uitgezet. Het getal in procenten geeft aan hoeveel variatie de principal component verklaard van de totale variatie in de dataset. De pijlen geven de correlaties aan tussen de verschillende variabelen (factor loadings van variabelen op principal components). Het type correlatie is weergegeven in de directie van de pijlen (zelfde richting = positieve correlatie, tegenovergestelde richting = negatieve correlatie). De sterkte van de correlatie is aangegeven met de lengte van de pijl (lange pijlen = sterke correlatie, korte pijlen = zwakke correlatie).

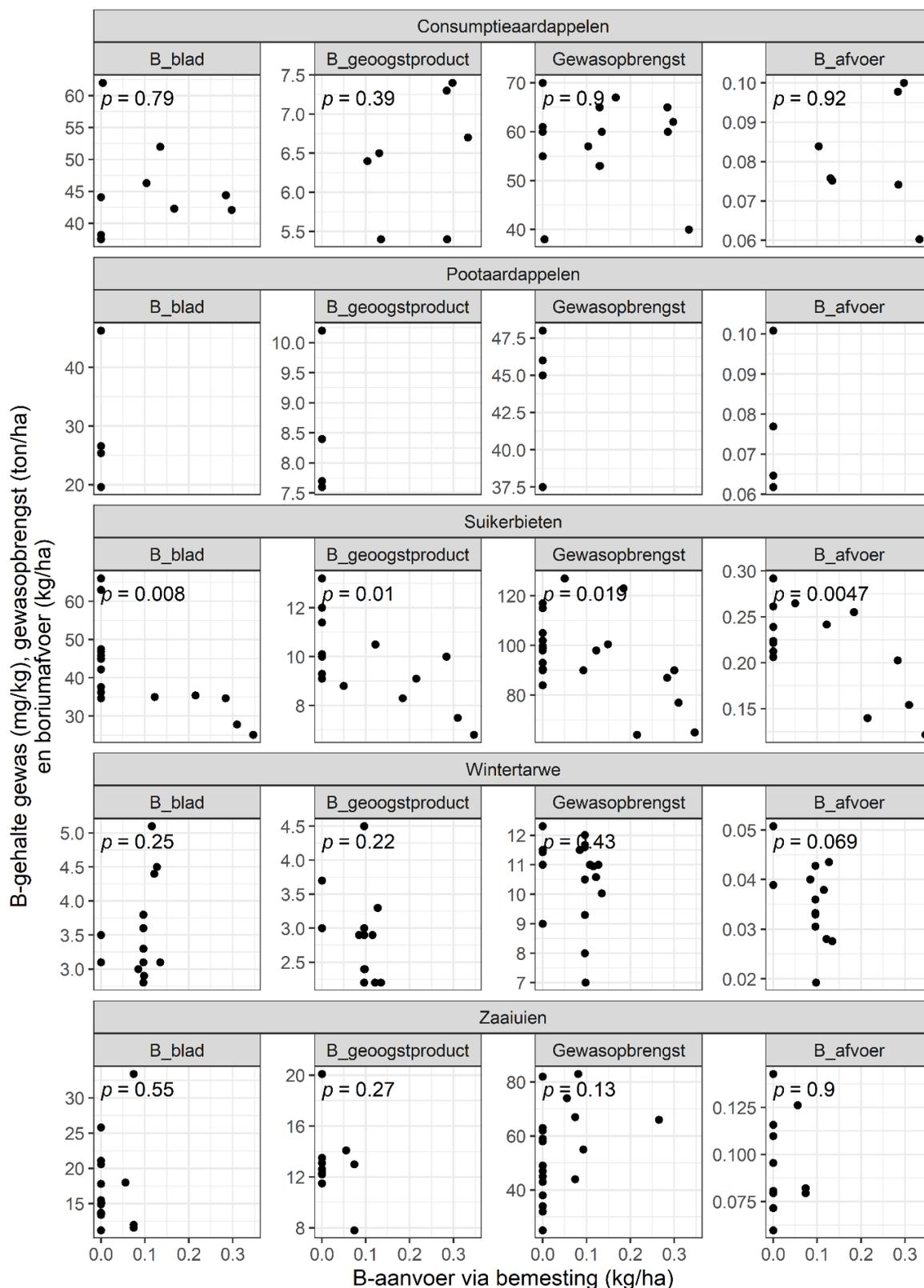


## Zaaiuien

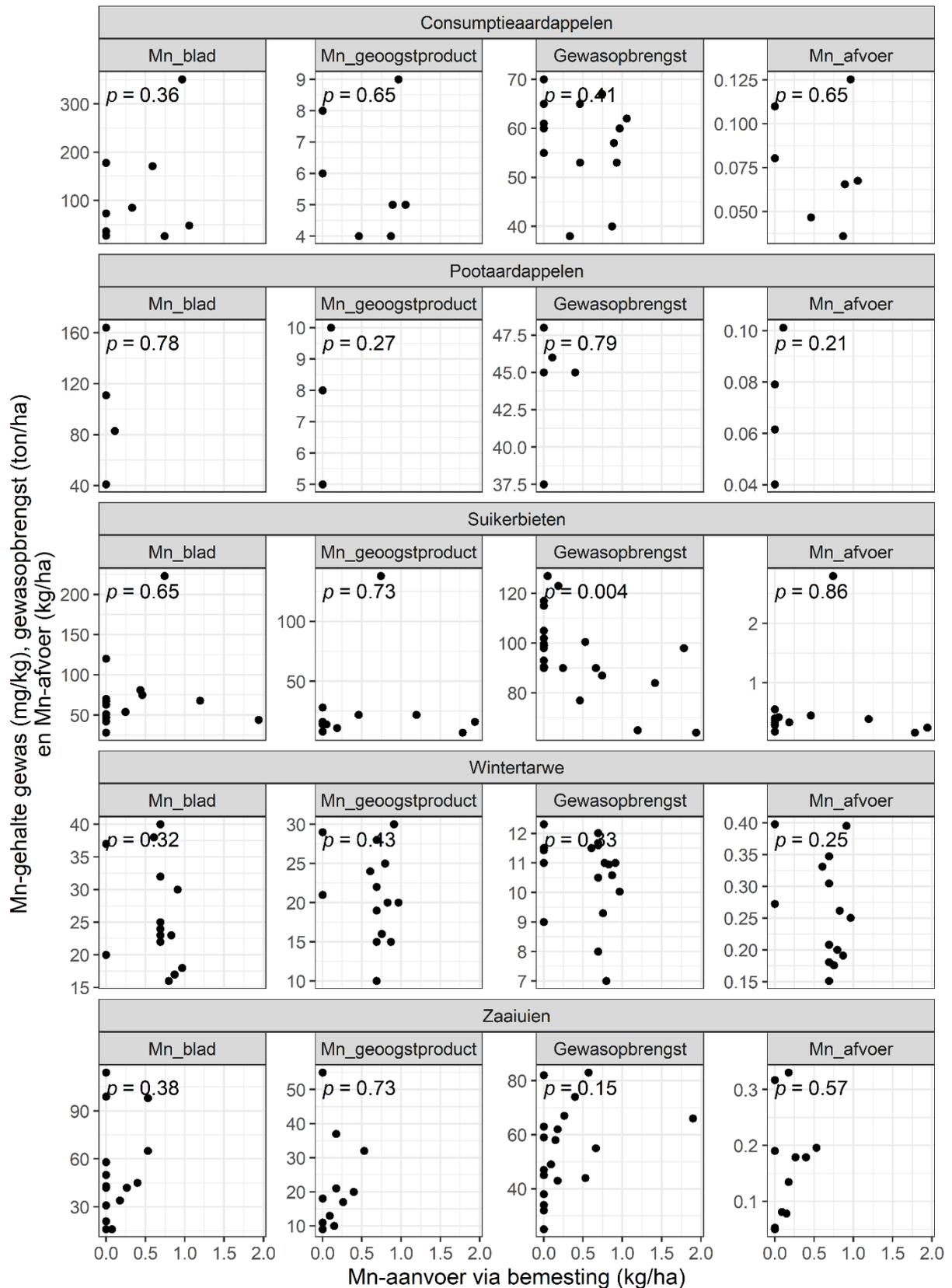


Figuur S3-8 Bi-plot van de principal component analyse voor zaaiuien, waarbij de principal component scores van de individuele observaties tegen elkaar zijn uitgezet. Het getal in procenten geeft aan hoeveel variatie de principal component verklaard van de totale variatie in de dataset. De pijlen geven de correlaties aan tussen de verschillende variabelen (factor loadings van variabelen op principal components). Het type correlatie is weergegeven in de directie van de pijlen (zelfde richting = positieve correlatie, tegenovergestelde richting = negatieve correlatie). De sterkte van de correlatie is aangegeven met de lengte van de pijl (lange pijlen = sterke correlatie, korte pijlen = zwakke correlatie).

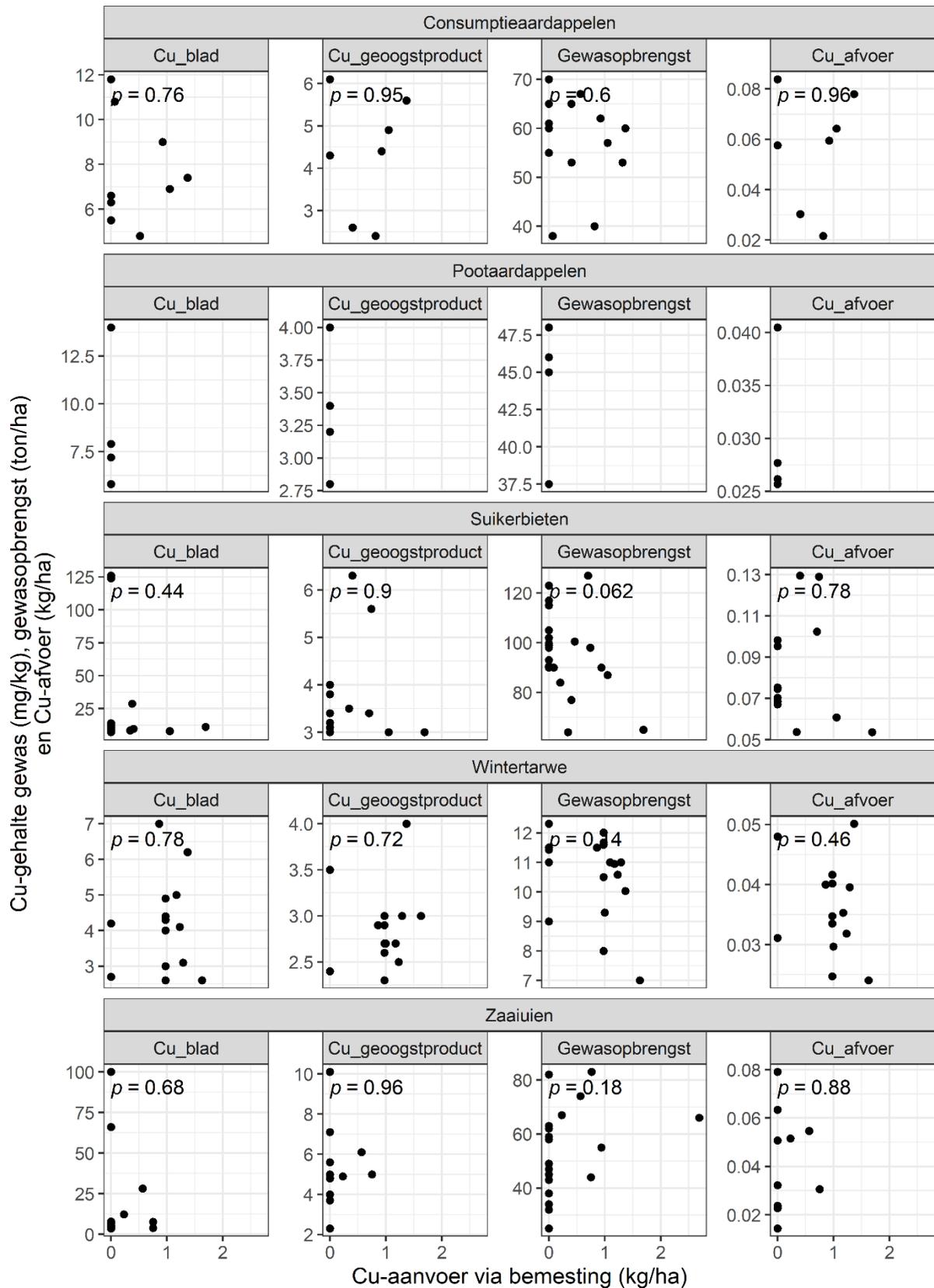
# Bijlage IV Bemesting-Gewas



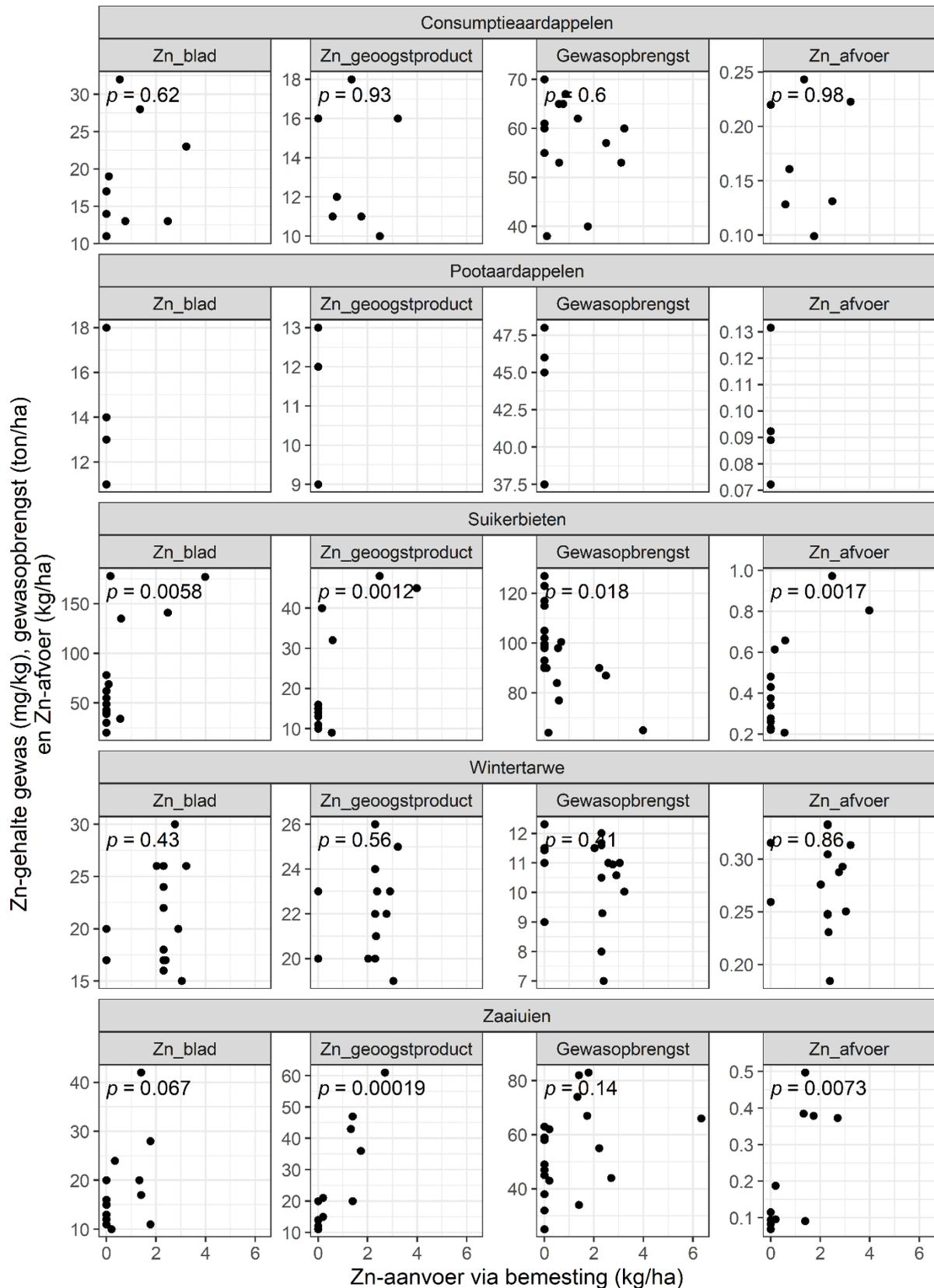
Figuur S4-1 Totale boriumaanvoer via bemesting uitgezet tegenover het boriumgehalte in het blad, boriumgehalte in het geoogst product, gewasopbrengst en boriumafvoer voor consumptieaardappelen, pootaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien



Figuur S4-2 Totale mangaanaanvoer via bemesting uitgezet tegenover het mangaangehalte in het blad, mangaangehalte in het geoogst product, gewasopbrengst en mangaanafvoer voor consumptieaardappelen, pootaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien



Figuur S4-3 Totale koperaanvoer via bemesting uitgezet tegenover het kopergehalte in het blad, kopergehalte in het geogst product, gewasopbrengst en koperafvoer voor consumptieaardappelen, pootaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien



Figuur S4-4 Totale zinkaanvoer via bemesting uitgezet tegenover het zinkgehalte in het blad, zinkgehalte in het geoogst product, gewasopbrengst en zinkafvoer voor consumptieaardappelen, pootaardappelen, suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien



Nutriënten Management Instituut BV  
Nieuwe Kanaal 7c  
6709 PA Wageningen

tel: (06) 29 03 71 03  
e-mail: [nmi@nmi-agro.nl](mailto:nmi@nmi-agro.nl)  
website: [www.nmi-agro.nl](http://www.nmi-agro.nl)