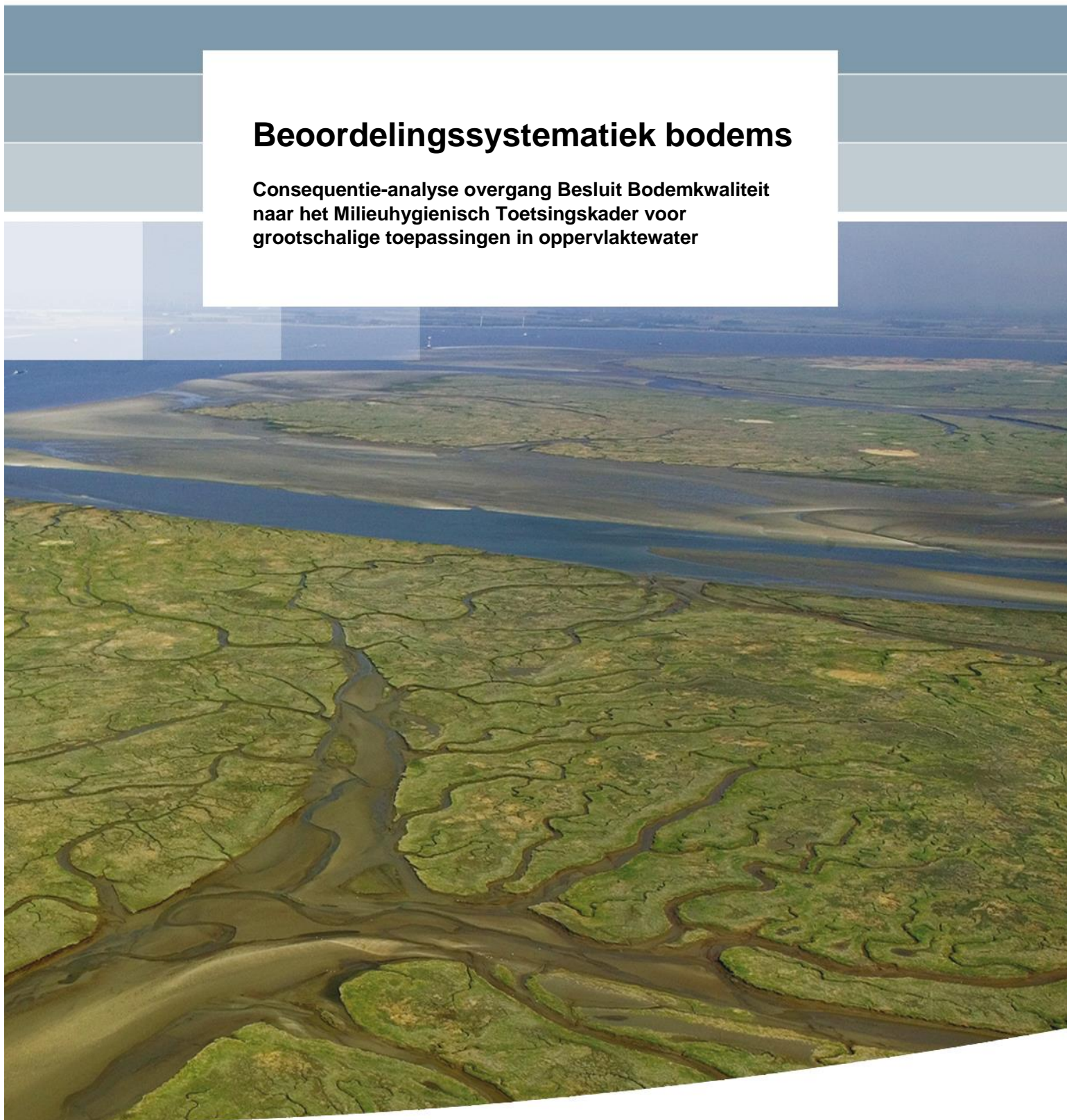


## **Beoordelingssystematiek bodems**

**Consequentie-analyse overgang Besluit Bodemkwaliteit  
naar het Milieuhygienisch Toetsingskader voor  
grootschalige toepassingen in oppervlaktewater**





## **Beoordelingssystematiek bodems**

**Consequentie-analyse overgang Besluit Bodemkwaliteit  
naar het Milieuhygienisch Toetsingskader voor  
grootschalige toepassingen in oppervlaktewater**

Jos P.M. Vink  
Michiel Broers

1230099-010



**Titel**

Beoordelingssystematiek bodems

|   |                               |  |                        |
|---|-------------------------------|--|------------------------|
| <b>Opdrachtgever</b><br>Rijkswaterstaat WVL | <b>Project</b><br>1230099-010 | <b>Kenmerk</b><br>1230099-010-BGS-0004 | <b>Pagina's</b><br>113 |
|---|-------------------------------|--|------------------------|

**Trefwoorden**

Analyse, Aqua nitrosa, Aqua regia, Bodembeleid, Beoordeling, Berging, Besluit Bodemkwaliteit, Bodems, Chemie, Extractie, Fosfaat, Grond, Grondverzet, Grootschalige toepassing, Herinrichting, Metalen, Meren, Milieu, Normering, Nutriënten, Plassen, Regelgeving, Risicobeoordeling, Ruimte voor de Rivier, Sediment, Stort, Verontreinigingen, Verondieping, Wetgeving, Zandwinputten

**Samenvatting**

Het Besluit Bodemkwaliteit (Bbk), dat grootschalige toepassingen van grond en bagger in oppervlaktewater regelt, wordt op korte termijn bijgesteld. Onderdeel hiervan is een herziening van het milieuhygiënisch toetsingskader voor grootschalige bodemtoepassingen in diepe plassen. In juni 2015 is het conceptvoorstel 'Milieuhygiënisch toetsingskader voor grootschalige bodemtoepassingen – Voorstel voor beoordeling van partijen grond en bagger' (MHT) uitgebracht, met daarin aanbevelingen voor een nieuwe beoordelingssystematiek. Hierin verschuift de focus van de beoordeling van de samenstelling van de grond naar de invloed op het waterlichaam waarin de grond wordt toegepast. Er wordt meer rekening gehouden met beschikbaarheid van verontreinigingen onder omstandigheden van toepassing. Het voorstel MHT geeft daarom ruimte voor op maat gemaakte toepassingsmogelijkheden bij grootschalige bodemtoepassingen in oppervlaktewater (diepe plassen, zandwinputten, meren). Een uitwerking hiervan is het gebruik van een andere chemische analysemethode van metalen. In het huidige Bbk wordt gebruik gemaakt van *Aqua regia* (koningswater). In het MHT is er een overstap gemaakt naar *Aqua nitrosa* (0,43 M HNO<sub>3</sub>), waarbij de meer reactieve fase wordt ontsloten. In onderstaande tabel zijn de belangrijkste onderdelen van de twee verschillende bodembeoordelingssystematieken naast elkaar gezet.

| Onderdelen systematiek | Besluit Bodemkwaliteit (Bbk)  | Milieuhygiënisch Toetsingskader (MHT)                               |
|------------------------|---|---|
| <b>Analyse</b>         | Aqua regia  | Aqua nitrosa  |
| <b>Normalisering</b>   | Bodemtypecorrectie;<br>Normalisering naar L=25, OS=10   | Transferfuncties o.b.v. meest relevante omgevingskarakteristieken   |
| <b>Toetsing</b>        | Gehalte; mg/kg  | Opgelost; µg/l  |
| <b>Normen</b>          | - Achtergrondwaarde<br>- Maximale kwaliteitsklasse Wonen<br>- Maximale kwaliteitsklasse Industrie | - Generieke samenstellingswaarden<br>- JG-MKN (+AW)<br>- MAC (+AW)  |
| <b>Beschermdoelen</b>  | Toetsing grondwater niet mogelijk   | Prognosetoetsing aan streefwaarden voor diep grondwater is mogelijk |

*\* In mg/kg, omgerekend vanuit opgeloste norm en standaardbodem.*

Om over de overgang van Bbk naar MHT en bijbehorende aanbevelingen te kunnen besluiten, is in deze studie een consequentie-analyse uitgevoerd. Voor de analyse is een database samengesteld waarin voor Nederland representatieve grondpartijen zijn gebruikt. Om een representatieve bandbreedte van bodemkarakteristieken te waarborgen zijn verschillende databestanden met grondpartijen samengevoegd. De beoordeling van de partijen is uitgevoerd zoals de systematieken dat voorschrijven, d.w.z. inclusief correcties en normering. De vergelijking is op basis van logistische, statistische methoden uitgevoerd voor

**Titel**  
Beoordelingssystematiek bodems

|                      |                |                      |                 |
|----------------------|----------------|----------------------|-----------------|
| <b>Opdrachtgever</b> | <b>Project</b> | <b>Kenmerk</b>       | <b>Pagina's</b> |
| Rijkswaterstaat WVL  | 1230099-010    | 1230099-010-BGS-0004 | 113             |

13 elementen (antimoon, arseen, barium, cadmium, chroom, kobalt, koper, lood, molybdeen, nikkel, tin, vanadium, zink).

Bij de vergelijking van de systematieken zijn alle mogelijkheden onderzocht die bij de toetsing een rol kunnen spelen. Zo kan er rekening worden gehouden met een achtergrondwaarde, al dan niet in combinatie met de toetsing aan de jaargemiddelde concentratie (JG-MKN) of een maximaal toegestane concentratie (MAC). Zowel het verdisconteren van een achtergrondwaarde als de keuze van het beschermdoel (MAC i.p.v. JG-MKN) verlaagt het aantal overschrijdingen. De keuzes die hierin beleidsmatig gemaakt moeten worden bepalen voor een belangrijk deel de uitkomsten van de consequentieanalyse.

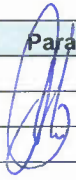


Als het Bbk-Wonen wordt vergeleken met de generieke samenstellingswaarden uit het MHT, dan valt op dat beide systematieken ongeveer even streng zijn. Voor antimoon, chroom, tin en vanadium verschillen de uitkomsten van de beoordelingssystematieken vrijwel niet. De percentages fout-positief zijn beperkt van 0 tot 7% voor de meeste elementen. Alleen arseen en cadmium laten wat hogere percentages zien (10 resp. 15%).

Vergeleken met het Bbk is de MHT-beoordeling via de oppervlaktewaternorm JG-MKN voor de helft van de elementen strenger. Dit geldt voor arseen, cadmium, kobalt, koper, lood, nikkel en zink bij een standaard-pH van 7. Echter, voor de meeste metalen dalen de overschrijdingen bij toenemende pH, hetgeen in de praktijk vooral bij grotere wateren en niet-vrijliggende plassen het geval is. Voor koper, lood, nikkel en zink mogen er bovendien tweedelijns-beoordelingsmethoden (BLMs) gebruikt worden, op basis waarvan minder overschrijdingen worden waargenomen.

Conversiefactoren voor de omrekening van *Aqua regia* naar *Aqua nitrosa* zouden een rol kunnen vervullen in een eventuele overgangsregeling. De factoren blijken goed reproduceerbaar bij opschaling van het aantal waarnemingen. Differentiatie tussen categorieën (bijv. lutumklassen) verhoogt de statistische betrouwbaarheid van de factoren.

## Referenties

Vink, J.P.M., M. Broers (2016). Beoordelingssystematiek Bodems: Consequentieanalyse overgang Besluit Bodemkwaliteit naar het Milieuhygiënisch Toetsingskader voor grootschalige toepassingen in oppervlaktewater. Deltares rapport 1230099.010, Utrecht.

| Versie | Datum    | Auteur         | Paraaf  | Review       | Paraaf  | Goedkeuring   | Paraaf  |
|--------|----------|----------------|---|--------------|---|---------------|---|
|        | Sep 2016 | Jos P.M. Vink  |  | Leonard Osté |  | Hilde Passier |  |
|        |          | Michiel Broers |   |              |   |               |   |

## Status

definitief

## Inhoud

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 Inleiding</b>                           | <b>1</b>  |
| 1.1 Aanleiding                               | 1         |
| 1.2 Doel                                     | 1         |
| 1.3 Aanpak                                   | 1         |
| <b>2 Beleidskaders en gebruikte gegevens</b> | <b>3</b>  |
| 2.1 Overzicht                                | 3         |
| 2.2 Toetsing                                 | 3         |
| 2.2.1 Regeling Bodemkwaliteit                | 3         |
| 2.2.2 Milieuhygiënisch toetsingskader        | 5         |
| 2.3 Beschikbare gegevens                     | 9         |
| 2.4 Statistische methoden                    | 14        |
| 2.5 Conversiefactoren AR-AN                  | 15        |
| <b>3 Resultaten toetsing</b>                 | <b>17</b> |
| 3.1 Antimoon                                 | 17        |
| 3.2 Arseen                                   | 17        |
| 3.2.1 Normoverschrijdingen                   | 17        |
| 3.2.2 Fout-positief                          | 18        |
| 3.2.3 Verschillen                            | 19        |
| 3.3 Cadmium                                  | 25        |
| 3.3.1 Normoverschrijdingen                   | 25        |
| 3.3.2 Fout-positief                          | 26        |
| 3.3.3 Verschillen                            | 28        |
| 3.4 Chroom                                   | 32        |
| 3.5 Kobalt                                   | 32        |
| 3.5.1 Normoverschrijdingen                   | 32        |
| 3.5.2 Fout-positief                          | 34        |
| 3.5.3 Verschillen                            | 35        |
| 3.6 Koper                                    | 39        |
| 3.6.1 Normoverschrijdingen                   | 39        |
| 3.6.2 Fout-positief                          | 41        |
| 3.6.3 Verschillen                            | 42        |
| 3.7 Lood                                     | 46        |
| 3.7.1 Normoverschrijdingen                   | 46        |
| 3.7.2 Fout-positief                          | 48        |
| 3.7.3 Verschillen                            | 49        |
| 3.8 Molybdeen                                | 53        |
| 3.9 Nikkel                                   | 59        |
| 3.9.1 Normoverschrijdingen                   | 59        |
| 3.9.2 Fout-positief                          | 60        |
| 3.9.3 Verschillen                            | 61        |
| 3.10 Tin                                     | 66        |
| 3.11 Vanadium                                | 66        |
| 3.12 Zink                                    | 67        |
| 3.12.1 Normoverschrijdingen                  | 67        |
| 3.12.2 Fout-positief                         | 68        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.12.3   | Verschillen   | 70        |
| 3.13     | Synthese  | 75        |
| 3.14     | Conversiefactoren <i>aqua regia</i> en <i>aqua nitrosa</i>      | 78        |
| 3.14.1   | Conversiefactoren op basis van alle gegevens                    | 78        |
| 3.14.2   | Conversiefactoren voor onderscheidende categorieën              | 79        |
| <b>4</b> | <b>Conclusies en aanbevelingen</b>                              | <b>81</b> |
| <b>5</b> | <b>Referenties</b>  | <b>85</b> |
|          | <b>Bijlagen</b>   | <b>87</b> |
| <b>A</b> | <b>Cumulatieve frequentieverdelingen database grondpartijen</b> | <b>87</b> |
| <b>B</b> | <b><i>Aqua nitrosa</i> / <i>Aqua regia</i> ratio's</b>          | <b>95</b> |



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Het uitgangspunt in het bodembeleid is het duurzaam hergebruik van vrijkomende grond. Het Besluit Bodemkwaliteit (Bbk) regelt de nuttige toepassing van herbruikbare grond, onder andere voor de herinrichting van diepe plassen en meren. Het Bbk is in 2011 geëvalueerd waarbij is besloten tot een bijstelling van het Bbk en de Regeling Bodemkwaliteit (Rbk). Onderdeel hiervan is een herziening van het milieuhygiënisch toetsingskader voor grootschalige bodemtoepassingen in diepe plassen. In juni 2015 is het conceptvoorstel 'Milieuhygiënisch toetsingskader voor grootschalige bodemtoepassingen – Voorstel voor beoordeling van partijen grond en bagger' (MHT) uitgebracht, met daarin aanbevelingen voor een nieuwe beoordelingssystematiek (Schmidt et al., 2015).

Kernonderdeel van het voorstel is dat er beter rekening wordt gehouden met het beschermdoel oppervlakte- en grondwater. Tevens wordt een belangrijkere rol toegekend aan de biologisch beschikbare fracties van verontreinigingen en nutriënten. Een uitwerking hiervan is het gebruik van een andere chemische analysemethode. In het huidige Bbk wordt gebruik gemaakt van *aqua regia* (koningswater). Dit is een extractie met een sterk zuur, waarbij alle minerale delen totaal worden ontsloten, inclusief metalen die in het kristalrooster van bodemmineralen zijn ingebouwd en niet mee doen aan een evenwichtinstelling met het poriewater. In het MHT is er een overstap gemaakt naar *aqua nitrosa* (0,43 M HNO<sub>3</sub>). Dit is een mildere extractie, waarbij de potentieel beschikbare fractie, ofwel de reactieve fase, wordt ontsloten. De zogenaamde inerte fractie van de metalen wordt hierbij niet geëxtraheerd.

Om over deze aanbeveling te kunnen besluiten, is er momenteel behoefte aan meer inzicht in de consequenties van het meten van metaalgehalten via *aqua regia* dan wel *aqua nitrosa* en hoe dat uitpakt ten opzichte van het huidige Bbk. Deltares is gevraagd deze consequenties inzichtelijk te maken.

## 1.2 Doel

Het doel van deze studie is om kwantitatief vast te stellen hoe beide beoordelingssystematieken, het Bbk en het MHT, uitpakken op het eindoordeel voor metalen en daarmee de toepasbaarheid van grondpartijen. Hierbij wordt er gekeken naar de procentuele normoverschrijdingen. Eveneens wordt er gekeken naar de samenstelling van grondpartijen bij afwijkende eindoordelen. De focus zal hierbij liggen op de normen voor zware metalen: antimoon, arseen, barium, cadmium, chroom, kobalt, koper, lood, molybdeen, nikkel, tin, vanadium en zink.

## 1.3 Aanpak

In deze studie worden grondpartijen voor het MHT getoetst aan het beschermdoel oppervlaktewater, aangenomen dat dit beschermdoel kritischer is dan het beschermdoel grondwater<sup>1</sup>. Tevens zijn er voor dit beschermdoel voor alle metalen aerobe transferfuncties beschikbaar die gelden voor zowel grond als bagger.

---

<sup>1</sup> Dit klopt voor alle metalen behalve voor Sb en Co.

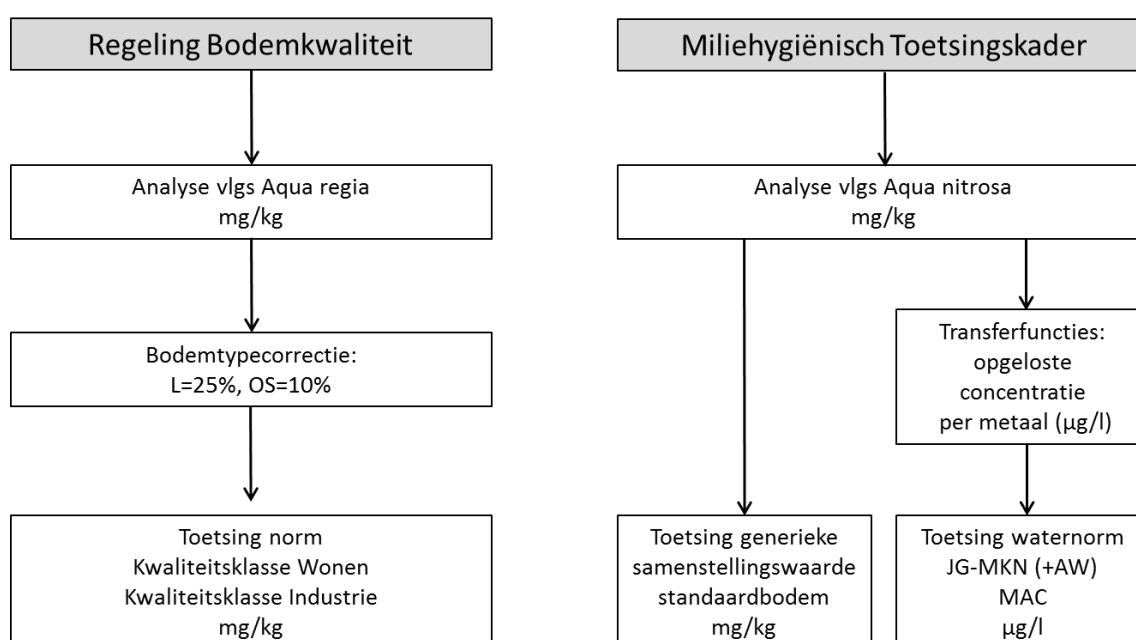
De volgende stappen zijn uitgewerkt:

1. Voor de analyse zijn voor Nederland representatieve grondpartijen gebruikt. Om een representatieve bandbreedte van bodemkarakteristieken te waarborgen zijn verschillende databestanden samengevoegd. Voorwaarde voor toevoegen van grondpartijen is dat er zowel *aqua regia* als *aqua nitrosa* metingen zijn uitgevoerd volgens de geldende protocollen.
2. De grondpartijen zijn getoetst op normoverschrijdingen van de individuele metalen. Toetsing aan de Rbk vond plaats door middel van *aqua regia* gegevens, toetsing aan het MHT aan de hand van *aqua nitrosa* metingen.
3. De verschillen tussen de beide beoordelingssystematieken zijn vergeleken. Hierbij is gekeken welke individuele metalen en welke bodemkarakteristieken mogelijk kritisch zijn, d.w.z. een systematisch ander beeld oplevert per systematiek.

## 2 Beleidskaders en gebruikte gegevens

### 2.1 Overzicht

Zoals in paragraaf 1.1 is toegelicht verschilt de Regeling Bodemkwaliteit en het Milieuhygiënisch Toetsingskader op een aantal fundamentele punten. In dit hoofdstuk wordt de kwaliteitstoetsing, met de daarbij te nemen stappen zoals analyse, correctie en/of normering, voor de beide bodemsystematieken uitvoerig toegelicht. Figuur 2.1 geeft hiervan een samenvatting.



Figuur 2.1. Overzicht procedure kwaliteitstoetsing volgens de Regeling Bodemkwaliteit en het voorstel MHT.

### 2.2 Toetsing

#### 2.2.1 Regeling Bodemkwaliteit

In de huidige wetgeving worden gronden getoetst aan de waarden en regels zoals vermeld in de Regeling bodemkwaliteit (Rbk, 2013). Bij het bepalen van totaalgehalten van metalen wordt gebruik gemaakt van een extractie met *aqua regia*.

Tabel 2.1 geeft een overzicht van de normen zoals vermeld in de Rbk. De individuele metalen worden getoetst aan de maximale waarden voor kwaliteitsklasse wonen en kwaliteitsklasse industrie.

De Rbk geeft aan dat de normen voor barium zijn ingetrokken, omdat de interventiewaarde voor barium lager was dan het gehalte dat van nature in de bodem voorkomt. Er is geen aanleiding om aan te nemen dat bariumgehalten in de samengestelde dataset verhoogd zijn als gevolg van een antropogene bron, daarom zal er geen toetsing voor barium plaats vinden (Rbk, 2013, Bijlage B, tabel 1-2, voetnoot 17).

Tabel 2.1. Normwaarden uit de Regeling bodemkwaliteit voor het toepassen van grond (Rbk 2007, Tabel B).

| Element   |    | Achtergrond-<br>waarden<br>(mg/kg) | Maximale waarden<br>kwaliteitsklasse wonen<br>(mg/kg) | Maximale waarden<br>kwaliteitsklasse industrie<br>(mg/kg) |
|-----------|----|------------------------------------|---|---|
| Antimoon  | Sb | 4,0                                | 15  | 22  |
| Arseen    | As | 20                                 | 27  | 76  |
| Barium    | Ba |                                    |   |   |
| Cadmium   | Cd | 0,60                               | 1,2   | 4,3   |
| Chroom    | Cr | 55                                 | 62  | 180   |
| Kobalt    | Co | 15                                 | 35  | 190   |
| Koper     | Cu | 40                                 | 54  | 190   |
| Lood      | Pb | 50                                 | 210   | 530   |
| Molybdeen | Mo | 1,5                                | 88  | 190   |
| Nikkel    | Ni | 35                                 | 39  | 100   |
| Tin       | Sn | 6,5                                | 180   | 900   |
| Vanadium  | V  | 80                                 | 97  | 250   |
| Zink      | Zn | 140                                | 200   | 720   |

### Bodemtypecorrectie

De waarden uit Tabel 2.1 zijn afgeleid voor een gedefinieerde standaardbodem. Een standaardbodem bevat volgens de Rbk 25% lutum (<2 µm) en 10% organische stof. Om gronden te kunnen toetsen aan de waarden, geeft de Rbk rekenregels om gemeten gehalten door middel van een bodemtypecorrectie om te rekenen naar een standaardbodem. De metaalgehalten worden na deze bodemtypecorrectie worden getoetst aan de normen van de Rbk.

Omrekening van gemeten gehalten in grond naar een standaardbodem geschiedt volgens onderstaande formule (Rbk, 2007):

$$G_{\text{standaard}} = G_{\text{gemeten}} * \frac{(A+B*25+C*10)}{(A+B*\% \text{ lutum}+C*\% \text{ OS})}$$

Waarbij:

- $G_{\text{standaard}}$  : gestandaardiseerde gehalte (mg/kg)
- $G_{\text{gemeten}}$  : gemeten gehalte via *aqua regia* (mg/kg)
- A, B, C : stofafhankelijke constanten voor metalen

Voor zowel het percentage lutum als het percentage organische stof is een minimumwaarde van 2 % gedefinieerd. De stofafhankelijke constanten voor metalen voor het gebruik van een bodemtypecorrectie staan in Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Stofafhankelijke constanten voor metalen (Rbk, 2007, Bijlage G).

| Element                |    | A   | B     | C     |
|------------------------|----|-----|-------|-------|
| Antimoon <sup>a</sup>  | Sb | 1   | 0     | 0     |
| Arseen                 | As | 15  | 0,4   | 0,4   |
| Barium                 | Ba | 30  | 5     | 0     |
| Cadmium                | Cd | 0,4 | 0,007 | 0.021 |
| Chroom                 | Cr | 50  | 2     | 0     |
| Kobalt                 | Co | 2   | 0,28  | 0     |
| Koper                  | Cu | 15  | 0,6   | 0,6   |
| Lood                   | Pb | 50  | 1     | 1     |
| Molybdeen <sup>a</sup> | Mo | 1   | 0     | 0     |
| Nikkel                 | Ni | 10  | 1     | 0     |
| Tin                    | Sn | 4   | 0,6   | 0     |
| Vanadium               | V  | 12  | 1,2   | 0     |
| Zink                   | Zn | 50  | 3     | 1,5   |

<sup>a</sup> Voor antimoon en molybdeen wordt geen bodemtypecorrectie gehanteerd.

## 2.2.2 Milieuhygiënisch toetsingskader

### 2.2.2.1 Transferfuncties

Voor metalen zijn er in het MHT voor het beschermdoel oppervlakte water aerobe transferfuncties afgeleid. Aeroob wil zeggen dat er bij de functies het geochemisch gedrag beschrijven onder condities waarbij zuurstof geen belemmering is. Tabel 2.3 geeft een overzicht van de in het MHT genoemde transferfuncties. Deze functies zijn gebaseerd op chemische partitie-relaties (verdeling over vaste en opgeloste fase) en geven een zo betrouwbaar mogelijke indicatie van de nalevering van metalen uit grond. De transferfuncties maken gebruik van een extractie op basis van *aqua nitrosa*.

Tabel 2.3. Transferfuncties uit het MHT voor de berekeningswijze van de opgeloste concentratie van metalen in oppervlaktewater (MHT, 2015).

| Element   | Functie   |
|-----------|---|
| Antimoon  | Sb $\log C = 0,991 + 0,174 * \log Q - 0,357 * \log(0,037 * Al + 0,018 * Fe) + 0,298 * \log OS$              |
| Arseen    | As $\log C = 1,490 + 0,505 * \log Q - 1,090 * \log(0,037 * Al + 0,018 * Fe) + 1,010 * \log OS$              |
| Barium    | Ba $\log C = 2,330 + 0,711 * \log Q - 0,300 * \log L - 0,151 * pH$  |
| Cadmium   | Cd $\log C = 4,020 + 1,200 * \log Q - 0,492 * \log OS - 0,183 * \log L - 0,501 * pH$                        |
| Chroom    | Cr $C = \frac{1000 * Q}{10^{(1,790+0,287*pH)}}$   |
| Kobalt    | Co $\log C = 4,920 + 0,994 * \log Q - 0,177 * \log OS - 0,117 * \log L - 0,797 * pH$                        |
| Koper     | Cu $\log C = 1,510 + 0,683 * \log Q - 0,275 * \log OS - 0,186 * pH$   |
| Lood      | Pb $\log C = 4,000 + 0,937 * \log Q - 0,435 * \log OS - 0,352 * \log L - 0,683 * pH$                        |
| Molybdeen | Mo $\log C = 0,970 + 0,760 * \log Q - 2,090 * \log(0,037 * Al + 0,018 * Fe) + 1,860 * \log OS + 0,592 * pH$ |
| Nikkel    | Ni $\log C = 4,100 + 1,100 * \log Q - 0,278 * \log OS - 0,267 * \log L - 0,472 * pH$                        |
| Tin       | Sn $C = \frac{1000 * Q}{10^{(3,6-0,1*(\frac{OS}{1,74}))}$   |
| Vanadium  | V $C = \frac{Q}{7,556}$   |
| Zink      | Zn $\log C = 4,260 + 0,992 * \log Q - 0,480 * \log OS - 0,574 * pH$   |

$C$  = berekende concentratie ( $\mu\text{g/l}$ );

$Q$  = geanalyseerd gehalte vlg. aqua nitrosa, AN (mg/kg)

$OS$  = organisch stof (%);

$L$  = lutum (%);

$pH$  = zuurgraad

$Fe$  = IJzer (mg/kg AN)

$Al$  = Aluminium (mg/kg AN)

In de transferfuncties dient voor de beoordeling van toepassing in oppervlaktewater de verwachte pH van het oppervlakte water te worden gebruikt. Dit verschilt per waterlichaam, dus is voor deze studie de waarde voor de standaardbodem op basis van aqua nitrosa gebruikt. De standaardbodem op basis van aqua nitrosa is naast de bestaande standaardbodem (25% lutum, 10% organische stof) uitgebreid met een pH van 7, totaal aluminiumgehalte van 1200 mg/kg en een totaal ijzergehalte van 3600 mg/kg (Tabel 5.5 van het MHT).

### Eerstelijnsbeoordeling

De berekende opgeloste concentraties van de metalen worden getoetst aan de normen in het Besluit kwaliteitseisen en monitoring water (Bkmw, 2015) en de Regeling monitoring kaderrichtlijn water (Rmkw, 2015). In het Bkmw staan de chemische doelen van de kaderrichtlijn water. Hierin is een lijst opgenomen met normen voor prioritaire stoffen. De metalen cadmium, lood en nikkel vallen onder de prioritaire stoffen. In de Rmkw staat een deel van de ecologische doelen van de kaderrichtlijn water, namelijk de normen voor specifiek verontreinigde stoffen. Hierin staan de normen voor antimoon, arseen, barium, chroom, kobalt, koper, molybdeen, tin, vanadium en zink. In deze studie worden, net als in het MHT, de jaargemiddelde milieukwaliteitsnormen (JG-MKN) gehanteerd. Het rekenkundig gemiddelde van de door het jaar heen gemeten metaalconcentraties mogen deze normen niet overschrijden. Voor cadmium is er bij de toetsing uitgegaan van de strengste norm (klasse met laagste hardheid). Omdat in het Rbk barium niet wordt beoordeeld, is er besloten om barium eveneens niet mee te nemen in de beoordeling van het MHT.

Naast de JG-MKN is er ook de norm voor de maximale aanvaardbare concentratie, de MAC-MKN. Geen enkele gemeten concentratie mag deze norm overschrijden. Blootstelling aan verontreinigde bodems zijn echter meer chronisch dan acuut van aard, en deze studie zal zich daarom primair richten op de JG-MKN. Om de verschillen met MAC-MKN inzichtelijk te maken is deze norm meegenomen in de analyse. Tabel 2.4 geeft een overzicht van de jaargemiddelde milieukwaliteitsnormen, de landelijke achtergrondconcentraties en of er een correctie voor de achtergrondconcentraties mag worden toegepast. Bij metalen met een ontbrekende MAC-waarde wordt verondersteld dat de JG-MKN bescherming biedt bij kortstondige verontreinigingspieken.

Tabel 2.4. Normwaarden van metalen in oppervlaktewater voor het jaargemiddelde en de maximaal aanvaardbare concentratie. Tevens de landelijke achtergrondconcentraties van de metalen en of deze gebruikt mogen worden als een correctie op de norm (Bkmw, 2015; Rmkw, 2015).

| Element   |    | Jaargemiddelde milieukwaliteitsnorm (JG-MKN) <sup>a</sup><br>(µg/L) | Maximaal aanvaardbare concentratie (MAC-MKN)<br>(µg/L) | Landelijke achtergrondconcentratie (AC) <sup>b</sup><br>(µg/L) | Achtergrondconcentratie correctie mogelijk <sup>a</sup> |
|-----------|----|---|--|--|---|
| Antimoon  | Sb | 5,6   | 200  | 0,3  | Nee   |
| Arseen    | As | 0,5   | 8  | 0,8  | Ja  |
| Barium    | Ba | 73  | 148  | 73   | Nee   |
| Cadmium*  | Cd | 0,08  | 0,45   | 0,08   | Ja  |
| Chroom    | Cr | 3,4   | -  | 0,2  | Ja  |
| Kobalt    | Co | 0,2   | 1,36   | 0,2  | Nee   |
| Koper     | Cu | 2,4   | -  | 0,4  | Nee   |
| Lood*     | Pb | 1,2   | 14   | 0,2  | Ja  |
| Molybdeen | Mo | 136   | 340  | 1,4  | Nee   |
| Nikkel*   | Ni | 4   | 34   | 3,3  | Nee   |
| Tin       | Sn | 0,6   | 36   | 0,0002   | Ja  |
| Vanadium  | V  | 3,5   | -  | 0,8  | Ja  |
| Zink      | Zn | 7,8   | 15,6   | 2,8  | Ja  |

<sup>a</sup> Bkmw (2015), Rmkw (2015).

<sup>b</sup> NW4 (1998)

\* Prioritaire stof

### Tweedelijnsbeoordeling

Het Bkmw en de Rmkw geven aan dat er een correctie kan worden toegepast bij toetsing aan de JG-MKN. Bij deze correctie wordt er rekening gehouden met de natuurlijke achtergrondconcentraties voor metalen. Hierbij wordt de natuurlijke achtergrondconcentratie afgetrokken van de gemeten, en in deze studie berekende, concentraties, en wordt deze gecorrigeerde concentratie getoetst aan de JG-MKN. Voor de metalen arseen, cadmium, chroom, lood, tin, vanadium en zink mag er een AW-correctie plaatsvinden. De overige elementen mogen niet gecorrigeerd worden. De reden hiervoor is dat er voor koper, lood, nikkel en zink correcties mogen plaatsvinden op basis van biobeschikbaarheid (BLMs of DOC-correctie). De waarden voor nikkel zijn afgeleid op basis van humane risico's.

Voor koper, nikkel en zink zijn er biobeschikbaarheidsmodellen beschikbaar (o.a. [www.pnecpro.com](http://www.pnecpro.com)), welke de voorkeur genieten bij een tweedelijnsbeoordeling. Deze zogenaamde BLMs (biotic ligand modellen) worden reeds toegepast voor de jaarlijkse KRW-rapportage van Nederlandse wateren. Echter, voor de volledigheid zal er voor deze metalen ook een correctie gehanteerd worden, indien van toepassing.

#### 2.2.2.2 Generieke samenstellingswaarden

In het voorstel MHT zijn generieke samenstellingswaarden berekend (MHT, sectie 5.4). Deze zijn verkregen door de JG-MKN met behulp van transferfuncties om te rekenen naar een gehalte op basis van *aqua nitrosa*. De transferfuncties zijn ingevuld met waarden voor een standaardbodem (MHT, Tabel 5.5: lutum = 25%, organische stof = 10%, pH = 7, Al (*aqua nitrosa*) = 1200 mg/kg en Fe (*aqua nitrosa*) = 3600 mg/kg). Als deze samenstellingswaarden voor het beschermingsdoel oppervlaktewater lager waren dan de achtergrondwaarden van grond en bagger dan zijn deze opgehoogd tot de geldende achtergrondwaarden. De afleiding van de generieke samenstellingswaarden is voor oppervlaktewater gebaseerd op de JG-MKN zoals vermeld in het Bkmw en de Rmkw. Tabel 2.5 geeft een overzicht van de generieke samenstellingswaarden van het voorstel MHT. Metaalgehalten op basis van *aqua nitrosa* worden direct getoetst aan de generieke samenstellingswaarden.

Tabel 2.5. Generieke samenstellingswaarden op basis van *Aqua nitrosa* en standaardbodemstelling voor het beschermdoel oppervlaktewater met en zonder correctie van de achtergrondwaarde.

| Element   | Generieke samenstellingswaarden standaardbodem |                   |      |
|-----------|--|-------------------|------|
|           | zonder AW<br>(mg/kg)                           | met AW<br>(mg/kg) |      |
| Antimoon  | Sb   | 1,1               | 11   |
| Arseen    | As   | 0,07              | 5,2  |
| Barium    | Ba   | 26                | 84   |
| Cadmium   | Cd   | 0,20              | 0,47 |
| Chroom    | Cr   | 21                | 21   |
| Kobalt    | Co   | 1,0               | 3,9  |
| Koper     | Cu   | 4,5               | 20   |
| Lood      | Pb   | 95                | 95   |
| Molybdeen | Mo   | 1,3               | 1,3  |
| Nikkel    | Ni   | 2,7               | 8,1  |
| Tin       | Sn   | 0,7               | 0,7  |
| Vanadium  | V  | 26                | 26   |
| Zink      | Zn   | 14                | 67   |



**Beoordeling individuele metalen, geen gehele grondpartijen**

Voor deze studie is besloten om alleen de beoordelingen van de individuele metalen te vergelijken, omdat de Rbk verschilt met het Bkmw en de Rmkw wat betreft het beoordelen van grondpartijen als geheel. In de Rbk zijn "verzachtende" regels opgesteld waarmee grondpartijen, afhankelijk van het aantal stoffen dat is gemeten, een x-aantal verhoogde gehalten van stoffen toelaat alvorens een grondpartij de maximale waarden voor kwaliteitsklasse wonen overschrijdt (Rbk, 2013, artikel 4.10.2). Hoe meer stoffen worden gemeten, hoe meer overschrijdingen worden toegelaten.

De Kaderrichtlijn Water, en daarmee het Bkmw en de Rmkw, hanteert echter het 'one out, all out' principe, waardoor de laagste kwaliteit doorslaggevend is voor een waterlichaam (EP, 2000; CBS, 2014). Wanneer één enkele stof de norm overschrijdt, dan bepaald die stof de gehele kwaliteit van het waterlichaam, ongeacht hoeveel stoffen er zijn gemeten.

Aangezien het hier dus twee verschillende interpretaties betreft voor het beoordelen van grondpartijen als geheel, wordt er in de consequentie-analyse gefocussed op de beoordelingen van individuele metalen.

**2.3 Beschikbare gegevens**

Er is een verkenning uitgevoerd naar beschikbare gegevens, zowel in literatuur als in uitgevoerde grondprojecten bij diverse kennisinstellingen. De in tabel 2.6 genoemde databases zijn geselecteerd omdat deze beschikken over de noodzakelijke fysische en chemische variabelen om de analyse uit te kunnen voeren. Metaalgehalten moesten zowel via *aqua regia* als via *aqua nitrosa* aan dezelfde monsters zijn bepaald. De gegevens zijn gecontroleerd op juistheid via enerzijds de gebruikte analytische protocollen, en plausibiliteit van fysische waarden via expert judgement. De databases zijn vervolgens samengesteld in een uniform format om de analyse uit te voeren.

Tabel 2.6. Geselecteerde databases.

| Dataset # | Naam           | Karakterisering gegevens  | Referentie                       |
|-----------|----------------|---|----------------------------------|
| 1         | RIVM           | 46 gronden (geografisch verdeeld over Nederland), inclusief 2 locaties in België en 1 in Duitsland.   | De Groot et al., 1998            |
| 2         | Alterra SEO    | 69 top- en subsoils van 11 verschillende gronden (zand, leem, klei, veen) en verschillend landgebruik.  | Römken et al., 2004              |
| 3         | Deltares MHT   | 5 verontreinigde en geselecteerde gronden uit het onderzoeksprogramma MHT   | Vink et al., 2016 (in prep)      |
| 4         | Deltares FLOOD | 15 werkpakketten (=samengestelde mengmonsters) van gronden uit projecten rivierengebied (Schellerwaard, Westenholte, Oldeneler buitenwaarden) | CSO, 2011; Vink & De Lange, 2015 |

De RIVM-dataset bevat monsters van de toplaag (0-20 cm) van 46 locaties: 43 uit Nederland, twee uit België en één uit Duitsland. De gronden variëren in bodemtype en verontreinigingsgraad. De Alterra SEO-database bevat monsters van elf locaties in Nederland met horizonten tot een diepte van 120 cm. Dit vertaalt zich naar 69 bodemmonsters. De belangrijkste bodemtypen van Nederland zijn vertegenwoordigd, met onder andere zand-, klei- (rivier en zee) en veengronden. Zowel verontreinigde als niet-verontreinigde gronden zijn aanwezig. Zowel de RIVM als Alterra dataset zijn na publicatie in wetenschappelijke literatuur

opnieuw geanalyseerd, zodat voor de metalen zowel *aqua regia* als *aqua nitrosa* gegevens beschikbaar zijn.

De derde deelset betreft de nauwkeurig geselecteerde en goed gekarakteriseerde gronden ("benchmark-gronden") die zijn gebruikt in het onderzoeksprogramma dat door Deltares is uitgevoerd voor de onderbouwing van het Milieuhygienisch Toetsingskader. Dit zijn zowel zand- als kleigronden. De vierde deelset zijn vijftien werkpakketten (=samengestelde mengmonsters) uit de Deltares FLOOD database. Deze komen van gronden uit projecten in het rivierengebied (Schellerwaard, Westenholte en Oldeneler buitenwaarden). In deze dataset ontbreken de gegevens van antimoon, molybdeen, tin en vanadium. Echter, uit een eerste inventarisatie is gebleken dat deze elementen niet doorslaggevend zijn in de uiteindelijke beoordelingen.

De datasets zijn samengevoegd en gronden met ontbrekende of eventueel twijfelachtige data zijn verwijderd. Hierdoor is het aantal gronden gereduceerd van 135 naar 109. Voor molybdeen en tin zijn er voor *aqua nitrosa* respectievelijk 72 en 43 gronden.

De relatieve verdeling van bodemtypen in de samengestelde database is hieronder weergegeven via fysische en chemische karakteristieken. Uit de cumulatieve frequentieverdeling (Figuur 2.2) blijkt dat er een evenwichtige verdeling is van zandige en kleiige gronden. Ook de mate van verontreiniging heeft een evenwichtige verdeling en representeert zowel licht als zwaar verontreinigde gronden.

Tabel 2.7. Bandbreedte van fysische en chemische bodemkarakteristieken van de samengestelde database.  
n = 109, tenzij anders aangegeven.

| Bodem-karakteristieken   |         | Min  | Mediaan | Max  | Gemiddelde |
|--------------------------|---------|------|---------|------|------------|
| pH                       | -       | 3,12 | 5,93    | 7,75 | 5,86       |
| Org. Stofgehalte         | (%)     | 0,46 | 4,45    | 73,4 | 8,80       |
| Lutum (<2µm)             | (%)     | 0,52 | 11,3    | 55,0 | 15,3       |
| Totaal Al <sup>b,*</sup> | (mg/kg) | 108  | 1035    | 5783 | 1402       |
| Totaal Fe <sup>b,*</sup> | (mg/kg) | 46   | 1407    | 9685 | 1979       |

Tabel 2.7. vervolg.

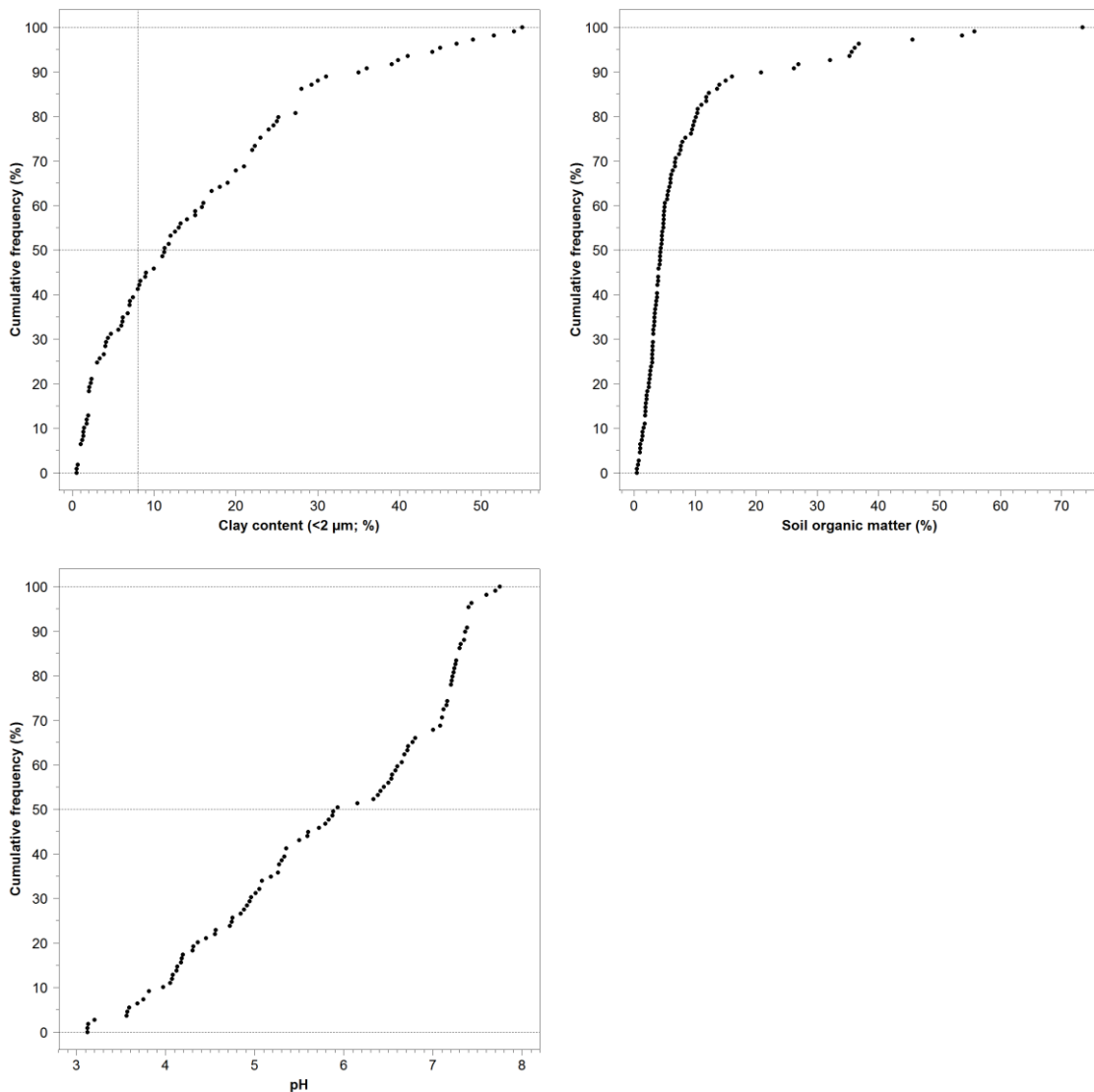
| Nutriënten          |   | Aqua regia (mg/kg) |         |      |            | Aqua nitrosa (mg/kg) |         |      |            |
|---------------------|---|--------------------|---------|------|------------|----------------------|---------|------|------------|
|                     |   | Min                | Mediaan | Max  | Gemiddelde | Min                  | Mediaan | Max  | Gemiddelde |
| Fosfor <sup>*</sup> | P | 47,7               | 564     | 2330 | 641        | 5,27                 | 195     | 1806 | 278        |

| Metalen                 |    | Aqua regia (mg/kg) |         |       |            | Aqua nitrosa (mg/kg) |         |      |            |
|-------------------------|----|--------------------|---------|-------|------------|----------------------|---------|------|------------|
|                         |    | Min                | Mediaan | Max   | Gemiddelde | Min                  | Mediaan | Max  | Gemiddelde |
| Antimoon <sup>*</sup>   | Sb | 0,03               | 0,53    | 14,3  | 0,87       | 0,00                 | 0,04    | 2,20 | 0,08       |
| Arseen                  | As | 0,97               | 9,81    | 111   | 12,4       | 0,02                 | 1,85    | 26,7 | 3,35       |
| Barium                  | Ba | 2,54               | 71,6    | 925   | 115        | 0,77                 | 34,4    | 263  | 53,3       |
| Cadmium                 | Cd | 0,01               | 0,49    | 22,8  | 1,44       | 0,01                 | 0,36    | 17,4 | 1,15       |
| Chroom                  | Cr | 1,66               | 25,8    | 126   | 30,0       | 0,06                 | 1,37    | 43,4 | 2,81       |
| Kobalt                  | Co | 0,11               | 6,80    | 19,0  | 6,42       | 0,01                 | 1,76    | 6,71 | 1,70       |
| Koper                   | Cu | 2,04               | 17,2    | 335   | 28,3       | 0,49                 | 8,21    | 251  | 16,1       |
| Lood                    | Pb | 2,59               | 45,7    | 1710  | 127        | 0,47                 | 29,00   | 1459 | 92,3       |
| Molybdeen <sup>**</sup> | Mo | 0,02               | 0,49    | 2,44  | 0,73       | 0,00                 | 0,01    | 0,24 | 0,03       |
| Nikkel                  | Ni | 0,71               | 18,5    | 59,4  | 19,4       | 0,03                 | 3,00    | 17,7 | 3,84       |
| Tin <sup>***</sup>      | Sn | 0,35               | 2,61    | 63,1  | 6,07       | 0,00                 | 0,04    | 2,33 | 0,17       |
| Vanadium <sup>*</sup>   | V  | 0,10               | 25,9    | 92,2  | 30,0       | 0,07                 | 4,59    | 31,9 | 6,10       |
| Zink                    | Zn | 7,52               | 111     | 11578 | 441        | 1,00                 | 45,2    | 8005 | 311        |

<sup>a</sup> Gloeiverlies<sup>b</sup> Op basis van *aqua nitrosa*.<sup>\*</sup> n = 94<sup>\*\*</sup> n = 72<sup>\*\*\*</sup> n = 43

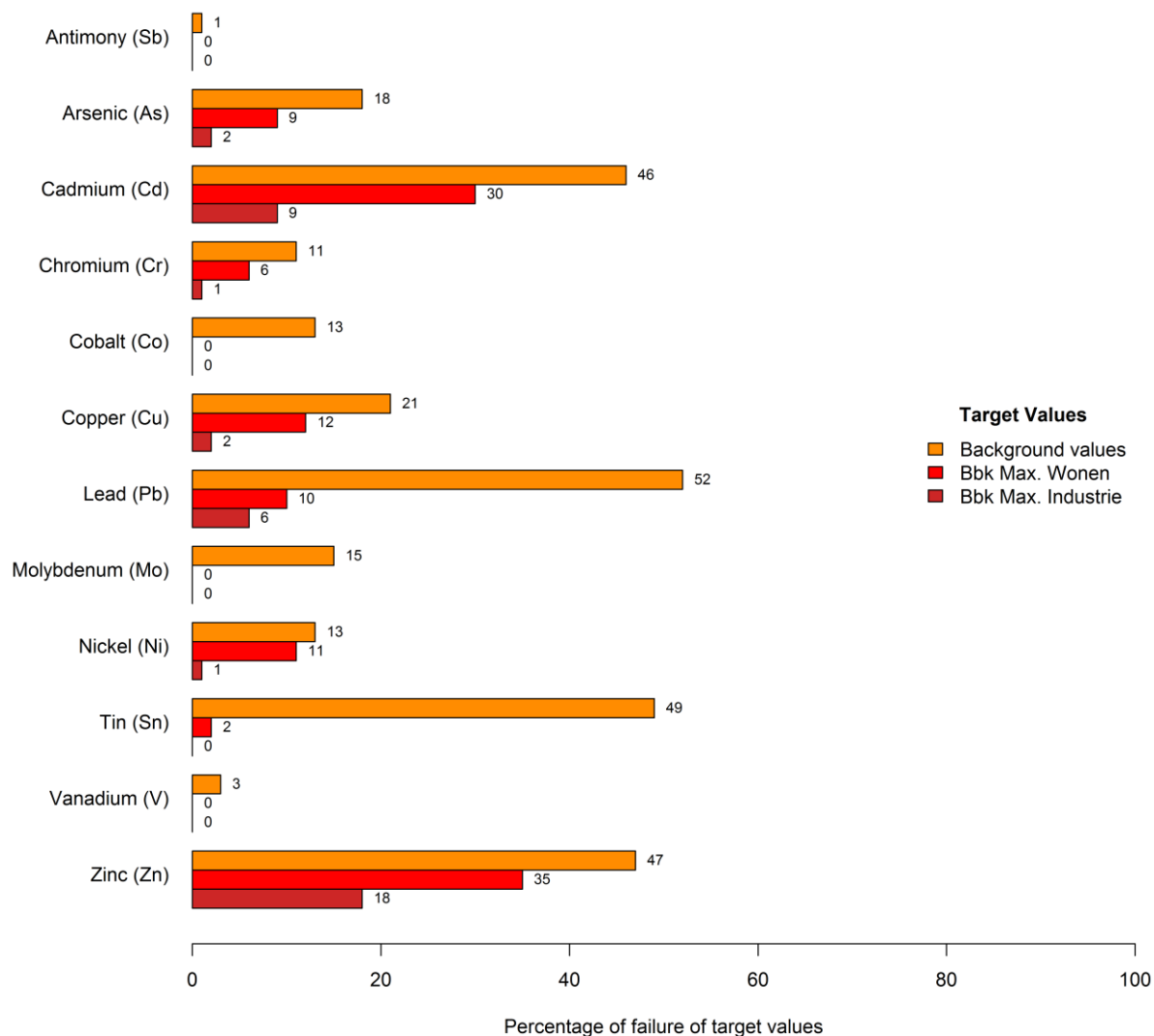
Figuur 2.2 laat de cumulatieve frequentieverdelingen van de samengestelde database zien voor het lutumgehalte, het organisch stofgehalte en de pH. Cumulatieve frequentieverdelingen laten zien hoe de betreffende karakteristiek in de gronden van de database vertegenwoordigd is, zowel als bandbreedte (min-max) als procentuele vertegenwoordiging. De cumulatieve frequentieverdelingen van de metalen, voor zowel *aqua regia* als *aqua nitrosa*, staan in Appendix A.



Figuur 2.2. Cumulatieve frequentieverdelingen van het lutumgehalte (<2 μm) (linksboven), het organisch stofgehalte (rechtsboven) en de pH (linksonder). De verticale lijn bij het lutumgehalte geeft de bodemkundige classificatie van de zandgrens aan (lutumgehalte van 8%).

De beoordelingsystematiek van de Rbk geldt als uitgangspunt van dit rapport, daarom is in Figuur 2.3 aangegeven hoe de grondpartijen uit de samengestelde database zich verhouden ten opzichte van de normen uit de Rbk (voor de individuele metalen). Dit geeft een indicatie van de verontreinigingsgraad van de gronden. De analyse met het Milieuhygiënisch Toetsingskader wordt toegelicht hoofdstuk 3.

## Bbk Aqua Regia + Soil Type Correction



Figuur 2.3. Indicatie van de verontreinigingsgraad volgens het Rbk voor de grondpartijen uit de samengestelde database.  $N = 109$ . Voor antimoon en vanadium  $n = 94$ , voor molybdeen  $n = 72$ , en voor tin  $n = 43$ .

De percentages zijn berekend ten opzichte van het totaal aantal grondpartijen. Te zien is dat er voor elk metaal gronden zijn die de achtergrondwaarden overschrijden. De maximale waarden voor wonen en industrie worden niet voor elk metaal overschreden. Als voorbeeld: 47 procent van de gronden overschrijdt de achtergrondwaarde voor zink. 35 procentpunt overschrijdt hierbij tevens de maximale waarden voor wonen en 18 procentpunt overschrijdt eveneens de maximale waarden voor industrie (Figuur 2.3).

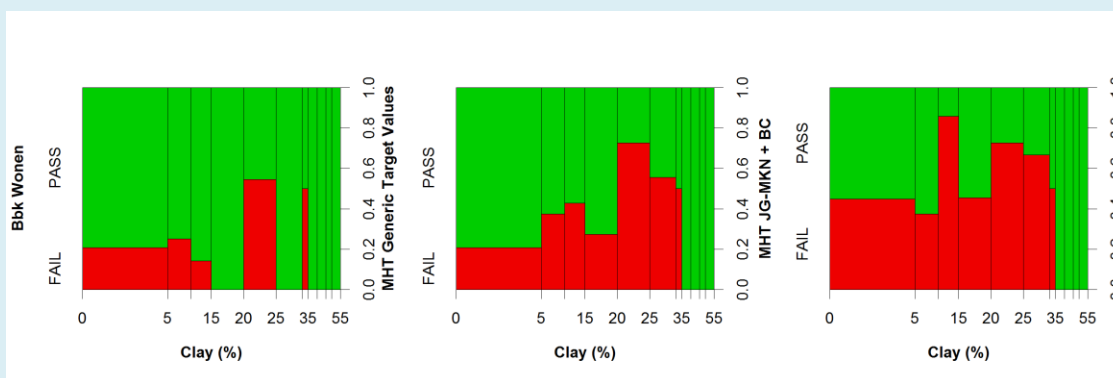
## 2.4 Statistische methoden

Om de verschillen tussen de twee methodieken aantoonbaar te maken wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van statistische methoden. De analyse gebeurt op basis van "gepaarde" (*two-sample of paired*) waarnemingen (bv. betrekking op het zelfde metaal). Bij gepaarde waarnemingen, waarbij een normale verdeling van de dataset wordt verwacht, wordt gebruik gemaakt van de *Student T-test*. Deze wordt dan tweezijdig (*two-tailed*) op significantie getoetst. Als de dataset niet-normaal verdeeld is wordt gebruik gemaakt van de *Welch* significantie test. De dataset is dan asymmetrisch verdeeld, heeft ongelijke varianties (bv. tussen verschillende metalen van de gehele dataset) en heeft eventueel een ongelijke populatiegrootte. Significantie wordt in dit geval eenzijdig (*one-tailed*) getoetst. Andere termen en statistische methoden die zijn gebruikt worden uitgelegd in onderstaand tekstkader. Deze is noodzakelijk om de bespreking van de resultaten te kunnen begrijpen.

### Terminologie

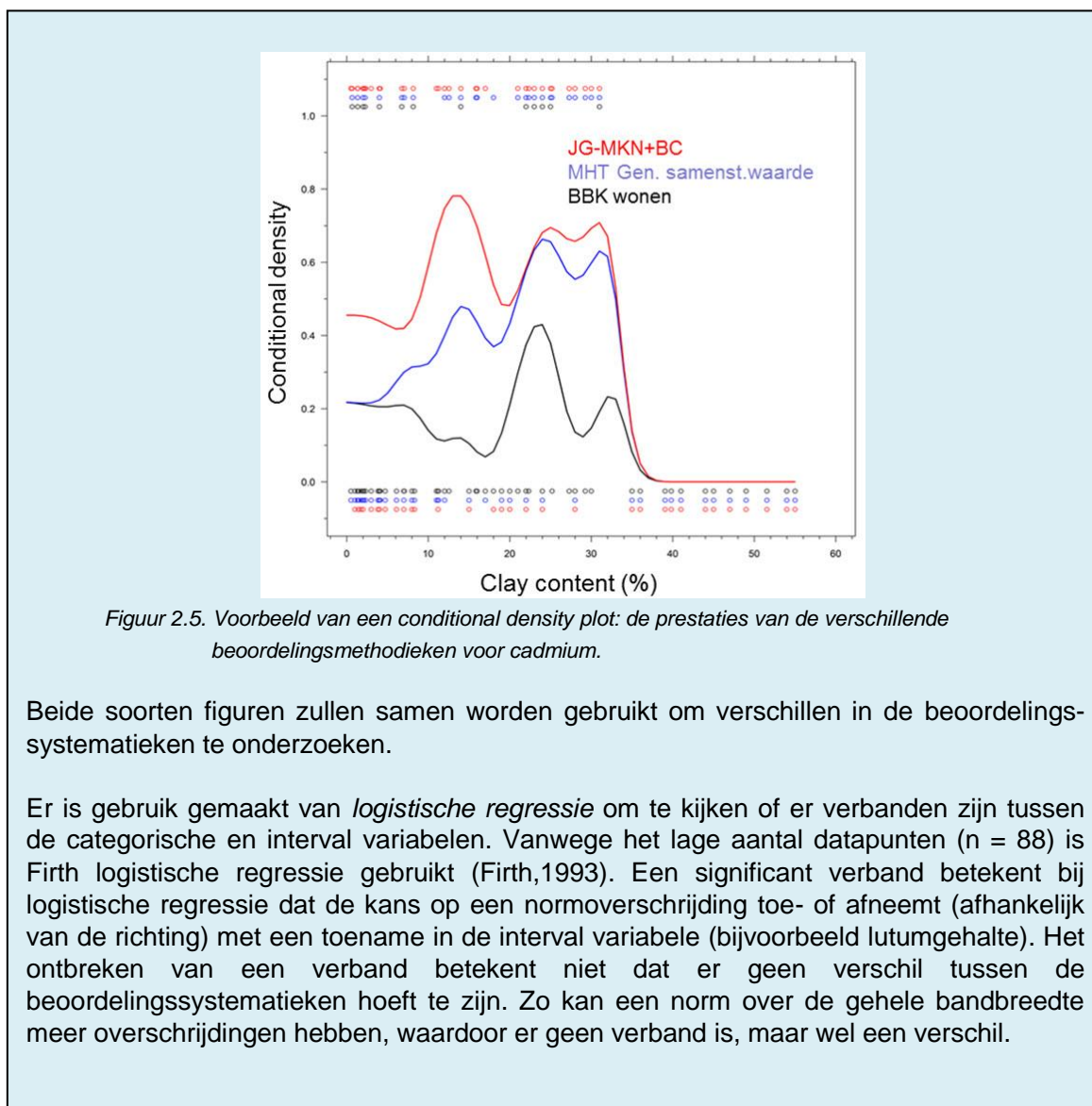
In de analyse worden de termen *fout-positief*, *fout-negatief*, *terecht-positief* en *terecht-negatief* gebruikt wanneer twee beoordelingssystematieken worden vergeleken. Bij deze termen wordt verondersteld dat de nieuwe beoordelingssystematieken uit het MHT correct zijn. Met deze veronderstelling betekent de term *fout-positief*, dat gronden volgens het Bbk voldoen voor de functie Wonen (= "PASS"), terwijl ze volgens het MHT niet voldoen aan de criteria (= "FAIL"). Het omgekeerde is waar voor *fout-negatief*: voldoet niet volgens Bbk Wonen en volgens het MHT wel. Bij *terecht-positief* en *terecht-negatief* hebben de beoordelingssystematieken dezelfde beoordeling: positief, dan wel negatief.

Verder worden er *spinogrammen* en *conditional density plots* gebruikt. Beide zetten een categorische variabele (binair, bijvoorbeeld "PASS" en "FAIL") uit tegen een interval variabele (continu). Spinogrammen zijn een soort staafdiagrammen, waarbij de verdeling tussen bijvoorbeeld "PASS" en "FAIL" wordt aangegeven voor een interval variabele, bijvoorbeeld het percentage lutumgehalte. De breedte van de staven geven de relatieve frequentie weer. Voordeel hiervan, is dat de frequentie van waarden zichtbaar wordt, het nadeel is dat de x-as niet meer linear is.



Figuur 2.4. Voorbeeld van spinogrammen.

Conditional density plots zetten eveneens een categorische variabele uit tegen een interval variabele. Bij de conditional density plots is de x-as echter wel linear. Deze plots zijn bruikbaar voor x-waarden met veel datapunten, maar worden minder betrouwbaar bij een lagere datadichtheid, daarom zijn de datapunten ook geplot, zodat hier rekening mee gehouden kan worden bij visuele inspectie.



Beide soorten figuren zullen samen worden gebruikt om verschillen in de beoordelings-systematieken te onderzoeken.

Er is gebruik gemaakt van *logistische regressie* om te kijken of er verbanden zijn tussen de categorische en interval variabelen. Vanwege het lage aantal datapunten ( $n = 88$ ) is Firth logistische regressie gebruikt (Firth, 1993). Een significant verband betekent bij logistische regressie dat de kans op een normoverschrijding toe- of afneemt (afhankelijk van de richting) met een toename in de interval variabele (bijvoorbeeld lutumgehalte). Het ontbreken van een verband betekent niet dat er geen verschil tussen de beoordelingssystematieken hoeft te zijn. Zo kan een norm over de gehele bandbreedte meer overschrijdingen hebben, waardoor er geen verband is, maar wel een verschil.

## 2.5 Conversiefactoren AR-AN

In het Milieuhygiënisch Toetsingskader zijn factoren vermeld die de relatie aangeven tussen de analyse van metalen in grond met *aqua regia* (AR) en met *aqua nitrosa* (AN). Deze factoren zouden mogelijk gebruikt kunnen worden in een overgangsregeling om ontbrekende gegevens aan te kunnen vullen door middel van omrekening. Aangezien de verhouding van AR/AN in zekere zin berust op (geo)chemische, mechanistische grondslagen zou een dergelijke verkenning legitiem zijn.

Voor dit onderdeel zijn de ratio's tussen metaalgehalten via AR en AN vergeleken met de ratio's zoals vermeld in het MHT. Hierbij zijn statistische significantietesten (T-testen) uitgevoerd. De vergelijking is gedaan voor zowel de individuele metalen als de database als geheel. Voor de individuele metalen is een *two sample* T-test gebruikt, waarbij de individuele ratio's worden vergeleken met de individuele ratio's uit het MHT. De totaalvergelijking, waarbij de ratio's van alle metalen uit het MHT worden vergeleken met de ratio's van alle metalen uit

deze studie, worden gedaan door middel van niet-normaal verdeelde analyse met ongelijke variantie.

De berekende betrouwbaarheden (p-waarden) zijn vergeleken met verschillende significantie niveaus ( $\alpha$ ). Wanneer de berekende p-waarde hoger is dan het significantie niveau dan is er geen significant verschil tussen de ratio uit het MHT en de berekende ratio uit deze studie met de uitgebreide database van grondpartijen.

Er is tevens gekeken naar de mogelijkheid tot categorisering; hierbij wordt onderzocht of gronden met een bepaalde overeenkomstige samenstelling andere conversiefactoren oplevert dan gronden met een significant andere samenstelling door middel van clustering van gegevens. Doel hiervan is om een zo hoog mogelijke betrouwbaarheid van conversiefactoren per metaal te verkrijgen.



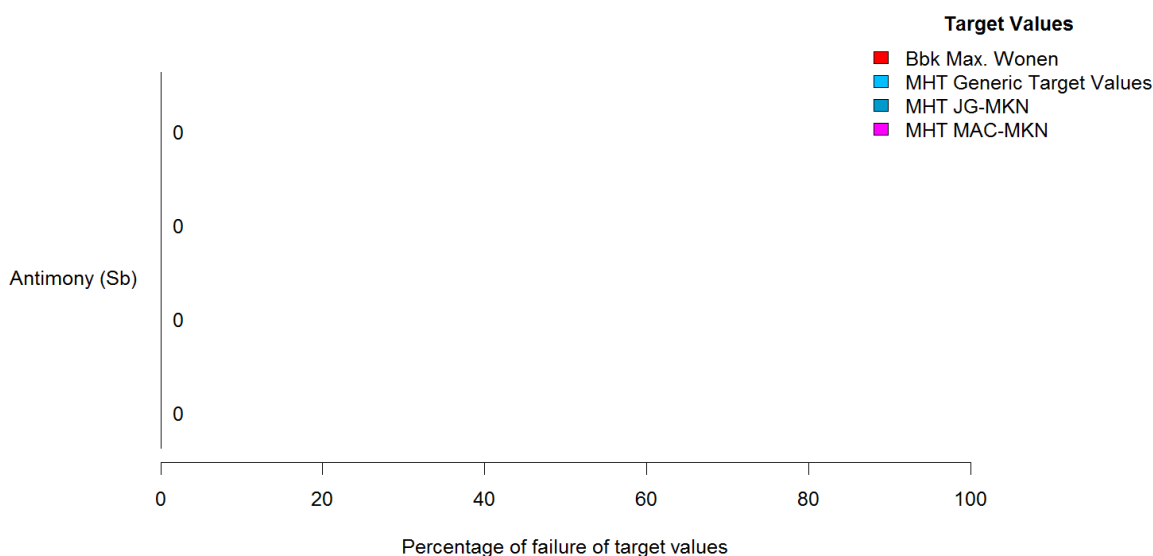
### 3 Resultaten toetsing

Grondpartijen die de maximale waarden voor industrie overschrijden worden niet toegepast voor verondieping. Gronden uit de database die de maximale waarden voor industrie voor één of meerdere metalen overschreed zijn daarom uitgesloten van verdere analyse. Hierdoor zijn er 88 gronden overgebleven. Voor antimoon en vanadium zijn er 74 gronden, voor molybdeen 55 en voor tin 29.

NB: De in de figuren vermelde *Generic Target Values* zijn de Generieke samenstellingswaarden (+AW) uit het MHT. *BC=Background concentration* =Achtergrondwaarde.

#### 3.1 Antimoon

Het percentage normoverschrijdingen voor antimoon is weergegeven in Figuur 3.1. Voor antimoon geldt dat er geen achtergrondconcentratie correctie toegepast mag worden voor de JG-MKN en de MAC-MKN.



Figuur 3.1. Percentage normoverschrijdingen van antimoon voor de verschillende beoordelingssystematieken.  
N = 74. Gebruikte pH = 7.

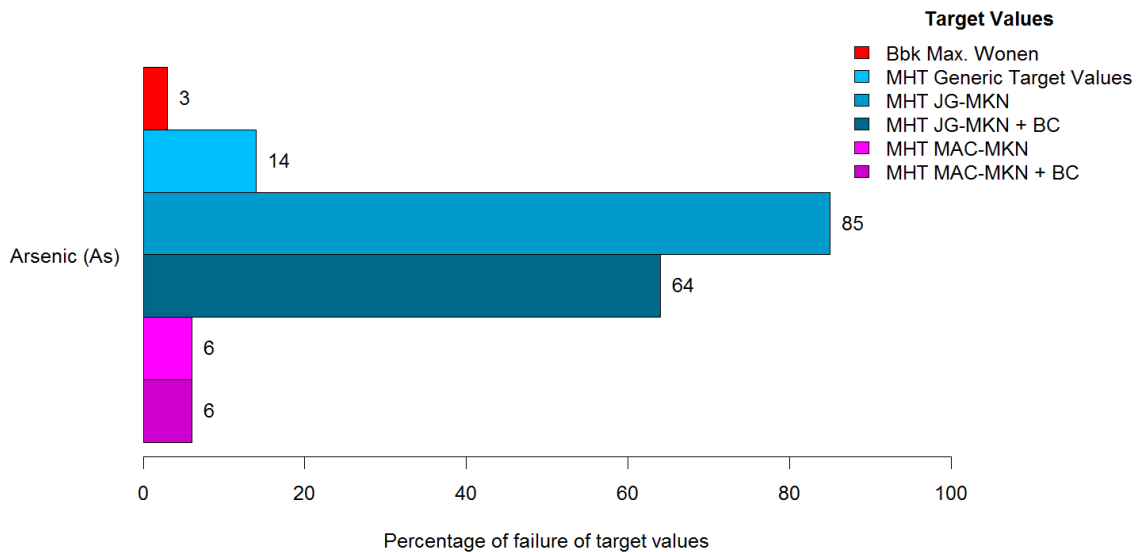
De verschillende beoordelingssystematieken komen overeen: antimoon overschrijdt geen enkele norm.

#### 3.2 Arseen

##### 3.2.1 Normoverschrijdingen

Het percentage normoverschrijdingen voor arseen is weergegeven in Figuur 3.2.

Arseen overschrijdt voor alle beoordelingssystematieken de norm. 3% voor Bbk Wonen, 14% voor de generieke samenstellingswaarden uit het MHT en 85% voor de JG-MKN, waarbij de achtergrondconcentratie correctie een vermindering van 21 procentpunt laat zien. De MAC-MKN wordt in 6% van de gronden overschreden. Een correctie laat hierbij geen verbetering zien.



Figuur 3.2. Percentage normoverschrijdingen van arseen voor de verschillende beoordelingssystematieken. BC is correctie met de achtergrondconcentratie. N = 88. Gebruikte pH = 7.

### 3.2.2 Fout-positief

Tabel 3.1 laat de percentages foute en terechte beoordelingen voor arseen zien. Het Bbk laat 10% (generiek) en 60% (JG-MKN) van de gronden door, terwijl deze door de beoordelingssystematieken uit het MHT wel als normoverschrijdend worden beschouwd. Er worden geen fout-negatieve beoordelingen gedaan.

Tabel 3.1. Percentage fout-positief, fout-negatief, terecht-positief en terecht-negatief beoordelingen tussen de verschillende beoordelingssystematieken voor arseen.

|   | Fout Positief (%) | Fout Negatief (%) | Terecht Positief (%) | Terecht Negatief (%) | $\Sigma$ (%) | n (#) |
|---|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|--------------|-------|
| Bbk Max. Wonen vs. MHT Generic Target Values  | 10                | 0                 | 86                   | 3                    | 99           | 88    |
| Bbk Max. Wonen vs. MHT JG-MKN + AC            | 60                | 0                 | 36                   | 3                    | 99           | 88    |
| MHT Generic Target Values vs. MHT JG-MKN + AC | 50                | 0                 | 36                   | 14                   | 100          | 88    |

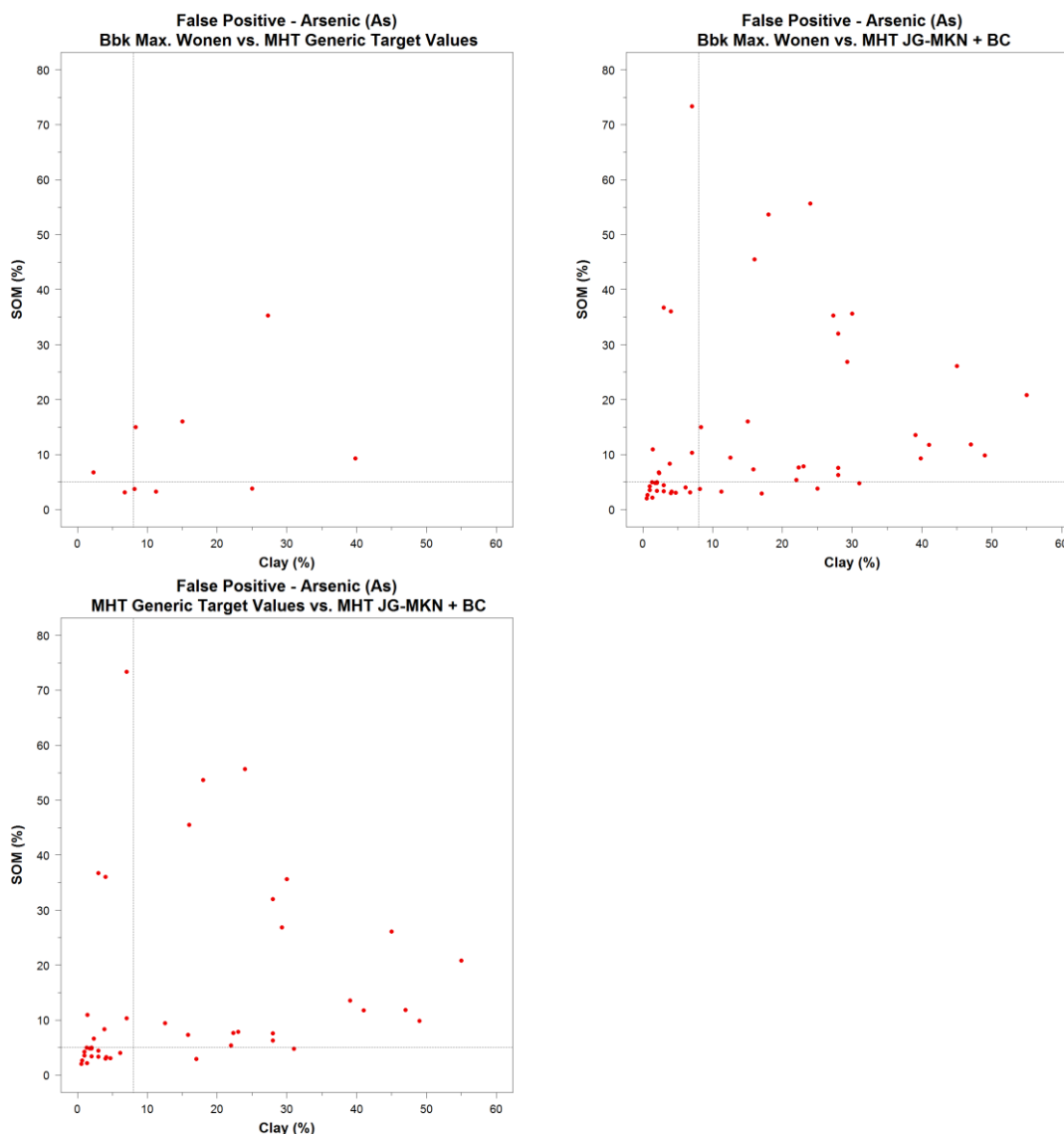
Fout-Positief: First = PASS, Second = FAIL (bijv. Bbk Max. Wonen (PASS) vs. MHT Generic Target Values (FAIL))

Fout-Negatief: First = FAIL, Second = PASS

Terecht-Positief: First = PASS, Second = PASS

Terecht-Negatief: First = FAIL, Second = FAIL

Figuur 3.3 geeft de positionering van de gronden voor de fout-positieve normoverschrijdingen weer.

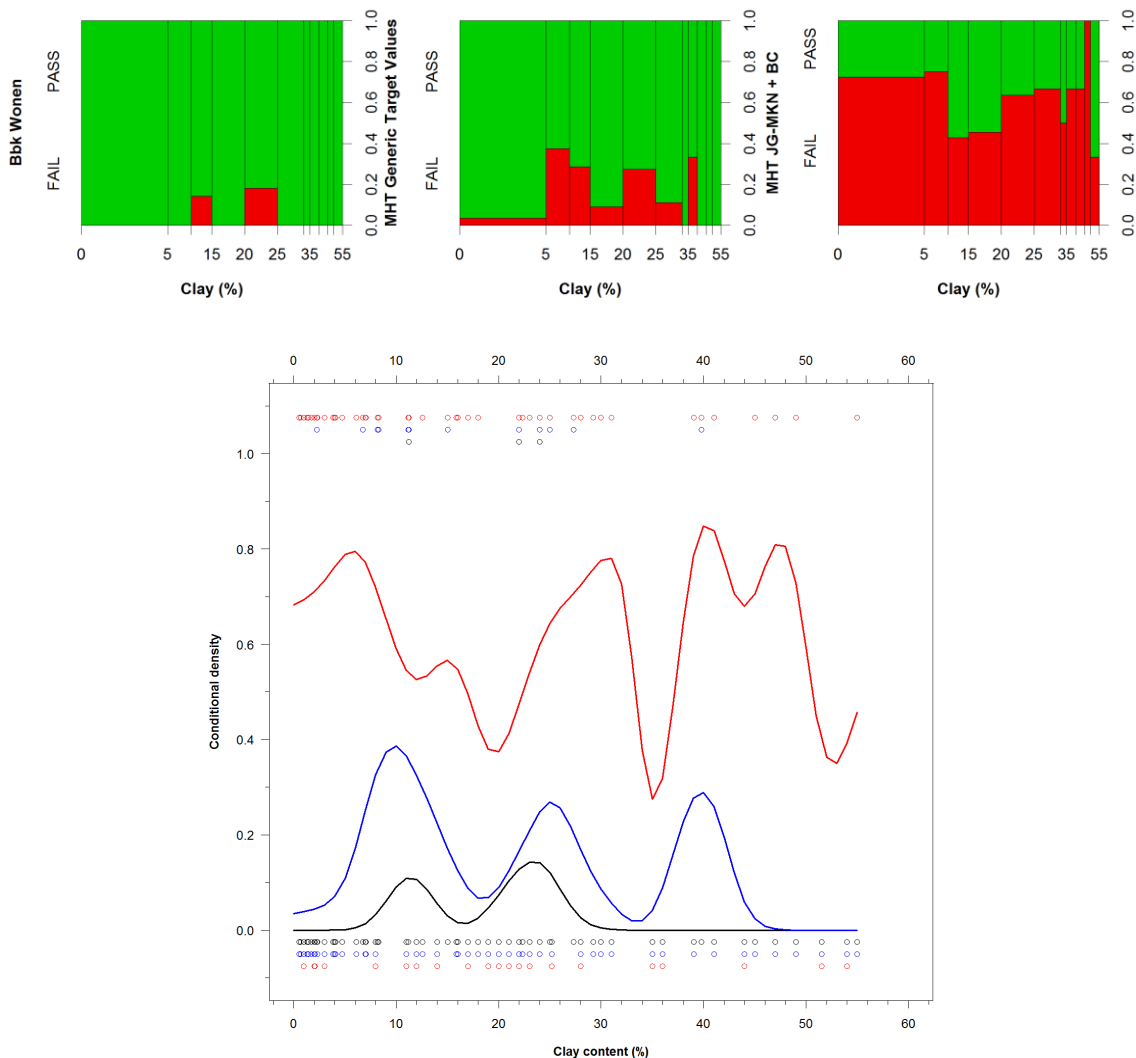


Figuur 3.3. Positionering van de gronden voor de fout-positieve normoverschrijdingen van arseen: Bbk Wonen vs. generieke samenstellingswaarden MHT (linksboven), Bbk Wonen vs. MHT JG-MKN + AC (rechtsboven) en generieke samenstellingswaarden MHT vs. MHT JG-MKN + AC (linksonder). Verticale lijn is de bodemkundige zandgrens (lutumgehalte van 8%). Horizontale lijn is 5% organisch stofgehalte.

### 3.2.3 Verschillen

#### Klei

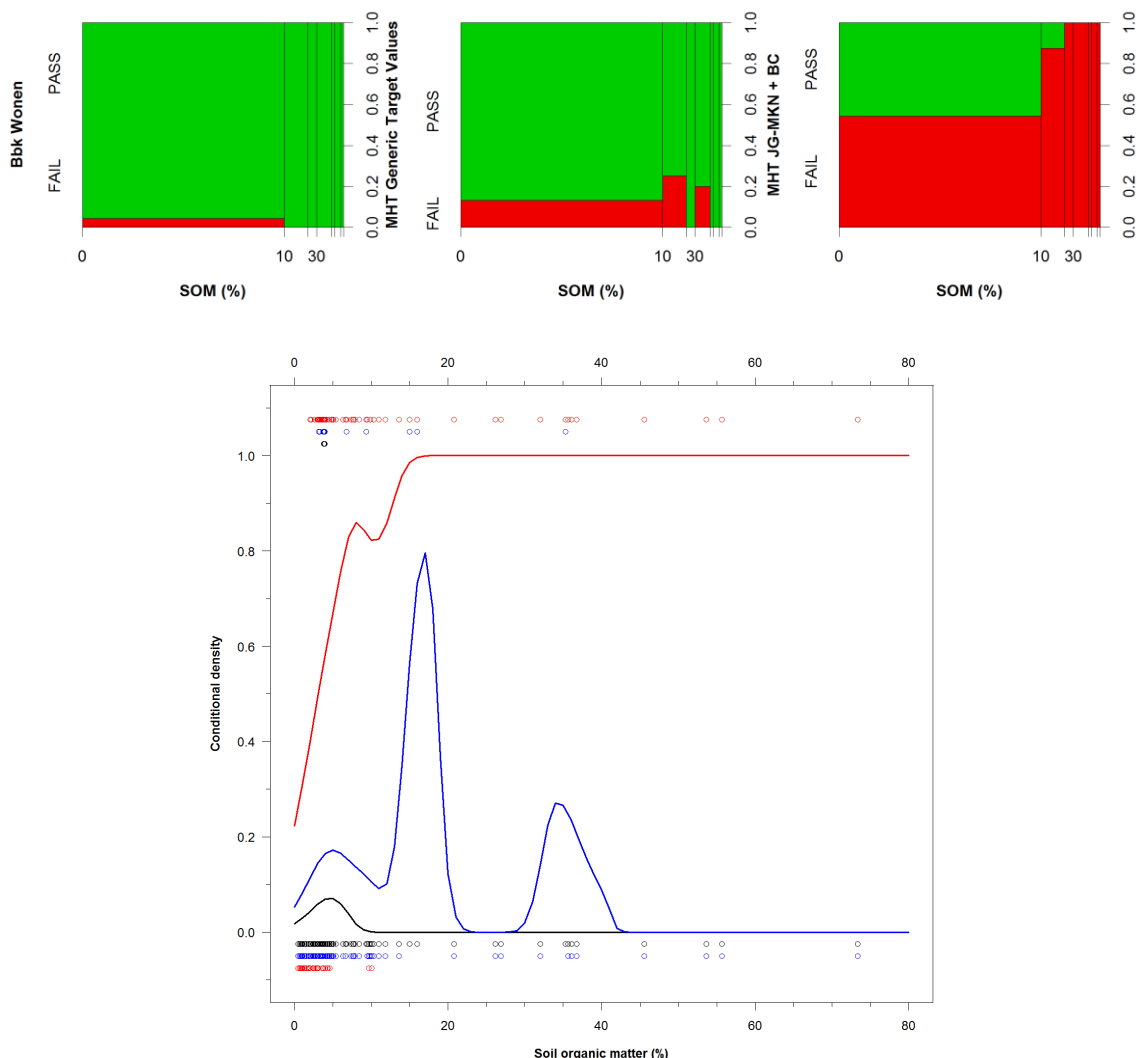
Uit Figuur 3.3 en Figuur 3.4 is op te maken dat de beoordelingssystematieken van elkaar verschillen. Voor alle drie de normen zijn de overschrijdingen echter gespreid over de lutumbreedte, waardoor er geen verband met een toename van lutum te zien is (Bbk Wonen,  $p = 0.651$ ; MHT Generiek,  $p = 0.922$ ; MHT JG-MKN,  $p = 0.473$ ). Vooral JG-MKN heeft over de hele breedte een hoger overschrijdingspercentage.



Figuur 3.4. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor arseen (FAIL) ten opzichte van het lutumgehalte (%) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor arseen ten opzichte van het lutumgehalte (%) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

**Organisch stofgehalte**

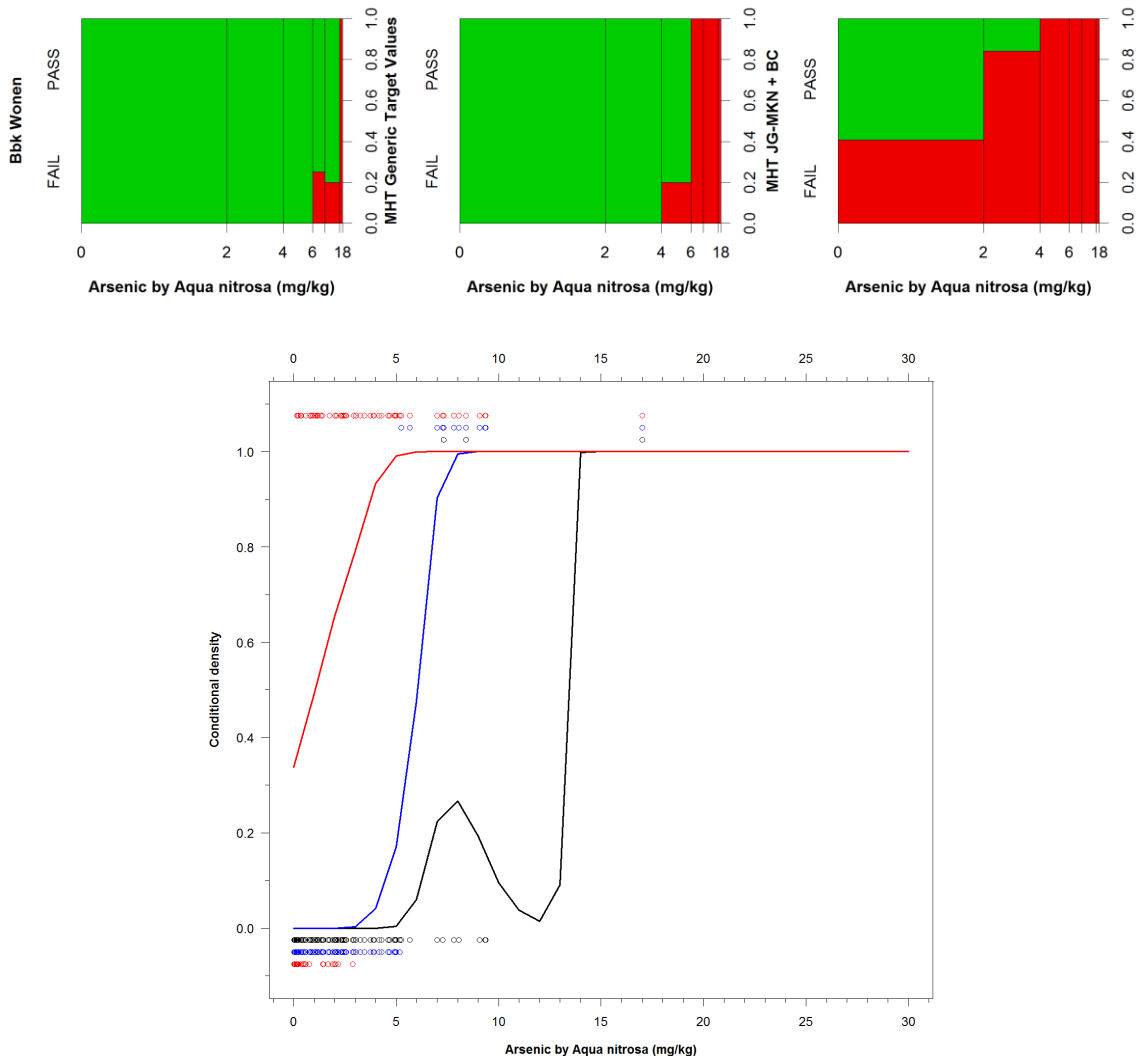
Ook voor het organisch stofgehalte verschillen de normen van elkaar, waarbij de JG-MKN een positief verband laat zien (Bbk Wonen,  $p = 0.971$ ; MHT Generiek,  $p = 0.898$ ; MHT JG-MKN,  $p = <0,001$ ). De JG-MKN heeft een hoger overschrijdingspercentage voor 2-5% organische stof, en vanaf 5% organische stof overschrijdt vrijwel elke grond de norm. De overschrijdingen van het Bbk Wonen zijn gecentreerd rond 5%, waarbij de generieke samenstellingswaarden een bredere range hebben (Figuur 3.5).



Figuur 3.5. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor arseen (FAIL) ten opzichte van het organisch stofgehalte (%) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor arseen ten opzichte van het organisch stofgehalte (%) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

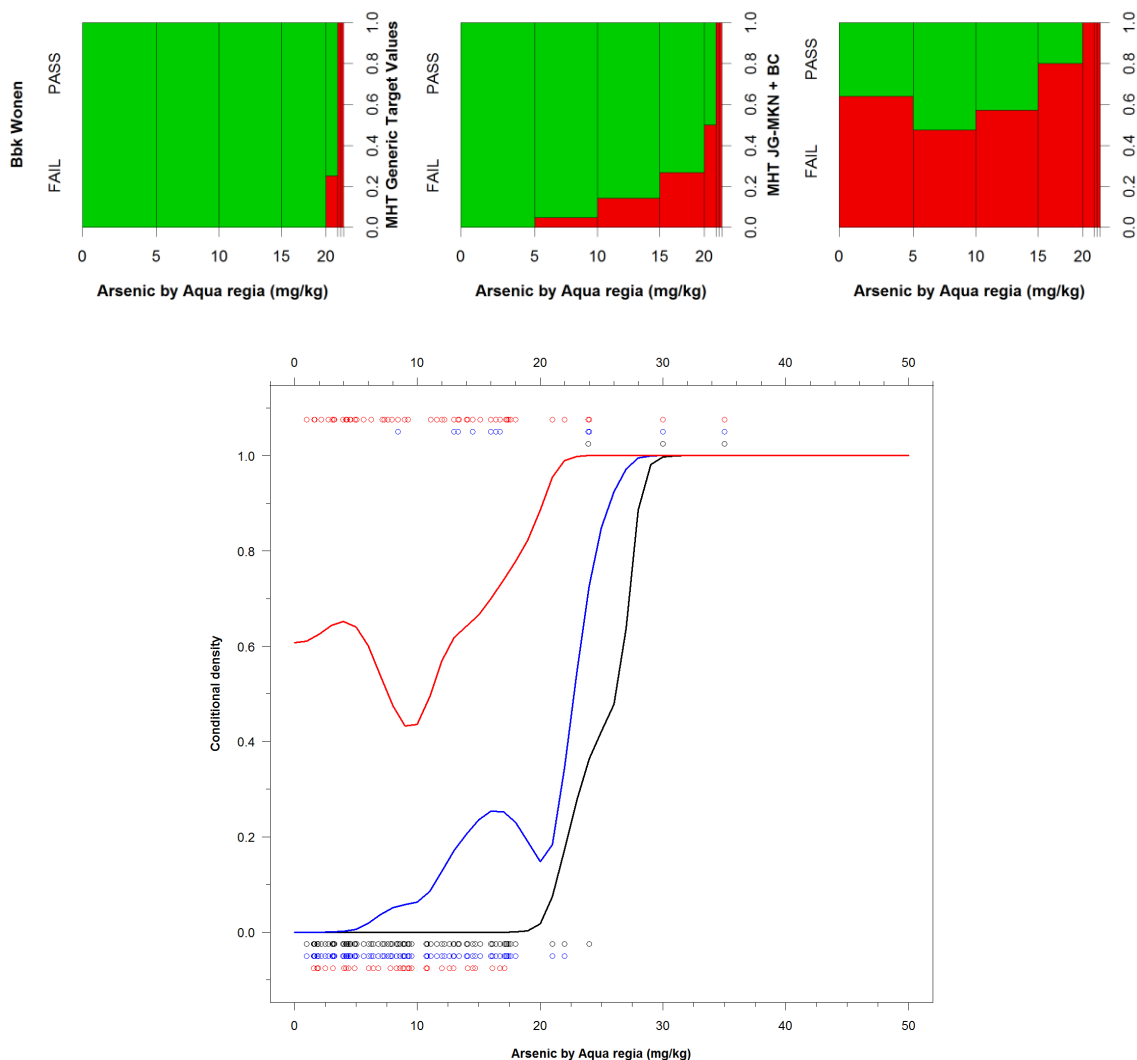
### Verontreinigingsgraad

Voor alle drie beoordelingssystematieken is er een verband tussen de overschrijdingen en een toenemend arseengehalte via *aqua nitrosa* (Figuur 3.6) (Bbk Wonen,  $p = <0,001$ ; MHT Generiek,  $p = <0,001$ ; MHT JG-MKN,  $p = <0,001$ ). De generieke samenstellingswaarde voor arseen is 5,2 mg/kg (met achtergrondcorrectie). Vanaf 3 mg/kg overschrijden vrijwel alle gronden de norm, waardoor de JG-MKN strenger is dan de generieke samenstellingswaarde.



Figuur 3.6. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor arseen (FAIL) ten opzichte van het arseengehalte via aqua nitrosa (mg/kg) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor arseen ten opzichte van het arseengehalte via aqua nitrosa (mg/kg) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

Voor *aqua regia* laten Bbk Wonen en de generieke samenstellingswaarde een positief verband zien (Bbk Wonen,  $p = <0,001$ ; MHT Generiek,  $p = <0,001$ ; MHT JG-MKN,  $p = 0.091$ ).



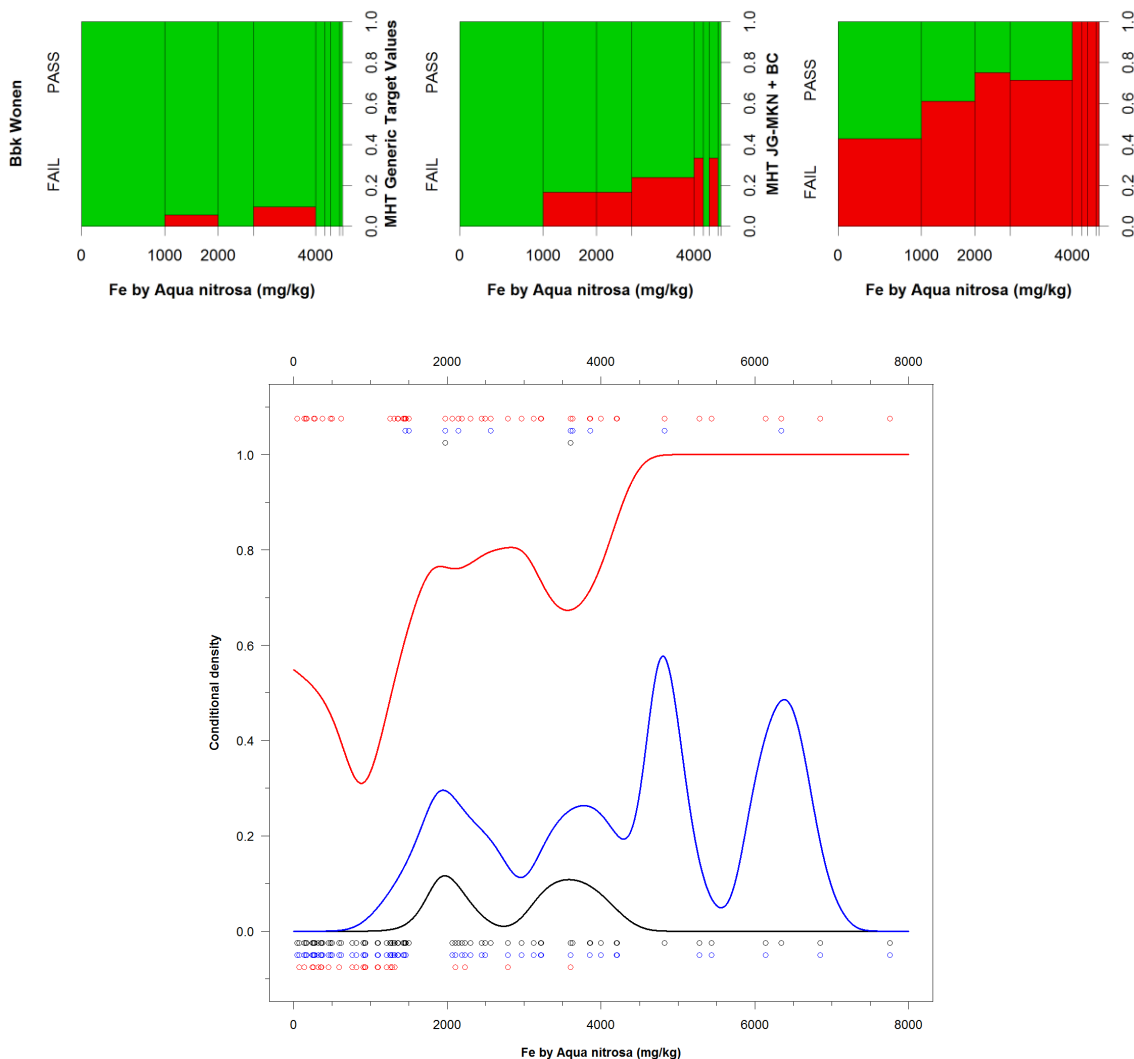
Figuur 3.7. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor arseen (FAIL) ten opzichte van het arseengehalte via aqua regia (mg/kg) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor arseen ten opzichte van het arseengehalte via aqua regia (mg/kg) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

De aqua regia norm ligt voor arseen op 27 mg/kg. Volgens de systematieken uit het MHT zijn de gronden normoverschrijdend voor > 13 mg/kg (generiek), of voor de gehele bandbreedte (JG-MKN) (Figuur 3.7).

### IJzer

In het MHT wordt vermeld dat de mobilisatie van arseen gerelateerd is aan de verschillende ijzerfracties. In de database zijn wel de niet-kristallijne (via aqua nitrosa) ijzergehalten aanwezig, maar niet het gemakkelijk oplosbare deel (1 mM CaCl<sub>2</sub> extractie). Daarom wordt er

alleen gekeken naar de relatie met ijzer via *aqua nitrosa*. Volgens logistische regressie is er wel een verband aanwezig voor de MHT systematieken, maar niet voor het Bbk Wonen (Bbk Wonen,  $p = 0.328$ ; MHT Generiek,  $p = 0.027$ ; MHT JG-MKN,  $p = 0.002$ ). De overschrijdingen voor de generieke samenstellingswaarde variëren overwegend tussen de 1200 en 3600 mg/kg (Figuur 3.8). Tussen de 0 en 600 mg/kg zijn er voor de JG-MKN ongeveer evenveel gronden die de norm overschrijden als niet. Normoverschrijding vindt vooral plaats vanaf ijzergehalten groter dan 1200 mg/kg.



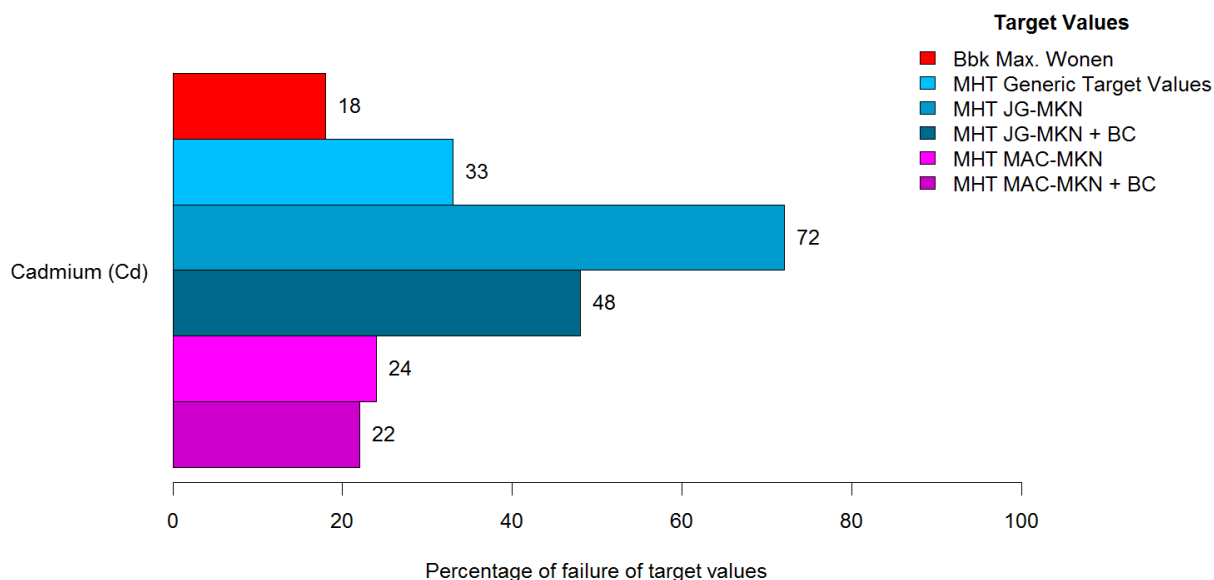
Figuur 3.8. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor arseen (FAIL) ten opzichte van het ijzergehalte via *aqua nitrosa* (mg/kg) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor arseen ten opzichte van het ijzergehalte via *aqua nitrosa* (mg/kg) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.



### 3.3 Cadmium

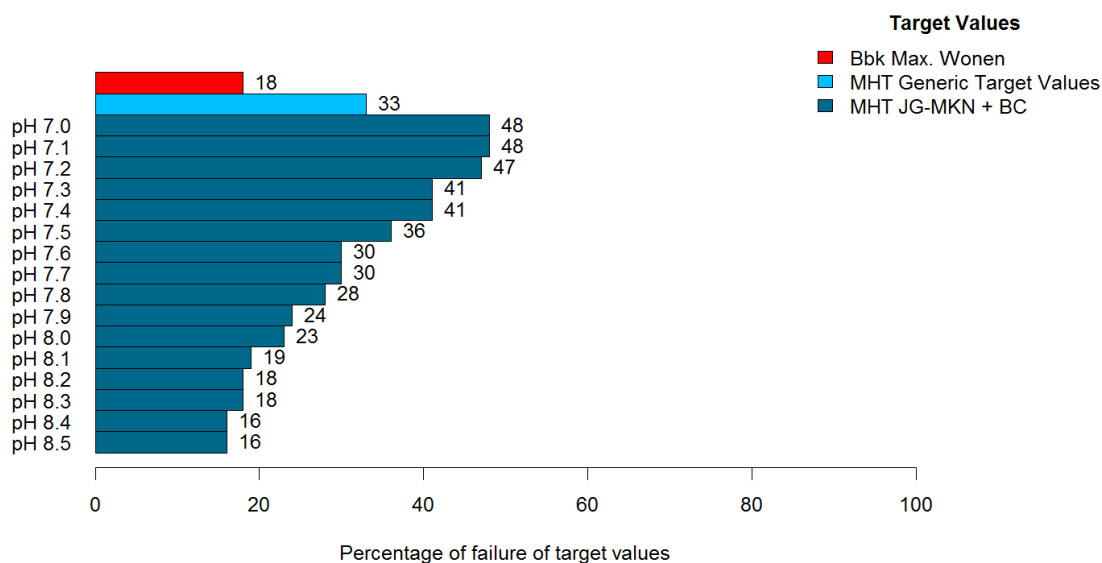
#### 3.3.1 Normoverschrijdingen

Figuur 3.9 laat het percentage normoverschrijdingen van cadmium zien.



Figuur 3.9. Percentage normoverschrijdingen van cadmium voor de verschillende beoordelingssystematieken. BC is correctie met de achtergrondconcentratie. N = 88. Gebruikte pH = 7.

Cadmium overschrijdt de verschillende normen bij een pH van 7: 18% voor Bbk Wonen, 33% voor de generieke samenstellingswaarden van het MHT, en 48% voor de JG-MKN + AC. 22 procentpunt van de JG-MKN + AC overschrijdt tevens de MAC-MKN + AC. De transferfunctie van cadmium is echter afhankelijk van de pH. Daarom is onderzocht hoe het percentage overschrijdingen verandert bij een variërende zuurgraad in een diepe plas, waarbij de zuurgraad in de range blijft van de zuurgraad die voorkomt bij diepe plassen (MHT, 2015). Dit is weergegeven in Figuur 3.10: het percentage overschrijdingen voor de JK-MKN + AC neemt af bij een toenemende pH. Bij een pH van 8,1 - een waarde die in grotere rivieren veelal in zomerperioden wordt aangetroffen - is het percentage overschrijdingen nagenoeg gelijk aan het percentage overschrijdingen voor het Bbk Wonen.



Figuur 3.10. Percentage normoverschrijdingen van cadmium voor de verschillende beoordelingssystematieken in de pH-range van diepe plassen. BC is correctie met de achtergrondconcentratie. N = 88.

### 3.3.2 Fout-positief

Tabel 3.2 laat de beoordelingen ten opzichte van elkaar zien.

Tabel 3.2. Percentage fout-positief, fout-negatief, terecht-positief en terecht-negatief beoordelingen tussen de verschillende beoordelingssystematieken voor cadmium.

|   | Fout Positief (%) | Fout Negatief (%) | Terecht Positief (%) | Terecht Negatief (%) | Σ (%) | n (#) |
|---|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|-------|-------|
| Bbk Max. Wonen vs. MHT Generic Target Values  | 15                | 0                 | 67                   | 18                   | 100   | 88    |
| Bbk Max. Wonen vs. MHT JG-MKN + AC            | 30                | 0                 | 52                   | 18                   | 100   | 88    |
| MHT Generic Target Values vs. MHT JG-MKN + AC | 16                | 1                 | 51                   | 32                   | 100   | 88    |

Fout-Positief: First = PASS, Second = FAIL (bijv. Bbk-Wonen (PASS) vs. MHT Generic Target Values (FAIL))

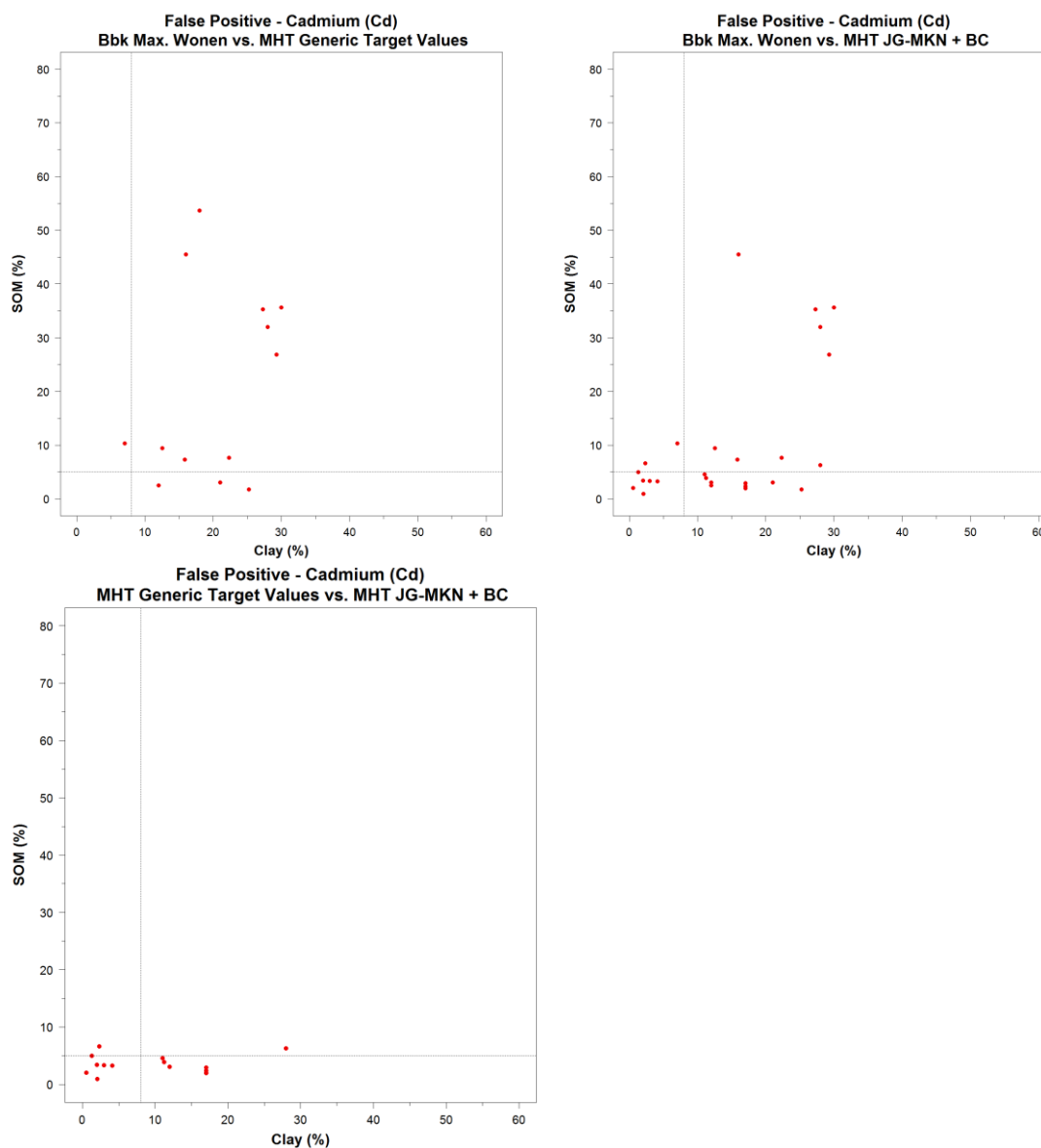
Fout-Negatief: First = FAIL, Second = PASS

Terecht-Positief: First = PASS, Second = PASS

Terecht-Negatief: First = FAIL, Second = FAIL

Het Bbk Wonen beschouwt, ten opzichte van de generieke samenstellingswaarden uit het MHT, ongeveer net zo veel gronden als fout-positief (15%) als dat er terechte normoverschrijdingen zijn (18%). Ten opzichte van de JG-MKN + AC, laat Bbk Wonen bijna het dubbele percentage gronden door als fout-positief (30%), als dat er terechte

normoverschrijdingen zijn (18%). Hoewel de generieke samenstellingswaarde 32% van de gronden terecht afkeurt, laat het toch nog 16% door ten opzichte van de JG-MKN + AC. De positionering van gronden die fout-positief zijn beoordeeld zijn te zien in Figuur 3.11.

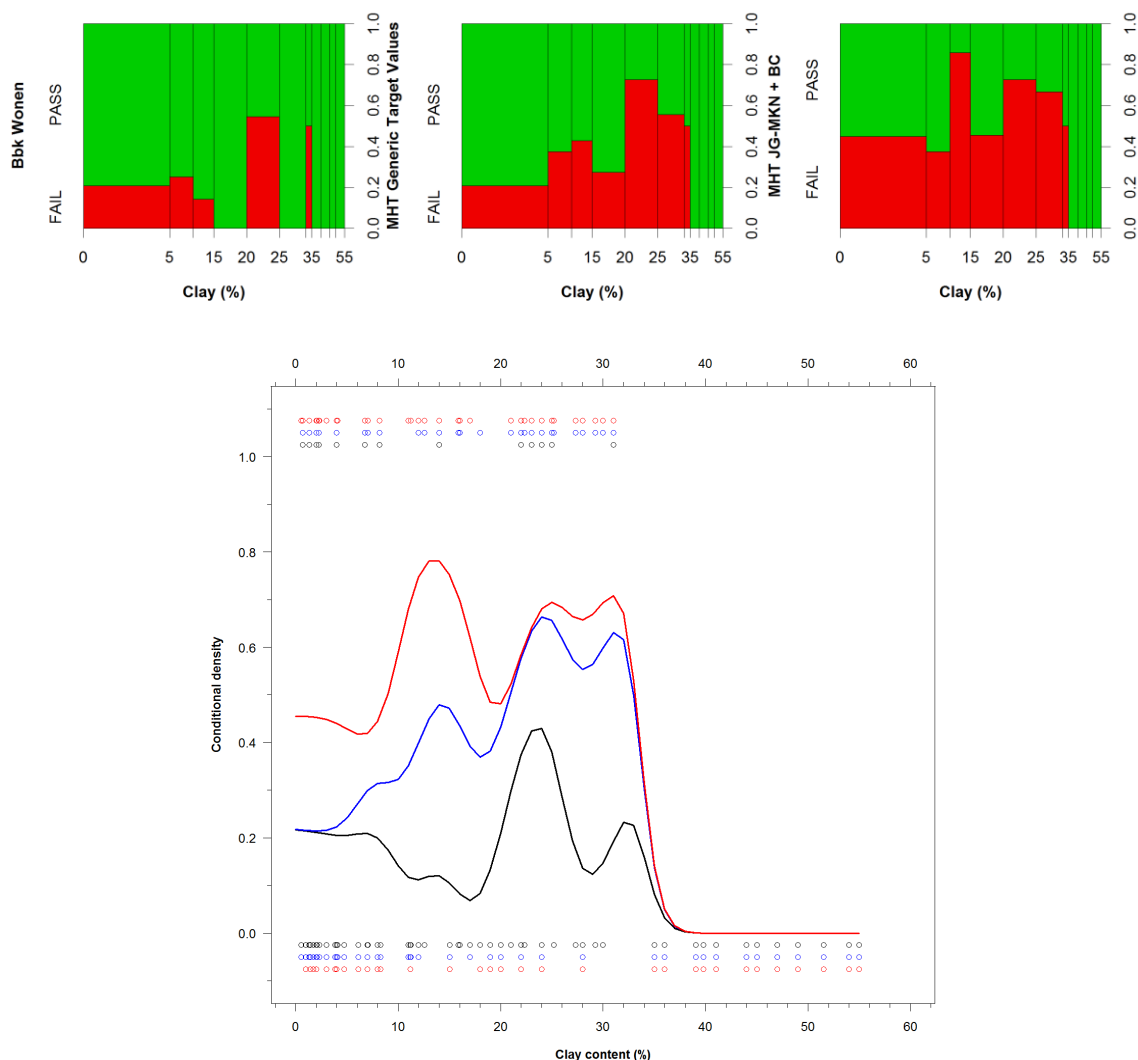


Figuur 3.11. Positionering van de gronden voor de fout-positieve normoverschrijdingen van cadmium: Bbk Wonen vs. generieke samenstellingswaarden MHT (linksboven), Bbk Wonen vs. MHT JG-MKN + AC (rechtsboven) en generieke samenstellingswaarden MHT vs. MHT JG-MKN + AC (linksonder). Verticale lijn is de bodemkundige zandgrens (lutumgehalte van 8%). Horizontale lijn is 5% organisch stofgehalte.

3.3.3 Verschillen

**Klei**

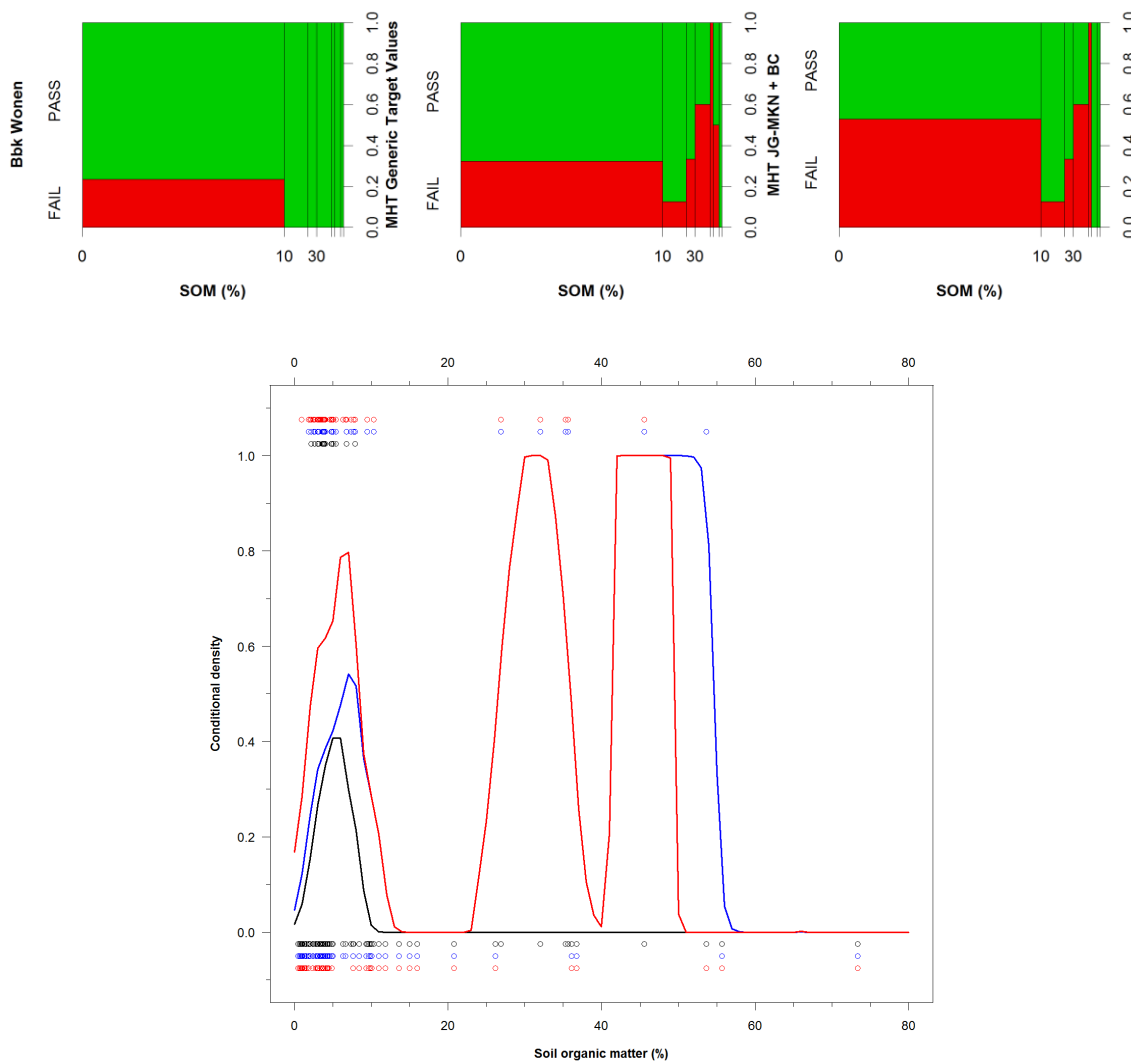
Uit Figuur 3.11 en Figuur 3.12 kan afgeleid worden dat de beoordelingssystematieken verschillen in de mate van normoverschrijdingen ten opzichte van het lutumgehalte (Bbk Wonen,  $p = 0.319$ ; MHT Generiek,  $p = 0.915$ ; MHT JG-MKN,  $p = 0.095$ ). Het Bbk Wonen wijkt af van de generieke samenstellingswaarden van het MHT voor een lutumgehalte tussen ongeveer de 8 en 32%. De JG-MKN + AC wijkt af van Bbk Wonen voor een lutumgehalte kleiner dan 32%. De beoordelingssystematieken van het MHT hebben hierbij een hogere kans op normoverschrijding. Voor gronden met een lutumgehalte kleiner dan 18% is de overschrijdingskans voor het JG-MKN + AC groter, dan voor de generieke samenstellingswaarden.



Figuur 3.12. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor cadmium (FAIL) ten opzichte van het lutumgehalte (%) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor cadmium ten opzichte van het lutumgehalte (%) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

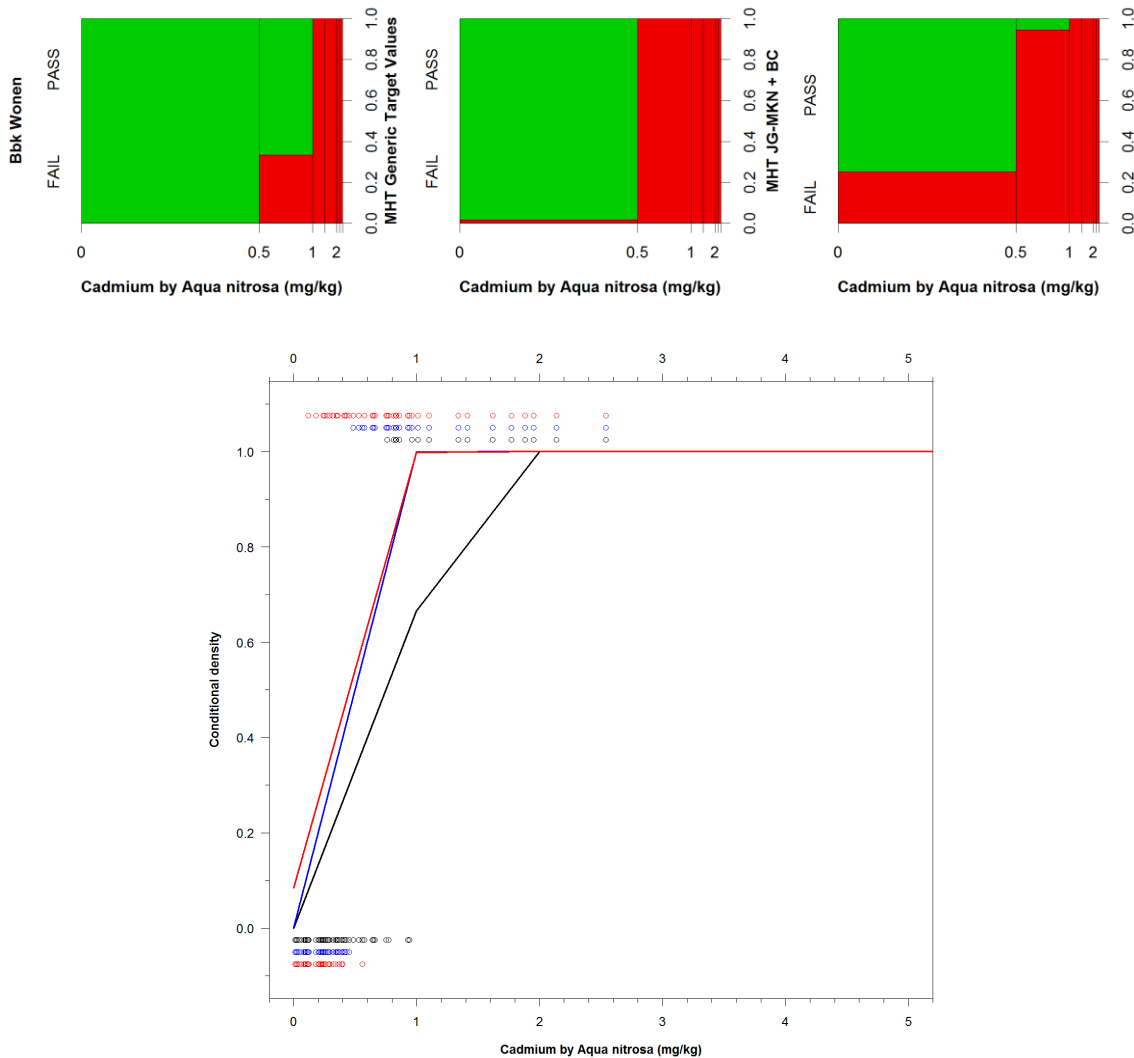
### Organisch stofgehalte

Figuur 3.11 en Figuur 3.13 laat zien dat het Bbk Wonen verschilt van de JG-MKN + AC voor een organisch stofgehalte kleiner dan 12%. De JG-MKN + AC verschilt van de generieke samenstellingswaarde voor een percentage van ongeveer 0-7%. Bij een organisch stofgehalte >20% wijken de beoordelingssystematieken significant af (Bbk Wonen,  $p = 0.082$ ; MHT Generiek,  $p = 0.287$ ; MHT JG-MKN,  $p = 0.336$ ).



Figuur 3.13. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor cadmium (FAIL) ten opzichte van het organisch stofgehalte (%) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor cadmium ten opzichte van het organisch stofgehalte (%) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

Verontreinigingsgraad

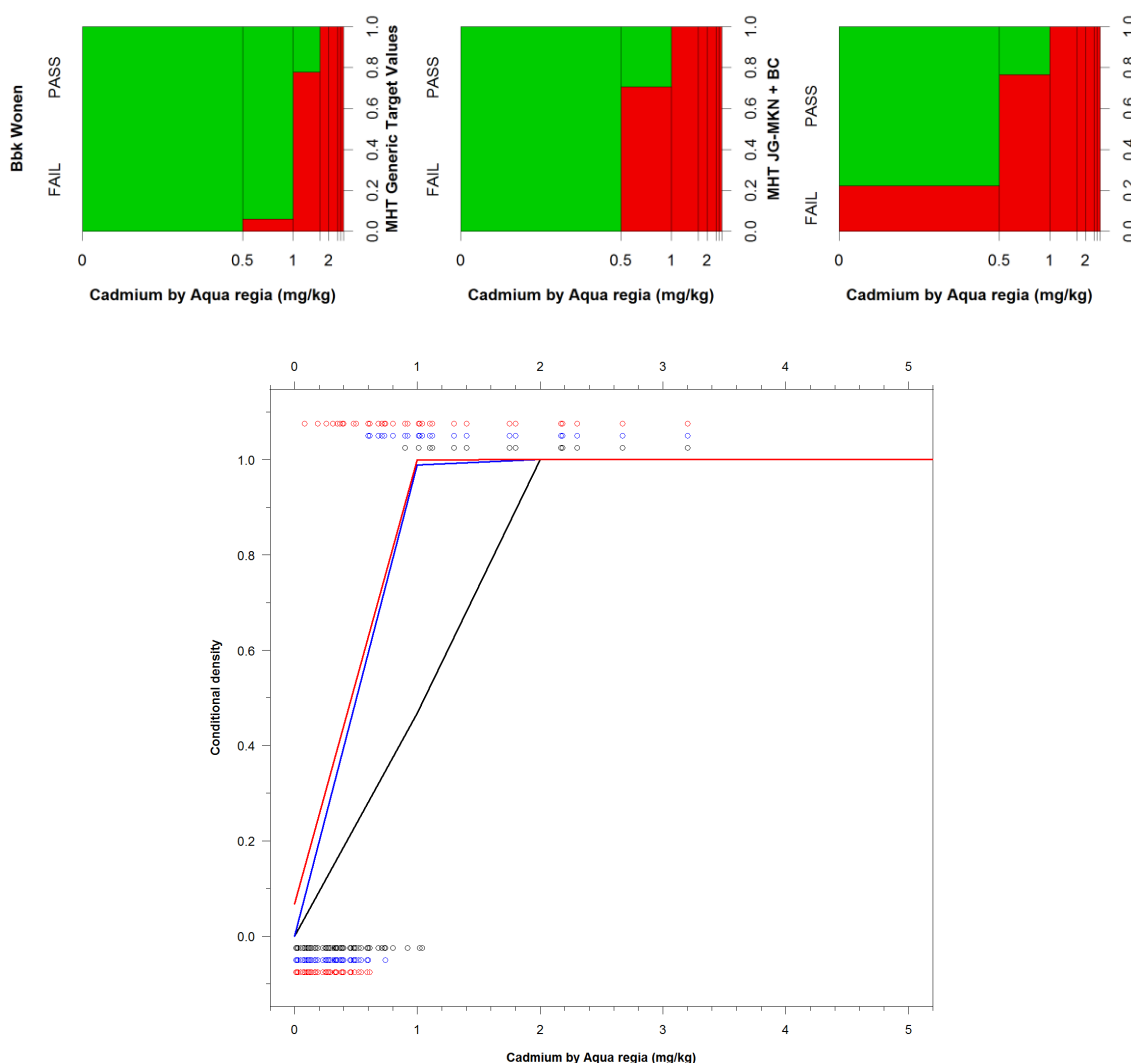


Figuur 3.14. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor cadmium (FAIL) ten opzichte van het cadmiumgehalte via aqua nitrosa (mg/kg) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor cadmium ten opzichte van het cadmiumgehalte via aqua nitrosa (mg/kg) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

Het cadmiumgehalte via aqua nitrosa waar de normoverschrijdingen toenemen verschilt per beoordelingssystematiek (Figuur 3.14). Alle drie hebben een verband tussen normoverschrijdingen en een toenemend cadmiumgehalte via aqua nitrosa (Bbk Wonen,  $p < 0,001$ ; MHT Generiek,  $p = 0$ ; MHT JG-MKN,  $p < 0,001$ ). De  $p = 0$  wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het feit dat de generieke samenstellingswaarde een harde norm heeft van 0,47 mg/kg. Boven deze waarde overschrijden gronden per definitie de norm. Het JG-MKN + AC overschrijdt rond de nul mg/kg al de norm, waar rond de 0,4 mg/kg vrijwel alle gronden norm overschrijdend worden. Het Bbk Wonen is rond de 0,7 mg/kg overwegend norm

overschrijdend. De beoordelingssystematieken vanuit het MHT overschrijden de norm dus eerder bij een lagere verontreinigingsgraad via *aqua nitrosa*.

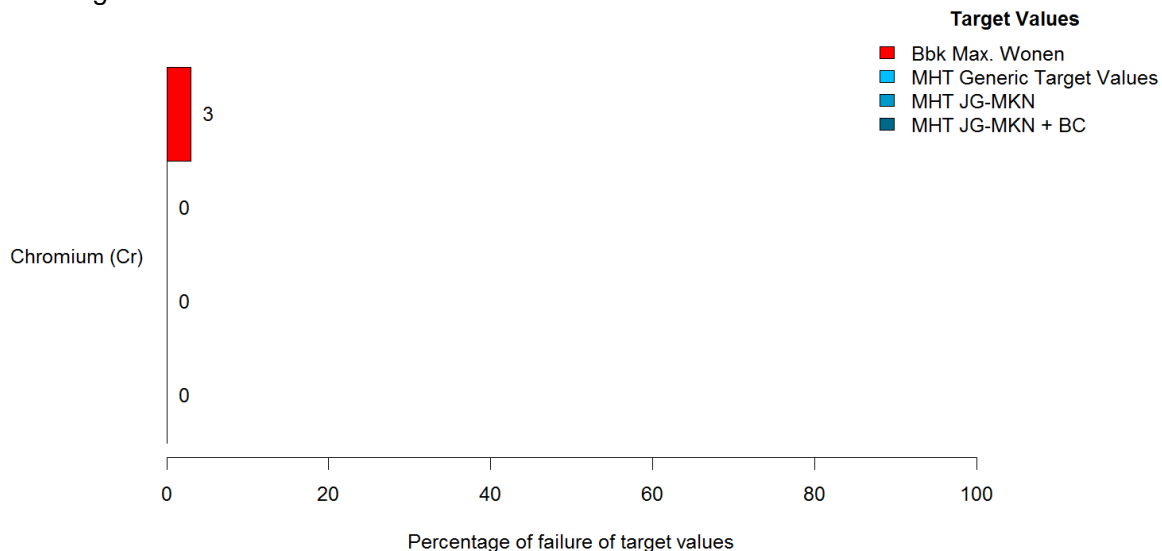
Eenzelfde beeld is te zien voor de cadmiumgehalten via *aqua regia* (Figuur 3.15) (Bbk Wonen,  $p = <0,001$ ; MHT Generiek,  $p = 0$ ; MHT JG-MKN,  $p = <0,001$ ). De JG-MKN + AC norm is al overschrijdend rond de nul mg/kg. De generieke samenstellingswaarde is overschrijdend rond de 0,6 mg/kg en het Bbk Wonen rond de 0,9 mg/kg. De maximale waarde kwaliteitsklasse Wonen voor cadmium ligt op 1,2 mg/kg, echter door de bodemtypecorrectie beginnen de overschrijdingen net daaronder.



Figuur 3.15. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor cadmium (FAIL) ten opzichte van het cadmiumgehalte via *aqua regia* (mg/kg) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor cadmium ten opzichte van het cadmiumgehalte via *aqua regia* (mg/kg) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

### 3.4 Chroom

In Figuur 3.16 staan de normoverschrijdingen van chroom. Chroom heeft geen MAC-waarde waaraan getoetst kan worden.



Figuur 3.16. Percentage normoverschrijdingen van chroom voor de verschillende beoordelingssystematieken. BC is correctie met de achtergrondconcentratie.  $N = 88$ . Gebruikte  $pH = 7$ .

Chroom overschrijdt in 3% van de gronden de norm van het Bbk Wonen. Er zijn geen overschrijdingen voor de normen uit het MHT. Het MHT is hierdoor iets soepeler dan het Bbk Wonen voor deze grondpartijen.

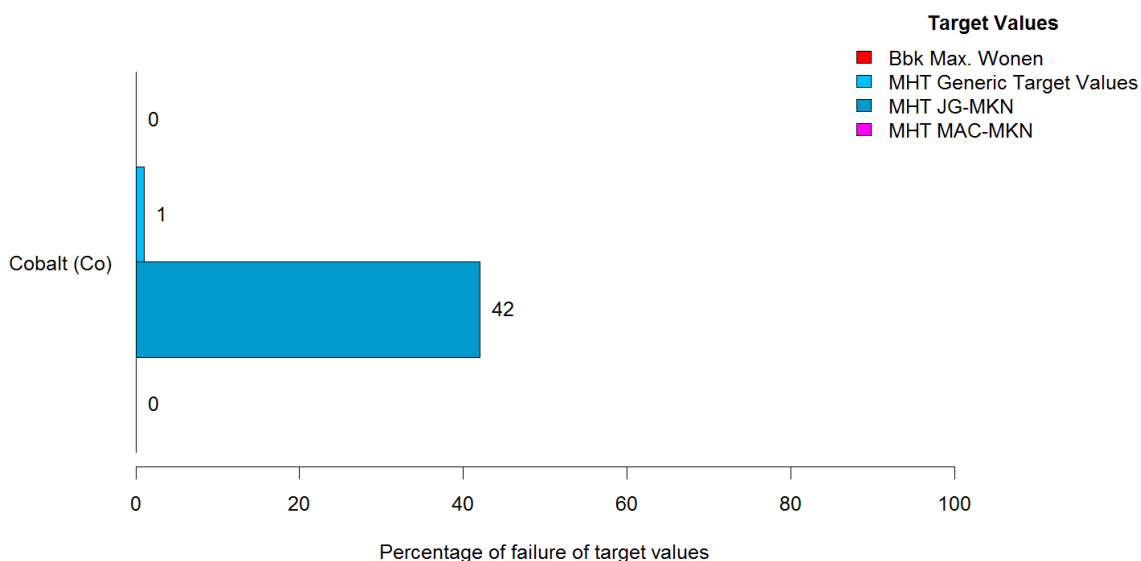
De JG-MKN overschrijdingen voor chroom zijn ook afhankelijk van de  $pH$ . De berekende opgelost concentraties voor chroom nemen af bij een toenemende zuurgraad. Dit zou betekenen dat, mochten er overschrijdingen zijn, het percentage overschrijdingen lager zou uitpakken bij een hogere  $pH$ .

### 3.5 Kobalt

#### 3.5.1 Normoverschrijdingen

Het percentage normoverschrijdingen voor kobalt is weergegeven in Figuur 3.17. De norm voor kobalt staat geen correctie met de achtergrondconcentratie toe.

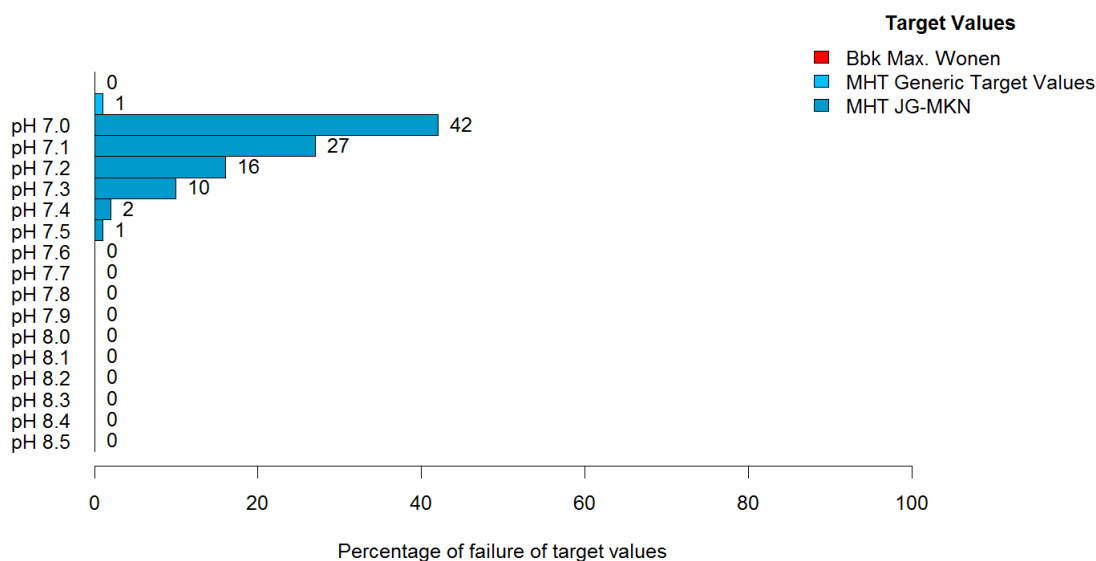




Figuur 3.17. Percentage normoverschrijdingen van kobalt voor de verschillende beoordelingssystematieken.  $N = 88$ . Gebruikte  $pH = 7$ .

De normoverschrijdingen voor kobalt voor Bbk Wonen en de generieke samenstellingswaarden vanuit het MHT zijn vrijwel gelijk, met respectievelijk 0% en 1%. De JG-MKN wordt met 42% overschreden. De MAC-MKN wordt niet overschreden.

Kobalt heeft de grootste pH-coëfficiënt van de gebruikte transferfuncties, waardoor potentiële normoverschrijdingen sterker afhankelijk zijn van de pH van de beoogde diepe plas. Figuur 3.18 illustreert hoe de pH van de plas het percentage normoverschrijdingen voor kobalt beïnvloedt, wanneer dezelfde gronden worden gebruikt. Vanaf een pH van 7,4 is het percentage overschrijdingen voor het JG-MKN nagenoeg gelijk aan het percentage overschrijdingen van het Bbk Wonen.



Figuur 3.18. Percentage normoverschrijdingen van kobalt voor de verschillende beoordelingssystematieken in de pH-range van diepe plassen. N = 88.

### 3.5.2 Fout-positief

Tabel 3.3 geeft het percentage fout-positieve beoordelingen. Hieruit blijkt dat bij een pH van 7 de vigerende wetgeving 42% van de gronden fout-positief beoordeelt. Zoals vermeld, kan dit percentage afnemen naar geen verschil met de vigerende wetgeving, afhankelijk van de pH in de plas.

Tabel 3.3. Percentage fout-positief, fout-negatief, terecht-positief en terecht-negatief beoordelingen tussen de verschillende beoordelingssystematieken voor kobalt.

|   | Fout Positief (%) | Fout Negatief (%) | Terecht Positief (%) | Terecht Negatief (%) | Σ (%) | n (#) |
|---|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|-------|-------|
| Bbk Max. Wonen vs. MHT Generic Target Values  | 1                 | 0                 | 99                   | 0                    | 100   | 88    |
| Bbk Max. Wonen vs. MHT JG-MKN + AC            | 42                | 0                 | 58                   | 0                    | 100   | 88    |
| MHT Generic Target Values vs. MHT JG-MKN + AC | 41                | 0                 | 58                   | 1                    | 100   | 88    |

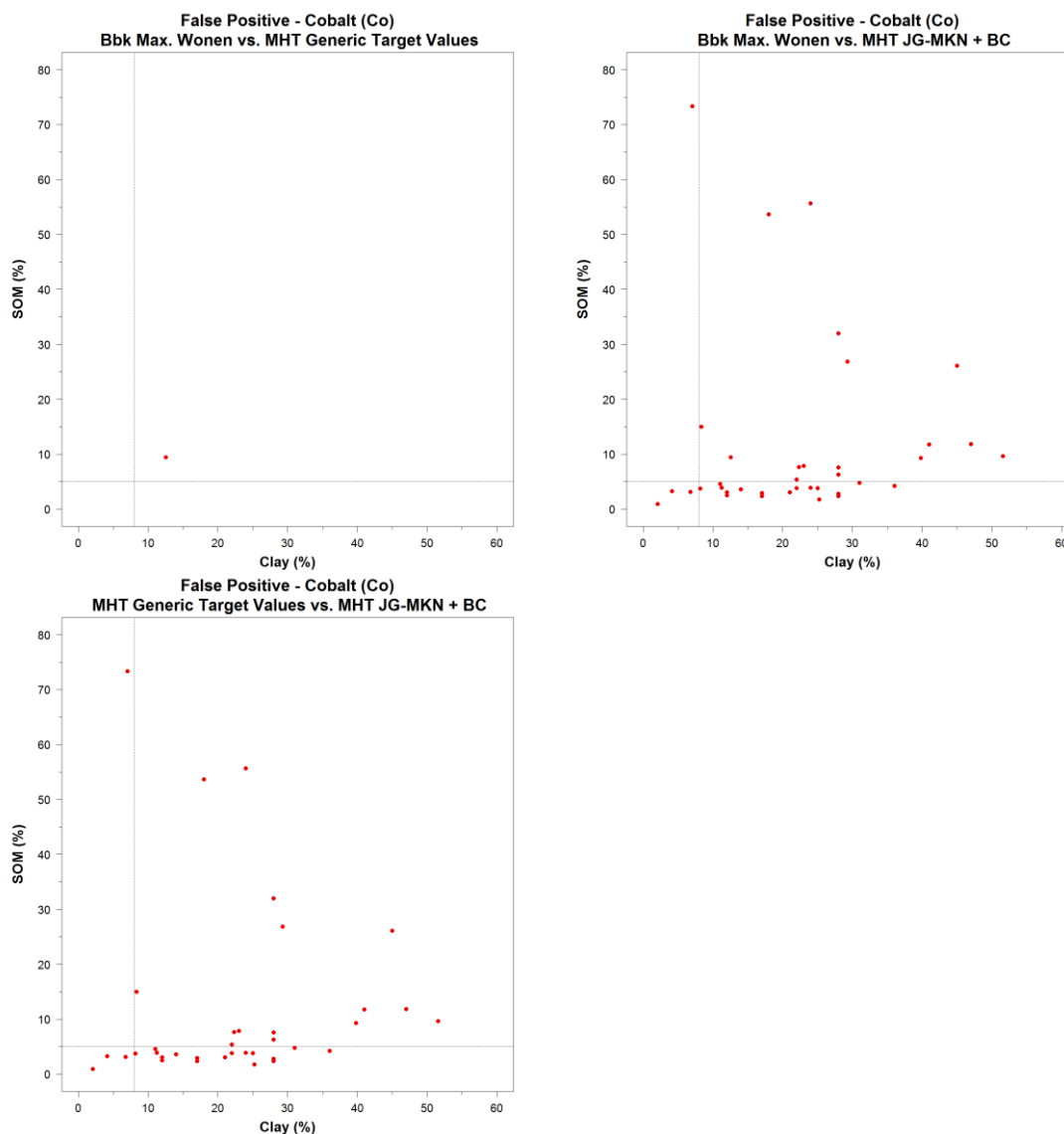
Fout-Positief: First = PASS, Second = FAIL (bijv. Bbk-Wonen (PASS) vs. MHT Generic Target Values (FAIL))

Fout-Negatief: First = FAIL, Second = PASS

Terecht-Positief: First = PASS, Second = PASS

Terecht-Negatief: First = FAIL, Second = FAIL

Figuur 3.19 geeft de visuele plaatsing van de fout-positieve normoverschrijdingen.

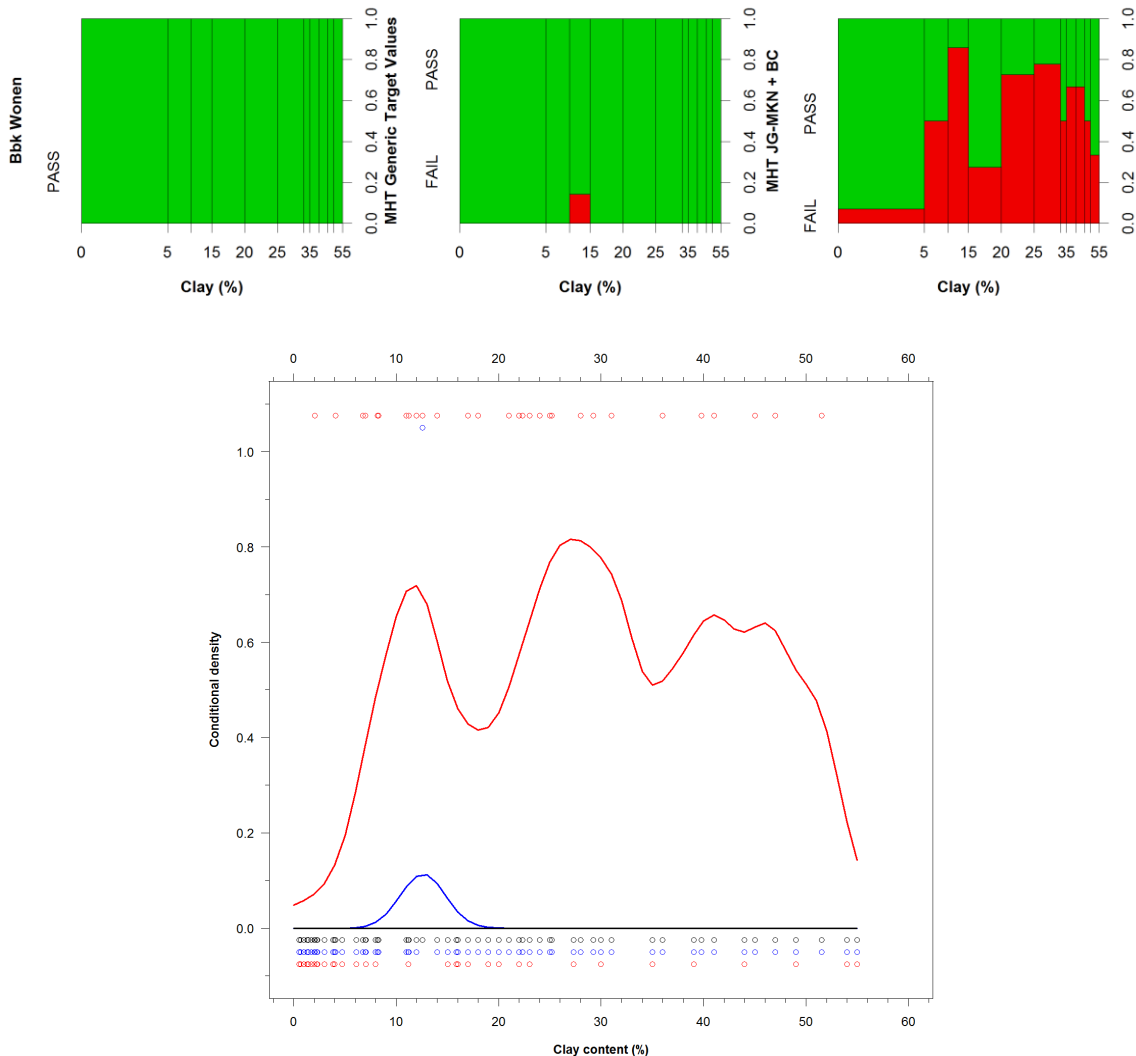


Figuur 3.19. Positionering van de gronden voor de fout-positieve normoverschrijdingen van kobalt: Bbk Wonen vs. generieke samenstellingswaarden MHT (linksboven), Bbk Wonen vs. MHT JG-MKN + AC (rechtsboven) en generieke samenstellingswaarden MHT vs. MHT JG-MKN + AC (linksonder). Verticale lijn is de bodemkundige zandgrens (lutumgehalte van 8%). Horizontale lijn is 5% organisch stofgehalte.

### 3.5.3 Verschillen

#### Klei

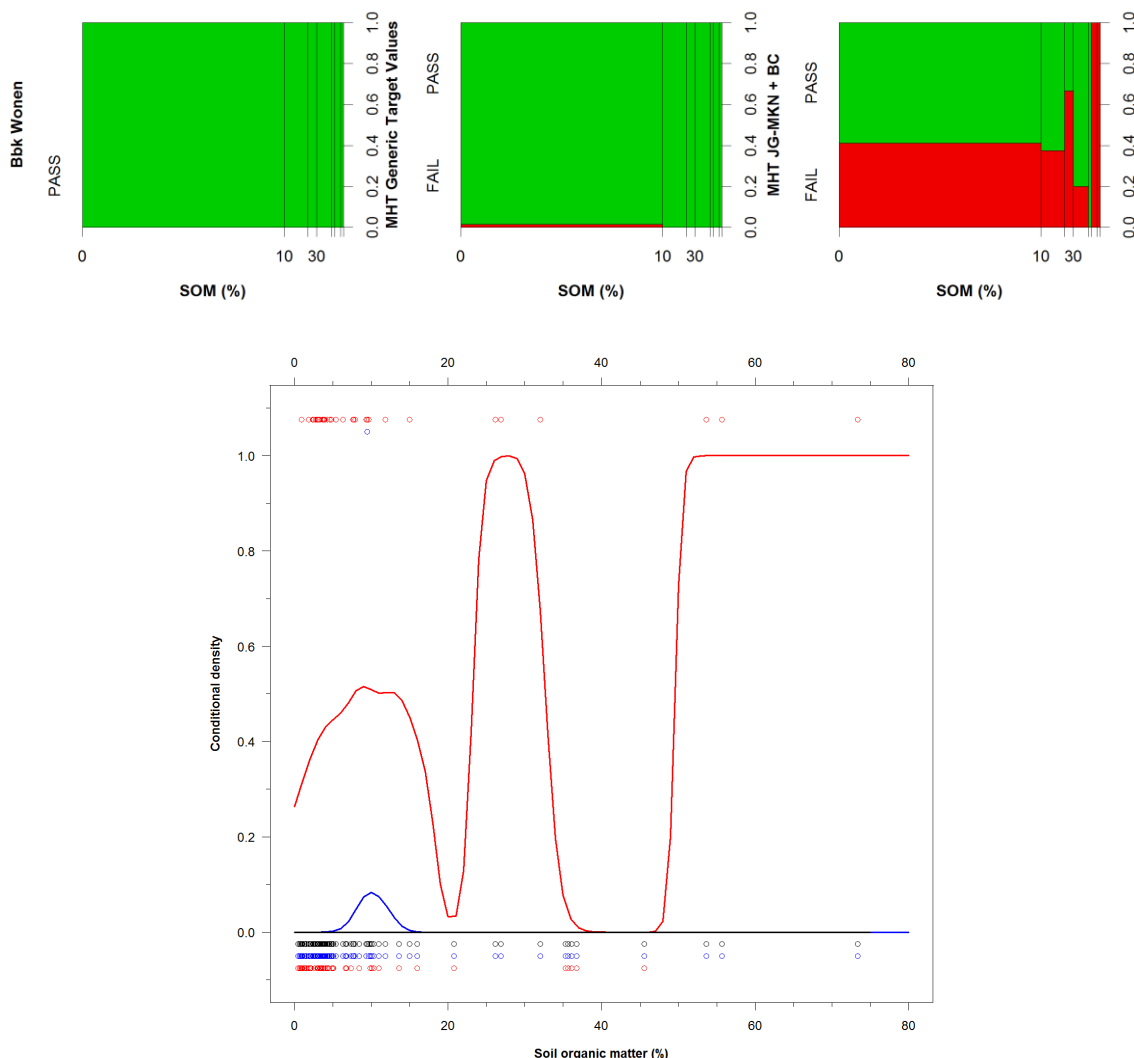
Figuur 3.19 en Figuur 3.20 laten zien dat het Bbk Wonen en de generieke samenstellingswaarde uit het MHT vrijwel niet verschillen van elkaar qua normoverschrijdingen voor kobalt. De JG-MKN verschilt wel met beide andere beoordelingssystematieken. Vanaf ongeveer een lutumgehalte van 8% is de overschrijdingskans ongeveer de helft (Bbk Wonen,  $p = 0.604$ ; MHT Generiek,  $p = 0.928$ ; MHT JG-MKN,  $p = 0.002$ ). Dit is voor een pH 7.



Figuur 3.20. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor kobalt (FAIL) ten opzichte van het lutumgehalte (%) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor kobalt ten opzichte van het lutumgehalte (%) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

### Organisch stofgehalte

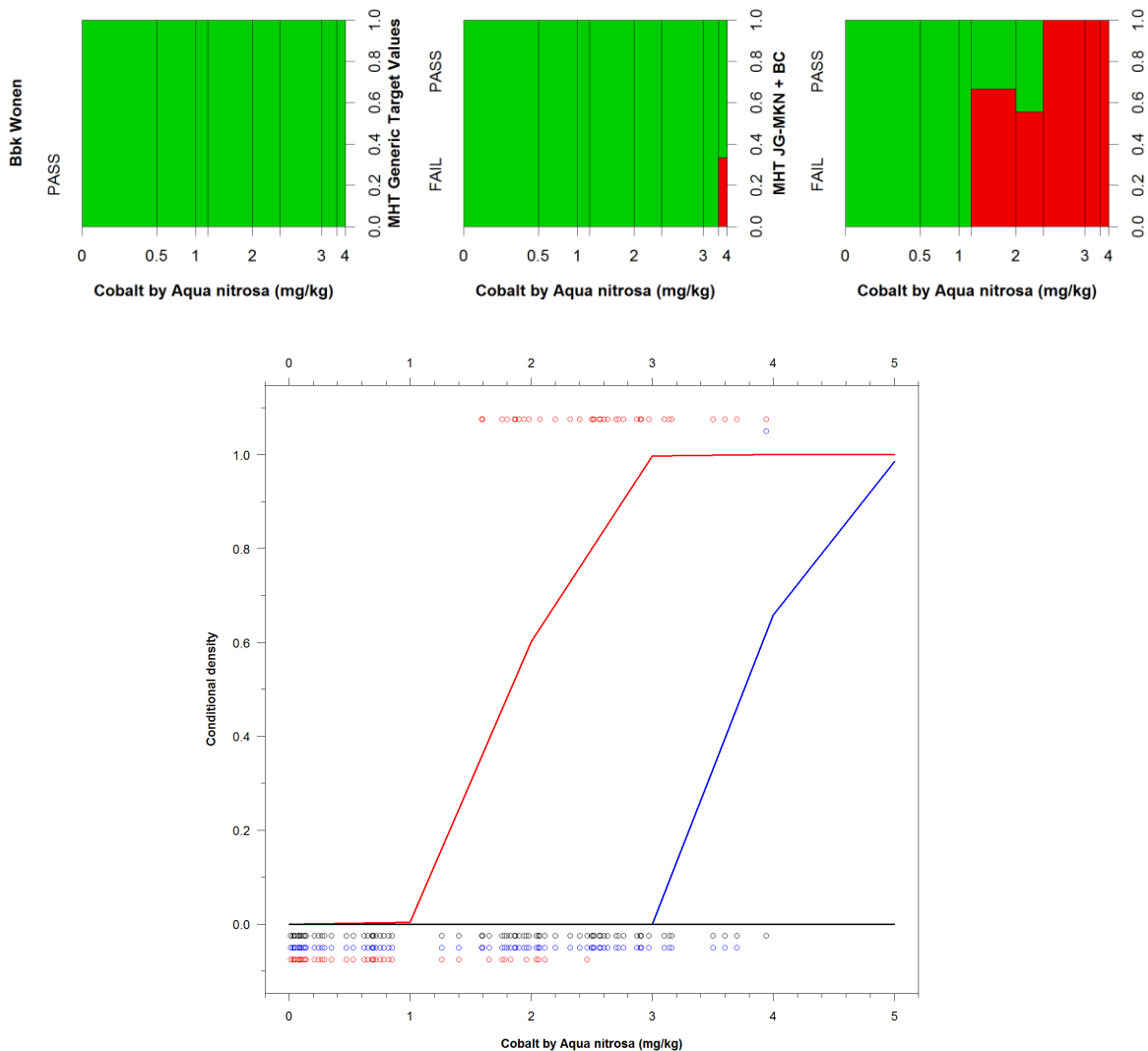
Voor het organisch stofgehalte verschilt de JG-MKN van de andere twee normen voor een gehalte kleiner dan 15% (Figuur 3.21). Voor hogere gehalten komen er wel verschillen voor, echter is hier geen eenduidig beeld van (Bbk Wonen,  $p = 0.273$ ; MHT Generiek,  $p = 0.425$ ; MHT JG-MKN,  $p = 0.205$ ).



Figuur 3.21. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor kobalt (FAIL) ten opzichte van het organisch stofgehalte (%) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor kobalt ten opzichte van het organisch stofgehalte (%) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

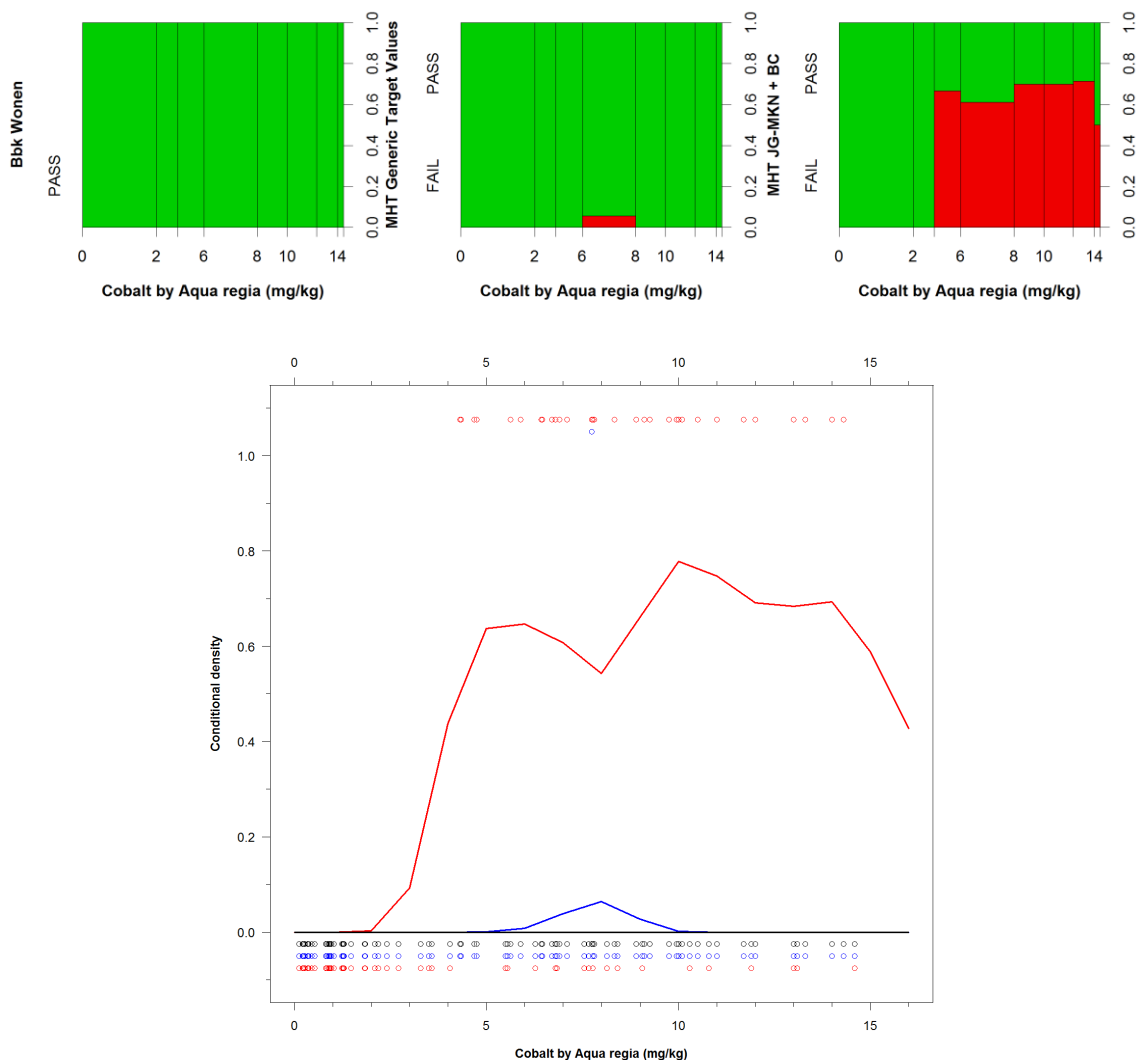
### Verontreinigingsgraad

De generieke samenstellingswaarde voor kobalt is 3,9 mg/kg via *aqua nitrosa*. Deze grens is ook te zien voor de enige overschrijding voor die norm (Figuur 3.22). De JG-MKN is al normoverschrijdend vanaf 1,6 mg/kg, en daardoor dus strenger ten opzichte van de generieke samenstellingswaarde (Bbk Wonen,  $p = 0.904$ ; MHT Generiek,  $p = 0.027$ ; MHT JG-MKN,  $p = 0$ ).



Figuur 3.22. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor kobalt (FAIL) ten opzichte van het kobaltgehalte via aqua nitrosa (mg/kg) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor kobalt ten opzichte van het kobaltgehalte via aqua nitrosa (mg/kg) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

Dat de JG-MKN strenger is dan de samenstellingswaarde is wederom te zien voor de kobaltgehalten via aqua regia (Figuur 3.23). De norm voor Bbk-Wonen is 35 mg/kg. Voor de JG-MKN begint dit op 4,5 mg/kg voor aqua regia (Bbk Wonen,  $p = 0.909$ ; MHT Generiek,  $p = 0.710$ ; MHT JG-MKN,  $p = <0,001$ ).

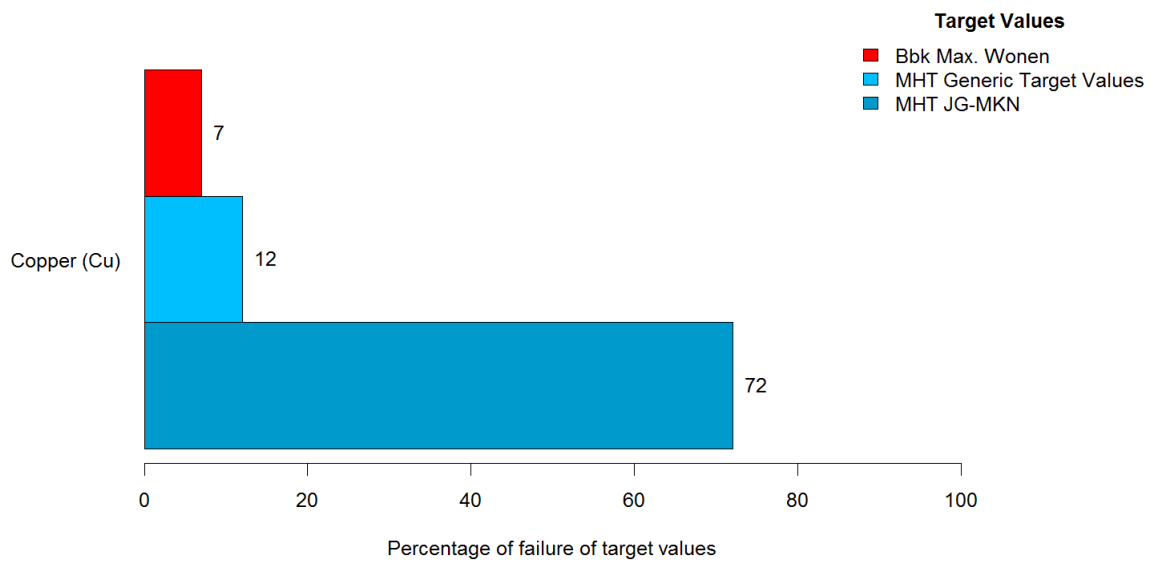


Figuur 3.23. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor kobalt (FAIL) ten opzichte van het kobaltgehalte via aqua regia (mg/kg) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor kobalt ten opzichte van het kobaltgehalte via aqua regia (mg/kg) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

### 3.6 Koper

#### 3.6.1 Normoverschrijdingen

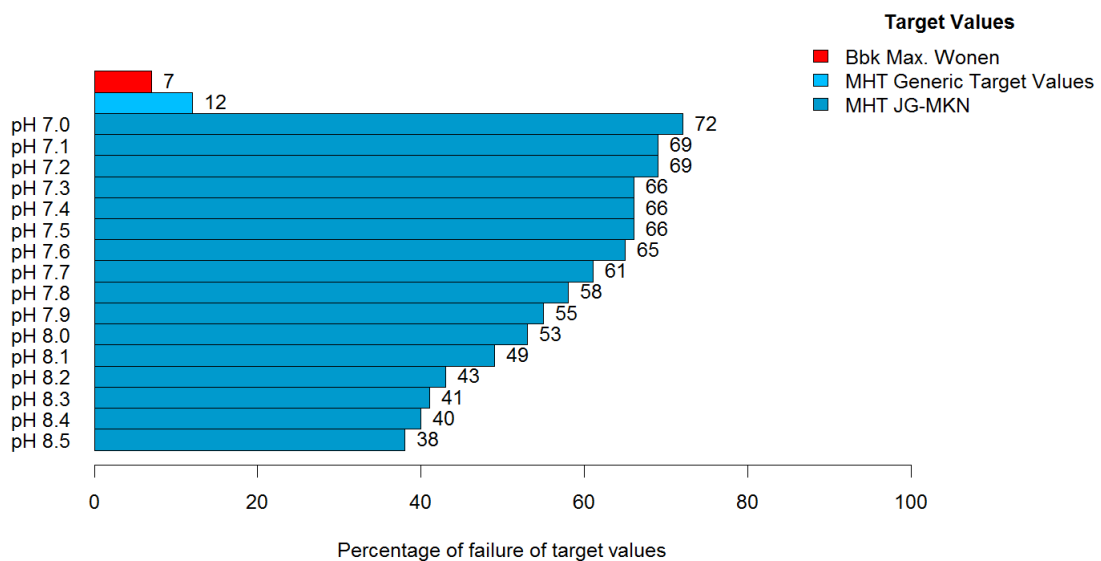
Figuur 3.24 laat het percentage normoverschrijdingen van koper zien. Voor koper is er geen MAC-waarde. Er mag geen correctie met de achtergrondconcentratie worden toegepast.



Figuur 3.24. Percentage normoverschrijdingen van koper voor de verschillende beoordelingssystematieken. N = 88. Gebruikte pH = 7.

De norm voor koper wordt in 7% van de gronden overschreden voor Bbk Wonen, 12% voor de generieke samenstellingswaarden van het MHT en 72% voor de JG-MKN.

Voor koper is de berekende opgeloste concentratie afhankelijk van de zuurgraad van de diepe plas. Figuur 3.25 laat zien dat het percentage normoverschrijdingen afneemt bij een toenemende pH, tot ongeveer een halvering bij een pH van 8,5. Ongeacht de zuurgraad is het percentage overschrijdingen voor de eerstelijnsbeoordeling hoger dan het percentage overschrijdingen voor het Bbk Wonen.



Figuur 3.25. Percentage normoverschrijdingen van koper voor de verschillende beoordelingssystematieken in de pH-range van diepe plassen. N = 88.



Voor koper mag er voor de tweedelijsbeoordeling gebruik worden gemaakt van biobeschikbaarheidsmodellen. Voor de KRW-toetsing wordt dit in Nederland al standaard toegepast met de tool PNEC.pro (www.pnec-pro.com). Ter illustratie: wanneer de voor de transferfuncties gebruikte pH (pH = 7) wordt gecombineerd met een lage concentratie opgelost organisch koolstof (DOC) van 1 mg/L (DOC-scenario voor een hoge biobeschikbaarheid), wordt er een predicted no-effect concentration (PNEC) van 10,92 µg/L voor koper berekend. Dit is een wezenlijk verschil vergeleken met de JG-MKN van 2,4 µg/L. Dit scenario zou resulteren in een overschrijdingspercentage van 3%. Tweedelijsbeoordeling nuanceert daarmee het beeld dat toetsing aan de JG-MKN geeft. Het gebruik van deze beoordeling bij toekomstige toepassingen vereist uiteraard inzicht in de toekomstige watersamenstelling. Voor meestromende plassen kan hiervoor de samenstelling van de rivier worden gebruikt. Voor geïsoleerde wateren is echter meer systeemkennis vereist.

### 3.6.2 Fout-positief

In Tabel 3.4 staan de foute en terechte beoordelingen van de verschillende beoordelingssystematieken. De generieke samenstellingswaarde van het MHT en de JG-MKN laten respectievelijk 7% en 66% fout-positieve beoordelingen zien. Beide beoordelen eveneens één grond als fout-negatief.

Tabel 3.4. Percentage fout-positief, fout-negatief, terecht-positief en terecht-negatief beoordelingen tussen de verschillende beoordelingssystematieken voor koper.

|  | Fout<br>Positief<br>(%) | Fout<br>Negatief<br>(%) | Terecht<br>Positief<br>(%) | Terecht<br>Negatief<br>(%) | Σ<br>(%) | n<br>(#) |
|--|-------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|----------|----------|
| Bbk Max. Wonen vs.<br>MHT Generic Target Values  | 7                       | 1                       | 86                         | 6                          | 100      | 88       |
| Bbk Max. Wonen vs.<br>MHT JG-MKN + AC            | 66                      | 1                       | 27                         | 6                          | 100      | 88       |
| MHT Generic Target Values vs.<br>MHT JG-MKN + AC | 59                      | 0                       | 28                         | 12                         | 99       | 88       |

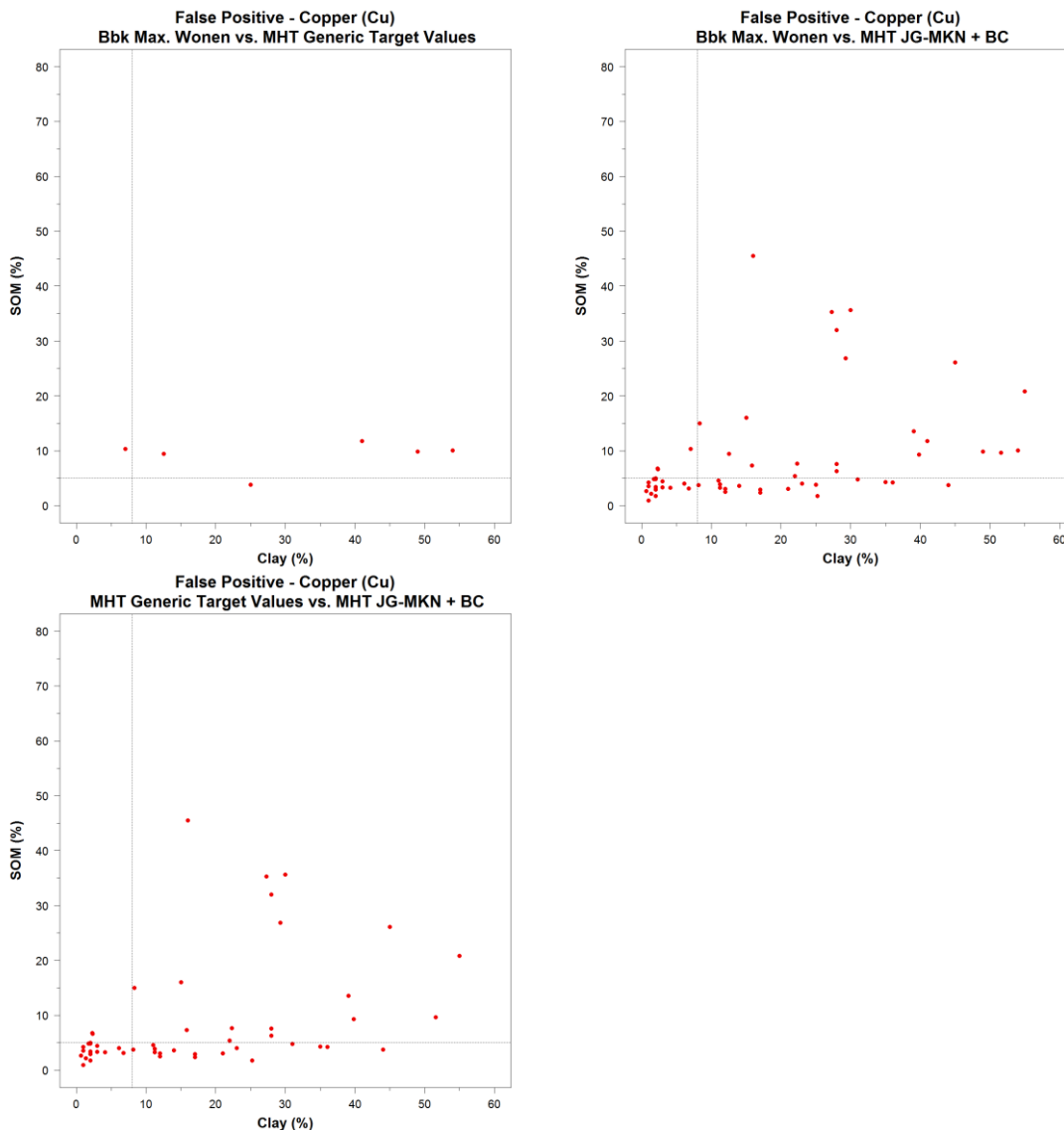
Fout-Positief: First = PASS, Second = FAIL (bijv. Bbk-Wonen (PASS) vs. MHT Generic Target Values (FAIL))

Fout-Negatief: First = FAIL, Second = PASS

Terecht-Positief: First = PASS, Second = PASS

Terecht-Negatief: First = FAIL, Second = FAIL

De positionering van fout-positief beoordeelde gronden staan in Figuur 3.26.

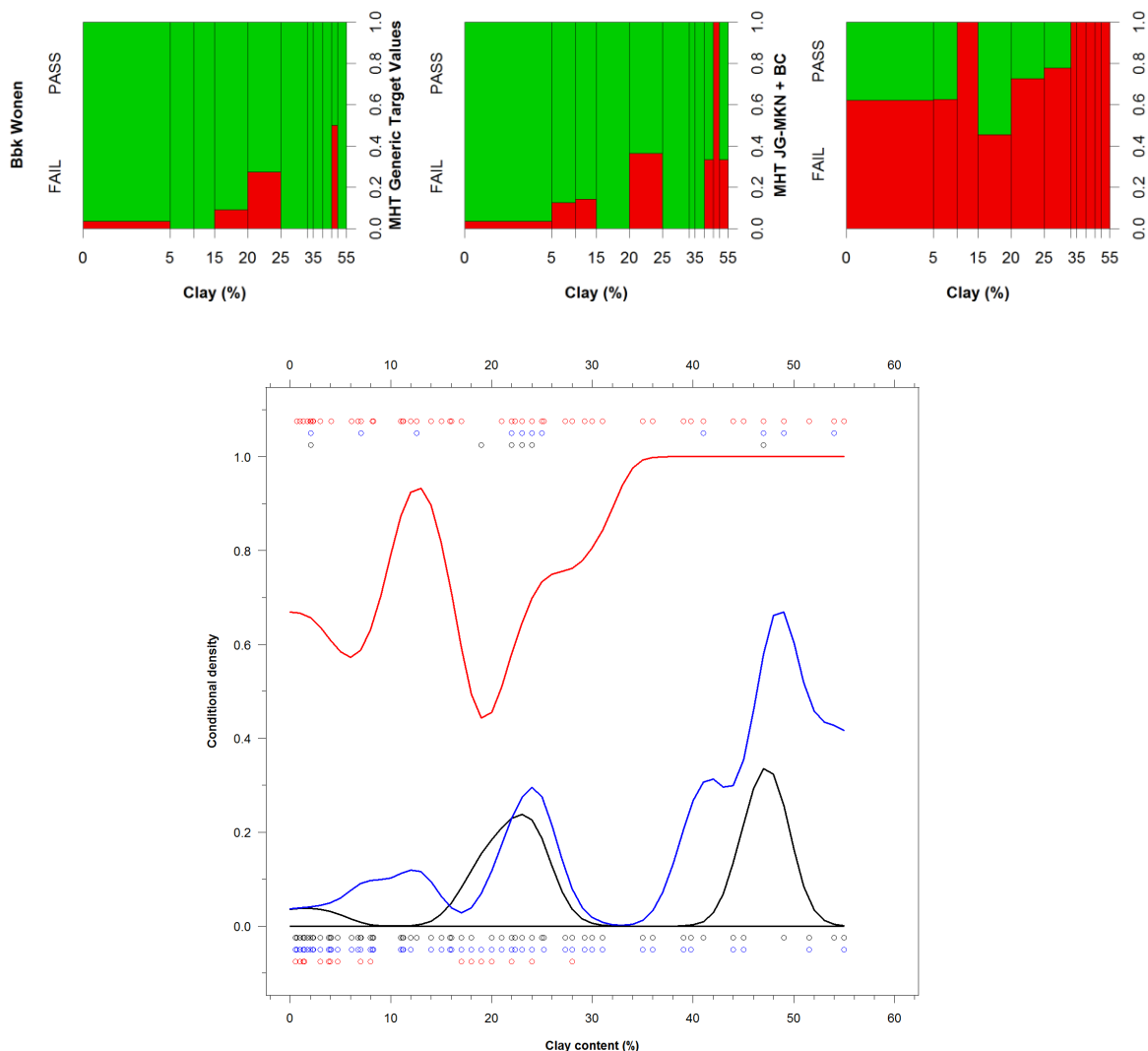


Figuur 3.26. Positionering van de gronden voor de fout-positieve normoverschrijdingen van koper: Bbk Wonen vs. generieke samenstellingswaarden MHT (linksboven), Bbk Wonen vs. MHT JG-MKN + AC (rechtsboven) en generieke samenstellingswaarden MHT vs. MHT JG-MKN + AC (linksonder). Verticale lijn is de bodemkundige zandgrens (lutumgehalte van 8%). Horizontale lijn is 5% organisch stofgehalte.

### 3.6.3 Verschillen

#### Klei

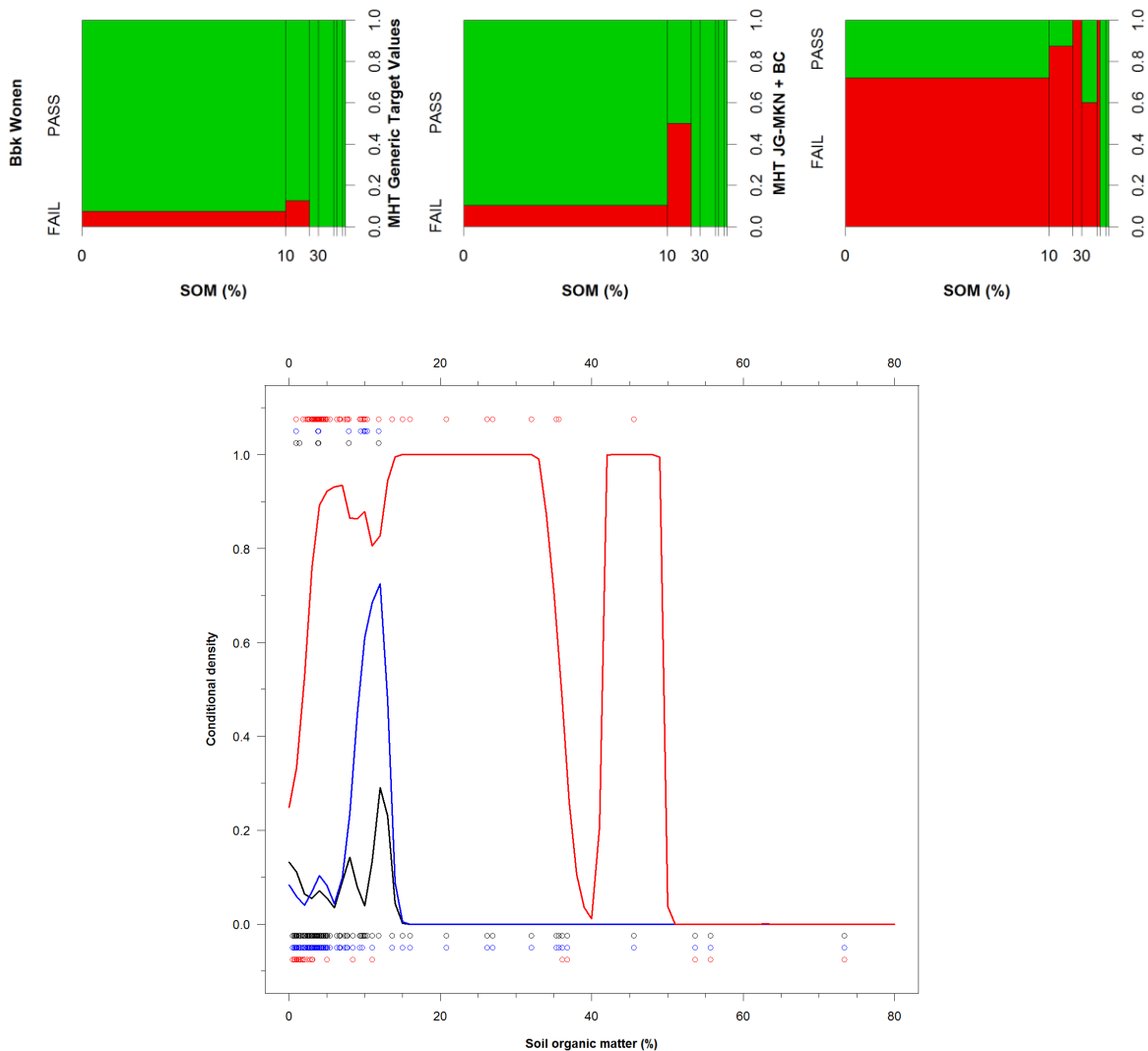
Figuur 3.27 laat zien dat het Bbk Wonen en de generieke samenstellingswaarde niet veel van elkaar verschillen qua normoverschrijdingen ten op zichte van het lutumgehalte. De JG-MKN is over de gehele bandbreedte van lutum norm overschrijdend (Bbk Wonen,  $p = 0.270$ ; MHT Generiek,  $p = 0.010$ ; MHT JG-MKN,  $p = 0.036$ ).



Figuur 3.27. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor koper (FAIL) ten opzichte van het lutumgehalte (%) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor koper ten opzichte van het lutumgehalte (%) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

### Organisch stofgehalte

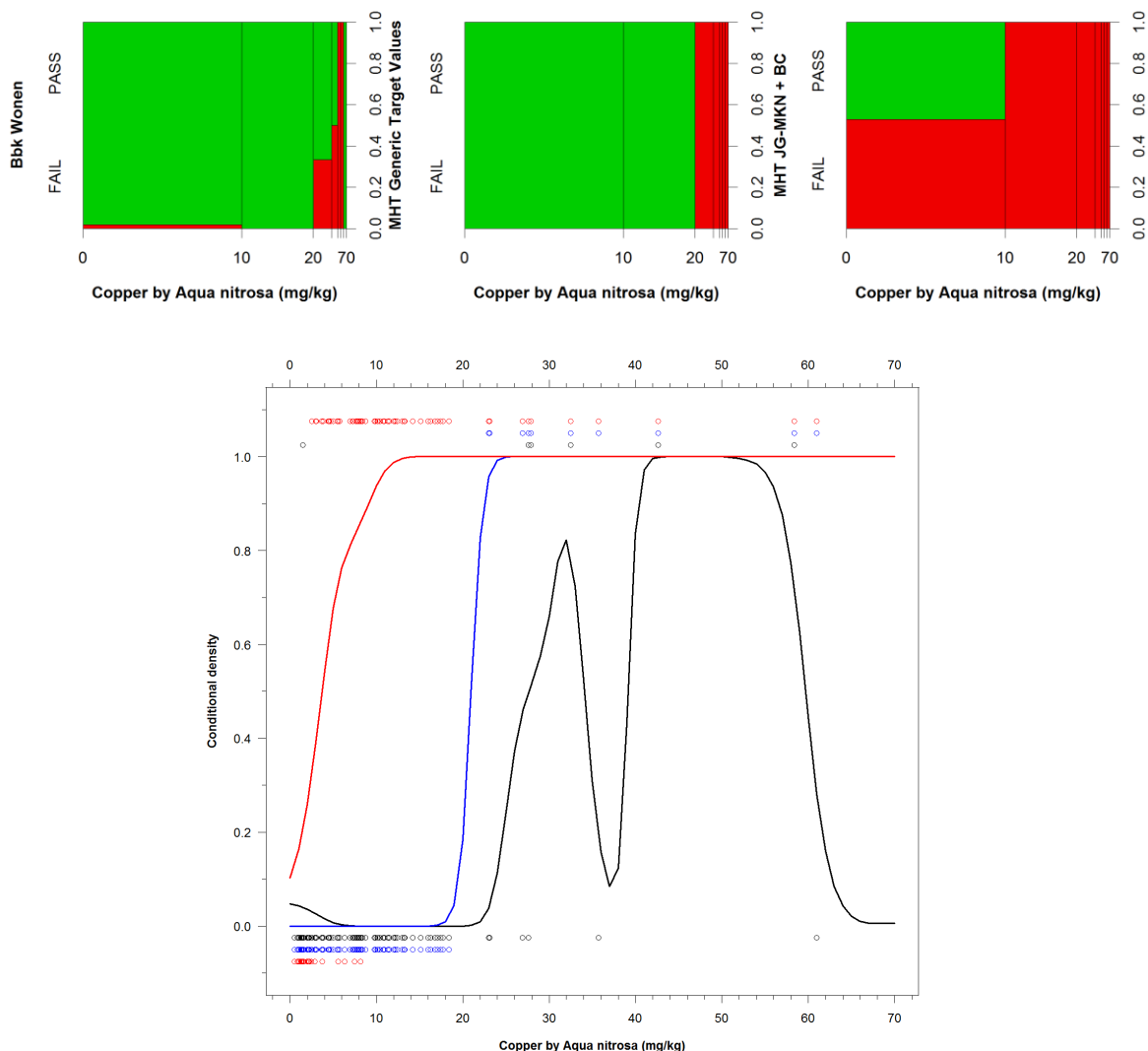
In Figuur 3.28 is te zien dat de JG-MKN voor een organisch stofgehalte kleiner dan 37% verschilt van de twee andere normen. Deze laatste gaan gelijk op in de range tot 7%. De generieke samenstellingswaarde heeft een grotere piek rond de 10% organisch stofgehalte (Bbk Wonen,  $p = 0.689$ ; MHT Generiek,  $p = 0.850$ ; MHT JG-MKN,  $p = 0.221$ ).



Figuur 3.28. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor koper (FAIL) ten opzichte van het organisch stofgehalte (%) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor koper ten opzichte van het organisch stofgehalte (%) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

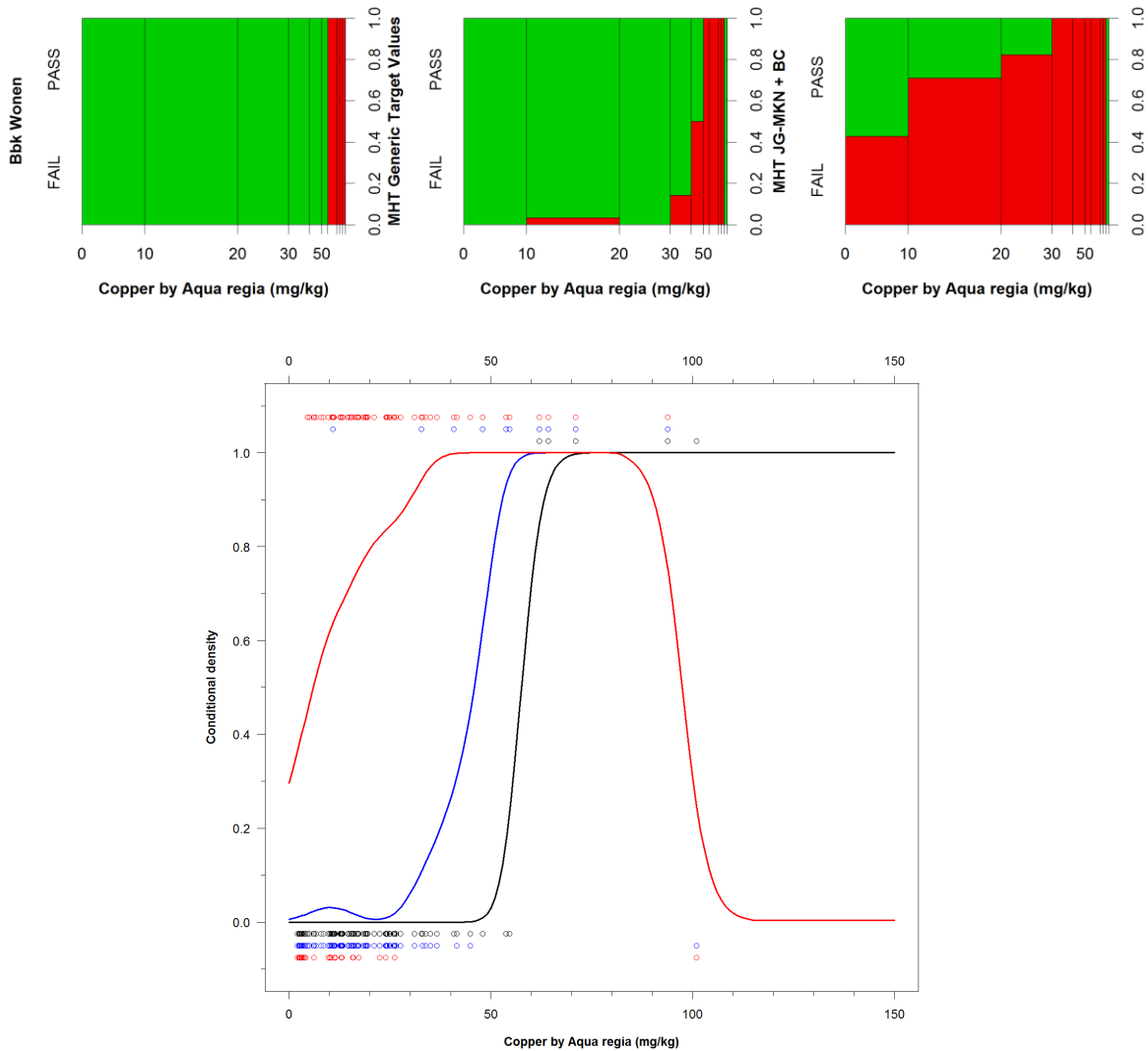
### Verontreinigingsgraad

De generieke samenstellingswaarde voor koper is 20 mg/kg via *aqua nitrosa*. Deze norm is duidelijk te zien in Figuur 3.29. Voor Bbk Wonen zijn de overschrijdingen rond de 30 mg/kg. De JG-MKN overschrijdt vanaf de 3 mg/kg al de norm. Vanaf 9 mg/kg overschrijden alle gronden de norm voor de JG-MKN. Wederom is zichtbaar dat Bbk Wonen een hogere verontreinigingsgraad toe laat. (Bbk Wonen,  $p = <0,001$ ; MHT Generiek,  $p = <0,001$ ; MHT JG-MKN,  $p = <0,001$ ).



Figuur 3.29. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor koper (FAIL) ten opzichte van het kopergehalte via aqua nitrosa (mg/kg) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor koper ten opzichte van het kopergehalte via aqua nitrosa (mg/kg) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

Figuur 3.30 laat eenzelfde beeld zien voor de kopergehalten via aqua regia. De grens voor Bbk Wonen is 54 mg/kg via aqua regia. Overschrijdt overwegend de norm vanaf een kopergehalte van 40 mg/kg. Voor JG-MKN is dit bij 5 mg/kg (Bbk Wonen,  $p = <0,001$ ; MHT Generiek,  $p = <0,001$ ; MHT JG-MKN,  $p = 0,003$ ).

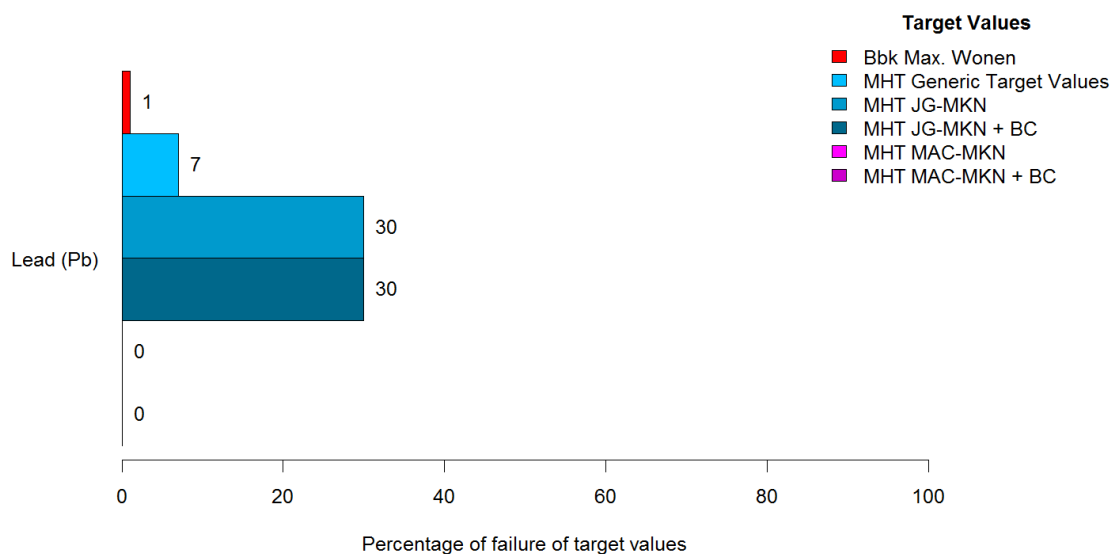


Figuur 3.30. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor koper (FAIL) ten opzichte van het kopergehalte via aqua regia (mg/kg) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor koper ten opzichte van het kopergehalte via aqua regia (mg/kg) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

### 3.7 Lood

#### 3.7.1 Normoverschrijdingen

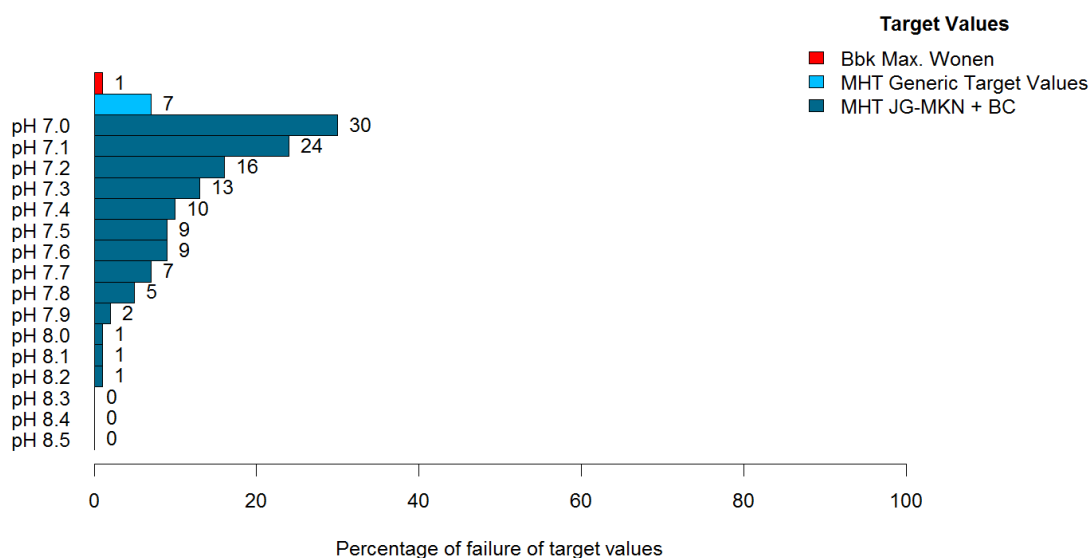
In Figuur 3.31 staan de percentages normoverschrijdingen voor lood.



Figuur 3.31. Percentage normoverschrijdingen van lood voor de verschillende beoordelingssystematieken. BC is correctie met de achtergrondconcentratie. N = 88. Gebruikte pH = 7.

Lood overschrijdt in 1% van de gronden de norm voor Bbk Wonen en 7% voor de generieke samenstellingswaarden uit het MHT. De JG-MKN wordt in 30% van de gronden overschreden. Een correctie laat hierbij geen verbetering zien. De MAC-MKN wordt niet overschreden.

Ook voor lood zijn de JG-MKN normoverschrijdingen afhankelijk van de zuurgraad (Figuur 3.32). Vanaf een pH van 7,9 zijn de normoverschrijdingen vrijwel gelijk aan het percentage overschrijdingen van het Bbk Wonen.



Figuur 3.32. Percentage normoverschrijdingen van lood voor de verschillende beoordelingssystematieken in de pH-range van diepe plassen. BC is correctie met de achtergrondconcentratie. N = 88.

Voor lood is er vanuit de Kaderrichtlijn Water de mogelijkheid een DOC-correctie toe te passen, waardoor de norm soepeler kan worden. De versimpelde beschrijving hiervan is:

$$PNEC (\mu\text{g/L}) = 1,2 * DOC$$

waarbij DOC de concentratie opgelost organisch koolstof is in mg/L (Lead EQS Dossier, 2011). Bij hogere DOC-concentraties zal de berekende norm snel hoger zijn dan de norm zoals vermeld in het Bkmw (= 1,2  $\mu\text{g/L}$ ). Het percentage normoverschrijdingen voor de JG-MKN kan dus veranderen met de DOC-concentraties in de toepassingslocaties. In de nabije toekomst zal er voor lood ook een module komen die is gebaseerd op biotic ligand models, in de tool PNEC-pro V6. Hierdoor kan een locatie-specifieke PNEC berekend kan worden op basis van biobeschikbaarheid.

### 3.7.2 Fout-positief

In Tabel 3.5 staat een overzicht hoe de verschillende beoordelingssystematieken zich met elkaar verhouden. Het MHT beschouwt 6% (generiek) en 28% (JG-MKN) als fout-positief ten opzichte van het Bbk Wonen.

Tabel 3.5. Percentage fout-positief, fout-negatief, terecht-positief en terecht-negatief beoordelingen tussen de verschillende beoordelingssystematieken voor lood.

|  | Fout<br>Positief<br>(%) | Fout<br>Negatief<br>(%) | Terecht<br>Positief<br>(%) | Terecht<br>Negatief<br>(%) | $\Sigma$<br>(%) | n<br>(#) |
|--|-------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|----------|
| Bbk Max. Wonen vs.<br>MHT Generic Target Values  | 6                       | 0                       | 93                         | 1                          | 100             | 88       |
| Bbk Max. Wonen vs.<br>MHT JG-MKN + AC            | 28                      | 0                       | 70                         | 1                          | 99              | 88       |
| MHT Generic Target Values vs.<br>MHT JG-MKN + AC | 23                      | 0                       | 70                         | 7                          | 100             | 88       |

Fout-Positief: First = PASS, Second = FAIL (bijv. Bbk-Wonen (PASS) vs. MHT Generic Target Values (FAIL))

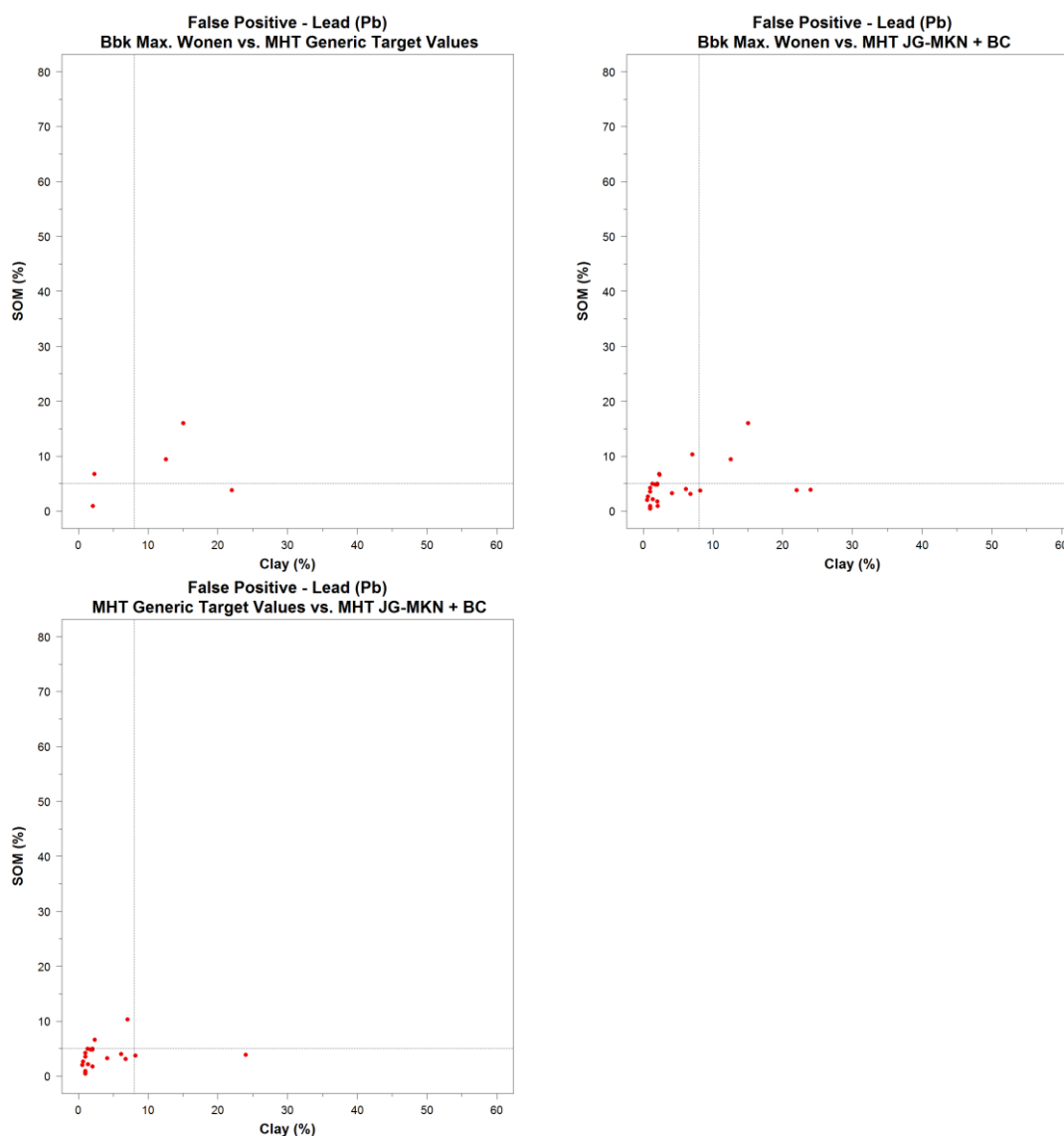
Fout-Negatief: First = FAIL, Second = PASS

Terecht-Positief: First = PASS, Second = PASS

Terecht-Negatief: First = FAIL, Second = FAIL

De positionering van de fout-positief beoordeelde gronden staan in Figuur 3.33.



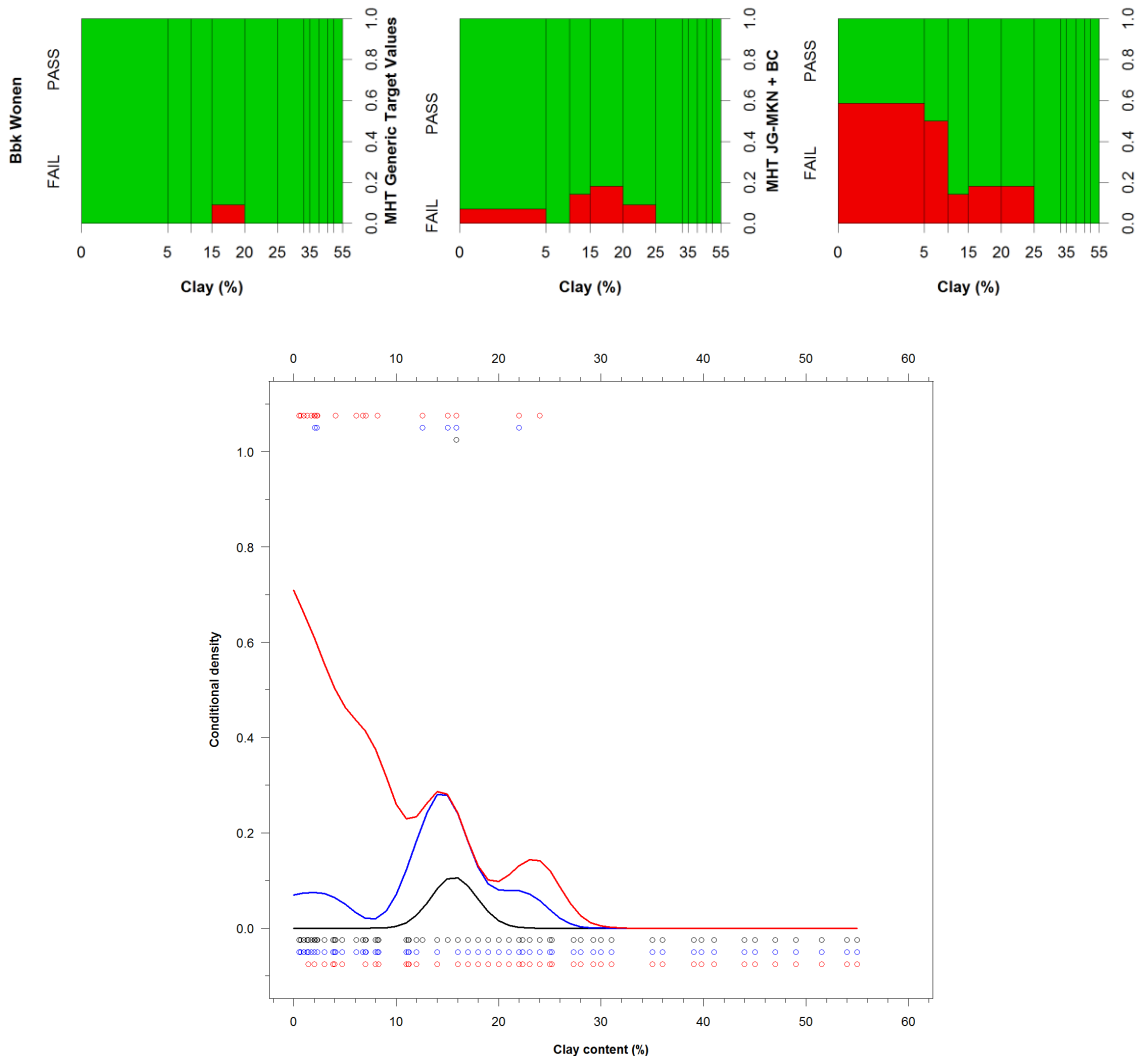


Figuur 3.33. Positionering van de gronden voor de fout-positieve normoverschrijdingen van lood: Bbk Wonen vs. generieke samenstellingswaarden MHT (linksboven), Bbk Wonen vs. MHT JG-MKN + AC (rechtsboven) en generieke samenstellingswaarden MHT vs. MHT JG-MKN + AC (linksonder). Verticale lijn is de bodemkundige zandgrens (lutumgehalte van 8%). Horizontale lijn is 5% organisch stofgehalte.

### 3.7.3 Verschillen

#### Klei

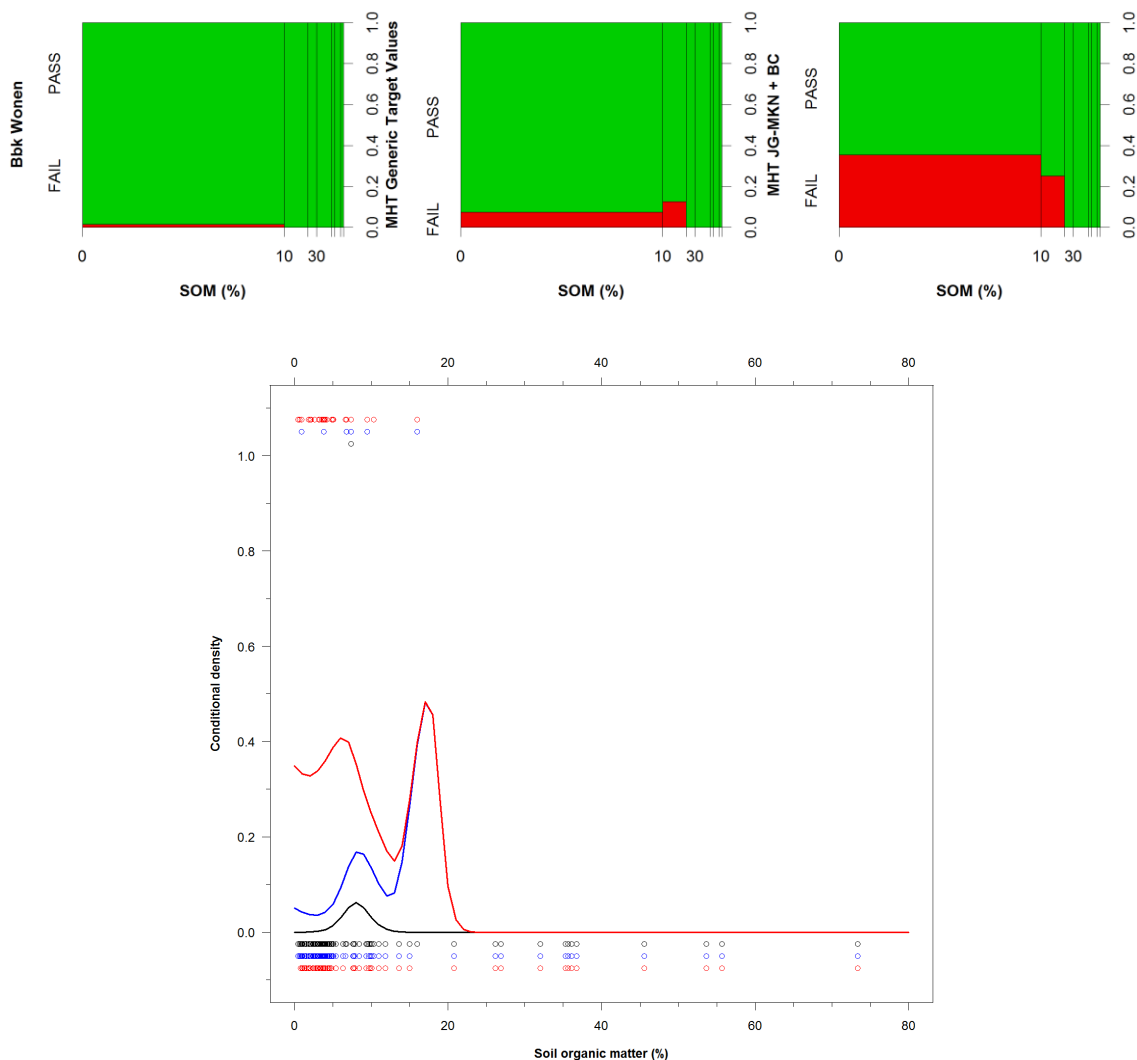
Het Bbk Wonen en de generieke samenstellingswaarde verschillen vrijwel niet in de norm overschrijdingen (Figuur 3.34). De JG-MKN + AC verschilt met beide voorgaande voor een lutumgehalte kleiner dan 8%, dus voor met name zandgronden (Bbk Wonen,  $p = 0,788$ ; MHT Generiek,  $p = 0,462$ ; MHT JG-MKN,  $p = <0,001$ ).



Figuur 3.34. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor lood (FAIL) ten opzichte van het lutumgehalte (%) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor lood ten opzichte van het lutumgehalte (%) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

### Organisch stofgehalte

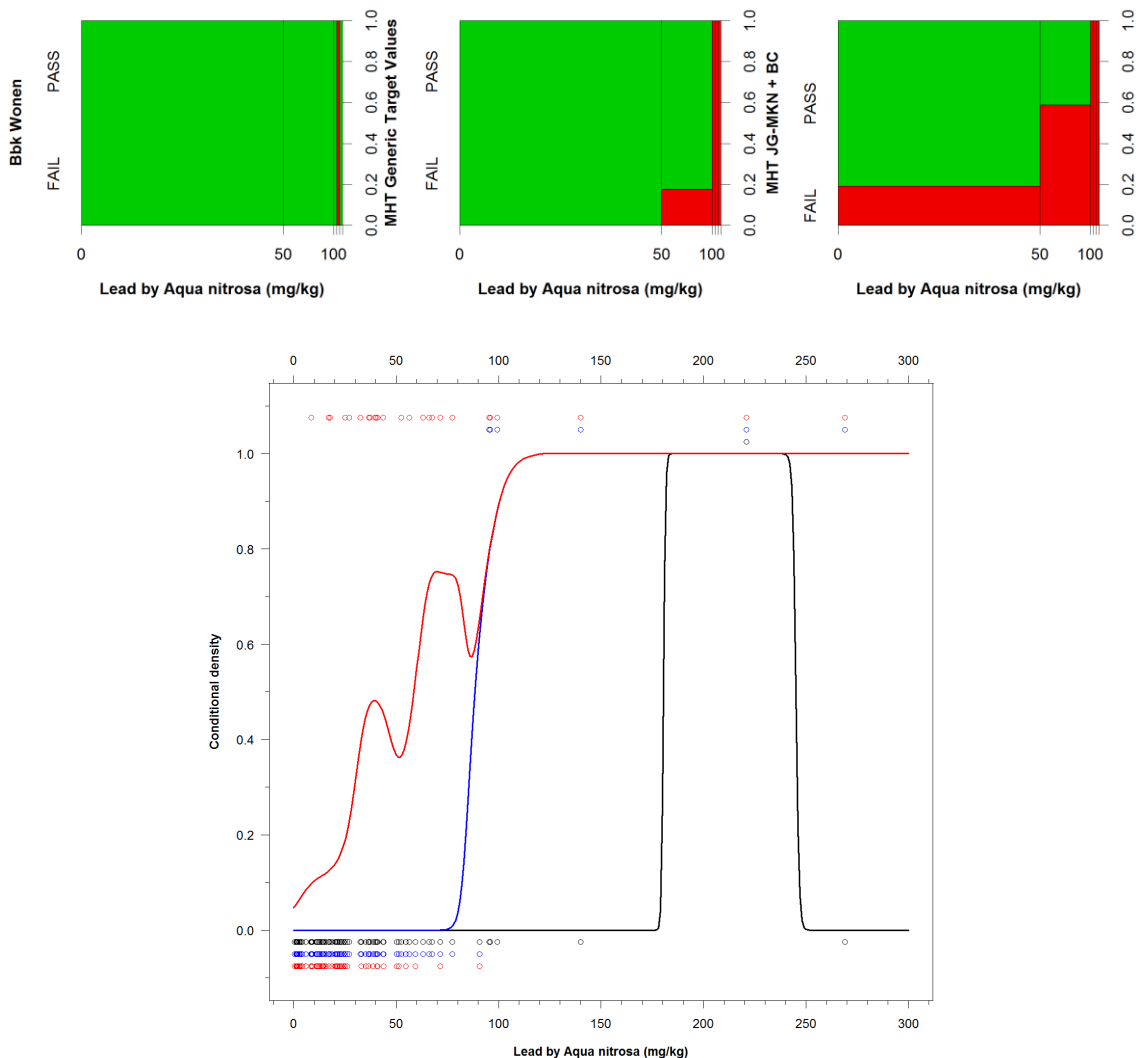
Ook voor het organisch stofgehalte verschillen het Bbk Wonen en de generieke samenstellingswaarde niet veel van elkaar (Figuur 3.35). De JG-MKN verschilt voor een organisch stofgehalte kleiner dan 8% met de andere normen (Bbk Wonen,  $p = 0,476$ ; MHT Generiek,  $p = 0,953$ ; MHT JG-MKN,  $p = 0,015$ ).



Figuur 3.35. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor lood (FAIL) ten opzichte van het organisch stofgehalte (%) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor lood ten opzichte van het organisch stofgehalte (%) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

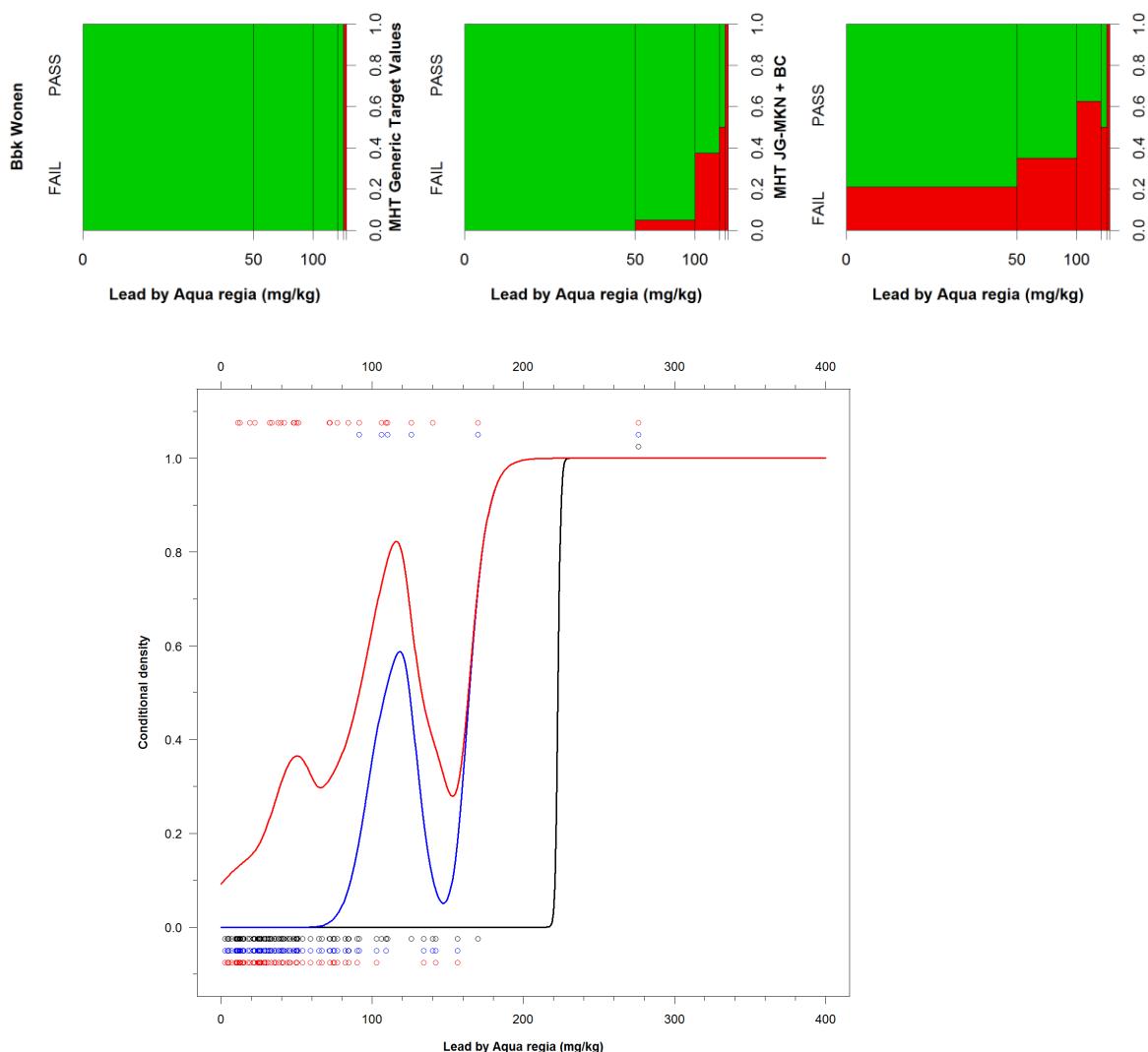
### Verontreinigingsgraad

De generieke samenstellingswaarde voor lood is 95 mg/kg via *aqua nitrosa* (Figuur 3.36). Bbk Wonen overschrijdt slechts één grond, waardoor niet een waarde is toe te kennen. Voor de JG-MKN neemt het verschil met de andere normen vanaf ongeveer 35 mg/kg toe (Bbk Wonen,  $p = 0,009$ ; MHT Generiek,  $p = <0,001$ ; MHT JG-MKN,  $p = <0,001$ ).



Figuur 3.36. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor lood (FAIL) ten opzichte van het loodgehalte via aqua nitrosa (mg/kg) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor lood ten opzichte van het loodgehalte via aqua nitrosa (mg/kg) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

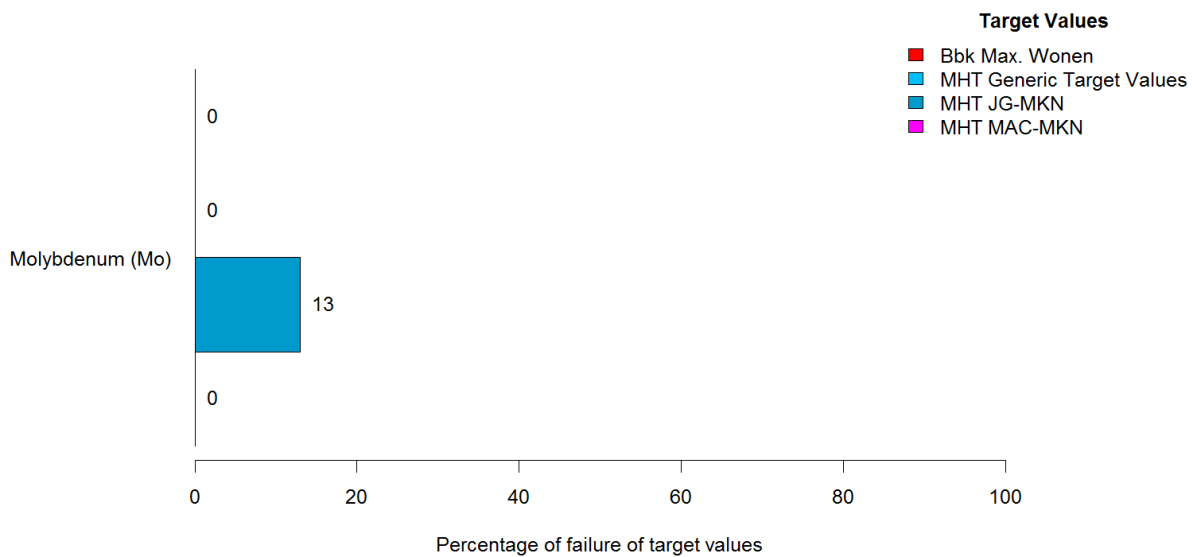
De norm voor lood voor Bbk Wonen is 210 mg/kg via *aqua regia*, wat te zien is in Figuur 3.37. Voor de generieke samenstellingswaarden is er niet eenduidig een waarde te noemen: er is een kleine piek van overschrijdingen rond de 100 mg/kg. Voor de JG-MKN is er vanaf ongeveer 40 mg/kg een verhoogde fractie van normoverschrijdingen (Bbk Wonen,  $p = 0,003$ ; MHT Generiek,  $p = <0,001$ ; MHT JG-MKN,  $p = <0,001$ ).



Figuur 3.37. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor lood (FAIL) ten opzichte van het loodgehalte via aqua regia (mg/kg) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor lood ten opzichte van het loodgehalte via aqua regia (mg/kg) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

### 3.8 Molybdeen

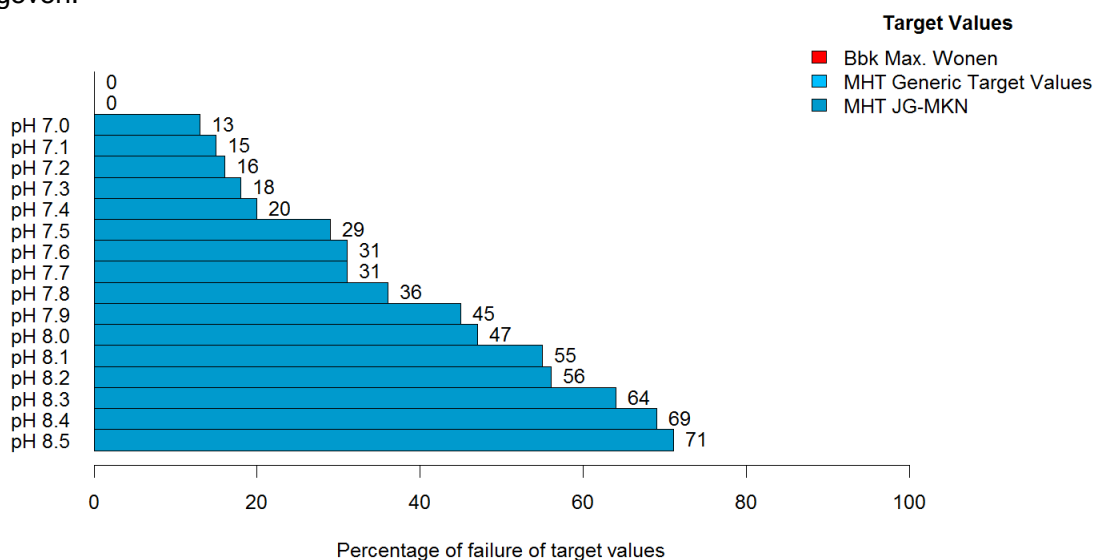
Figuur 3.40 laat het percentage normoverschrijdingen van molybdeen zien. Voor molybdeen mag er geen correctie met de achtergrondconcentratie worden toegepast.



Figuur 3.38. Percentage normoverschrijdingen van molybdeen voor de verschillende beoordelingssystematieken. N = 55. Gebruikte pH = 7.

Molybdeen overschrijdt alleen de norm voor de JG-MKN met 13%. Echter neemt het percentage normoverschrijdingen voor de JG-MKN met een toenemende zuurgraad toe (Figuur 3.39), dit in tegenstelling tot de overige metalen. Het verschil in gedrag met toenemende pH ten opzichte van de overige zuurgraad-afhankelijke metalen komt doordat molybdeen voorkomt als een oxy-anion. Met een toenemende pH zal het oppervlak van Al/Fe-(hydr)oxiden minder positief geladen zijn, waardoor de sorptie van molybdeen zal afnemen (Groenenberg et al., 2012).

Omdat de gekozen pH van 7 dus geen worst-case meer representeert voor molybdeen is in de analyse ook gerekend met een pH van 8,5. Deze zijn beide in de spinogrammen weergegeven.



Figuur 3.39. Percentage normoverschrijdingen van molybdeen voor de verschillende beoordelingssystematieken in de pH-range van diepe plassen. N = 55.

Tabel 3.6. Percentage fout-positief, fout-negatief, terecht-positief en terecht-negatief beoordelingen tussen de verschillende beoordelingssystematieken voor molybdeen.

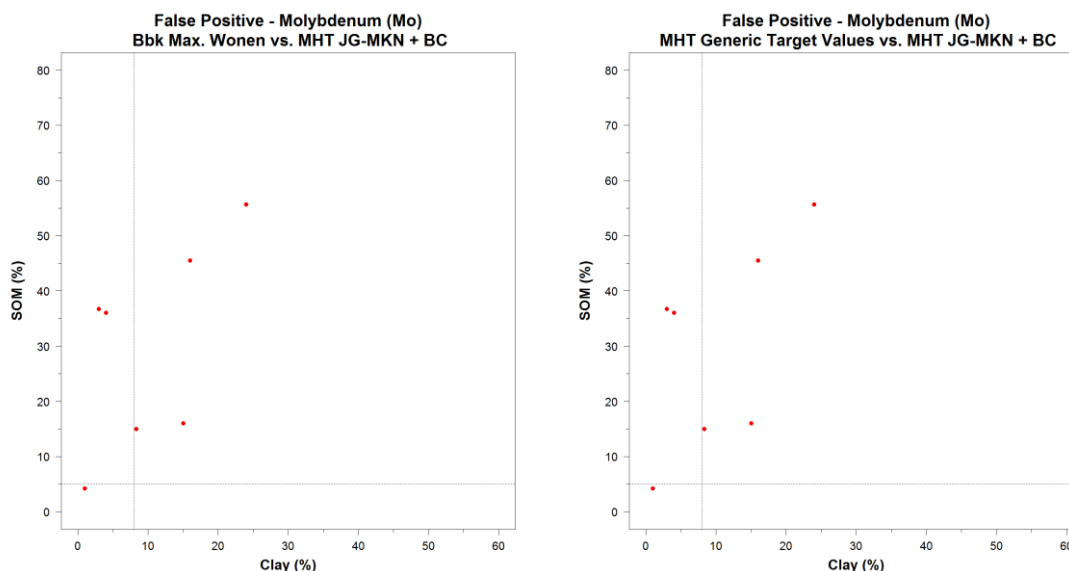
|  | Fout<br>Positief<br>(%) | Fout<br>Negatief<br>(%) | Terecht<br>Positief<br>(%) | Terecht<br>Negatief<br>(%) | $\Sigma$<br>(%) | n<br>(#) |
|--|-------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|----------|
| Bbk Max. Wonen vs.<br>MHT Generic Target Values  | 0                       | 0                       | 100                        | 0                          | 100             | 55       |
| Bbk Max. Wonen vs.<br>MHT JG-MKN + AC            | 13                      | 0                       | 87                         | 0                          | 100             | 55       |
| MHT Generic Target Values vs.<br>MHT JG-MKN + AC | 13                      | 0                       | 87                         | 0                          | 100             | 55       |

Fout-Positief: First = PASS, Second = FAIL (bijv. Bbk-Wonen (PASS) vs. MHT Generic Target Values (FAIL))

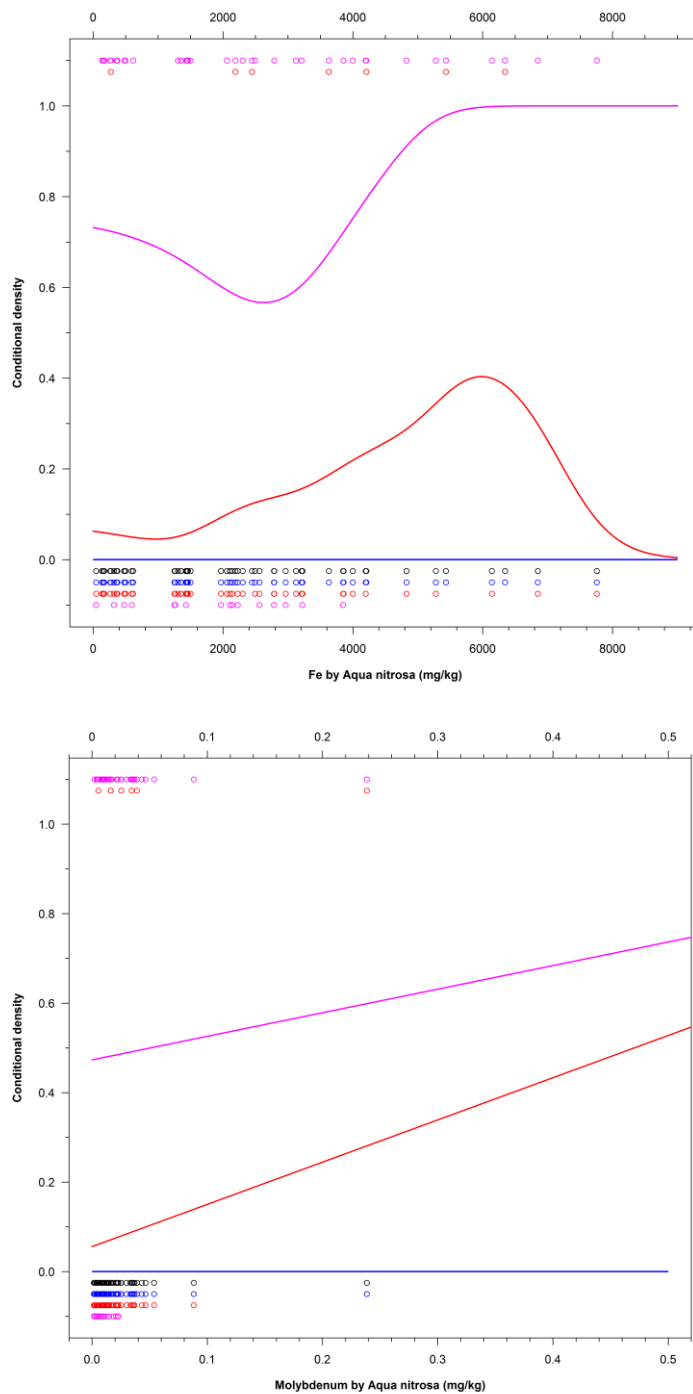
Fout-Negatief: First = FAIL, Second = PASS

Terecht-Positief: First = PASS, Second = PASS

Terecht-Negatief: First = FAIL, Second = FAIL

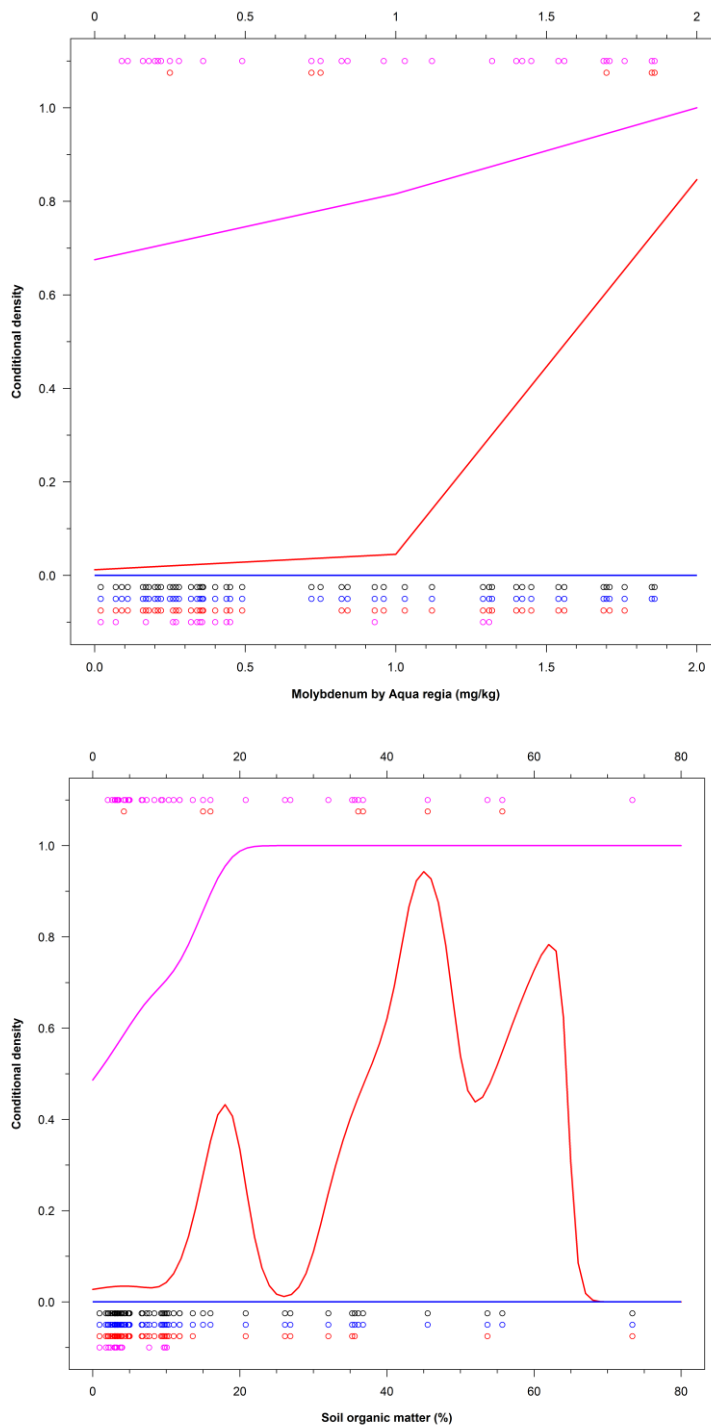


Figuur 3.40. Positionering van de gronden voor de fout-positieve normoverschrijdingen van molybdeen: Bbk-Wonen vs. MHT JG-MKN + AC (links) en generieke samenstellingswaarden MHT vs. MHT JG-MKN + AC (rechts). Verticale lijn is de bodemkundig gedefinieerde zandgrens (lutumgehalte van 8%). Horizontale lijn is 5% organisch stofgehalte.

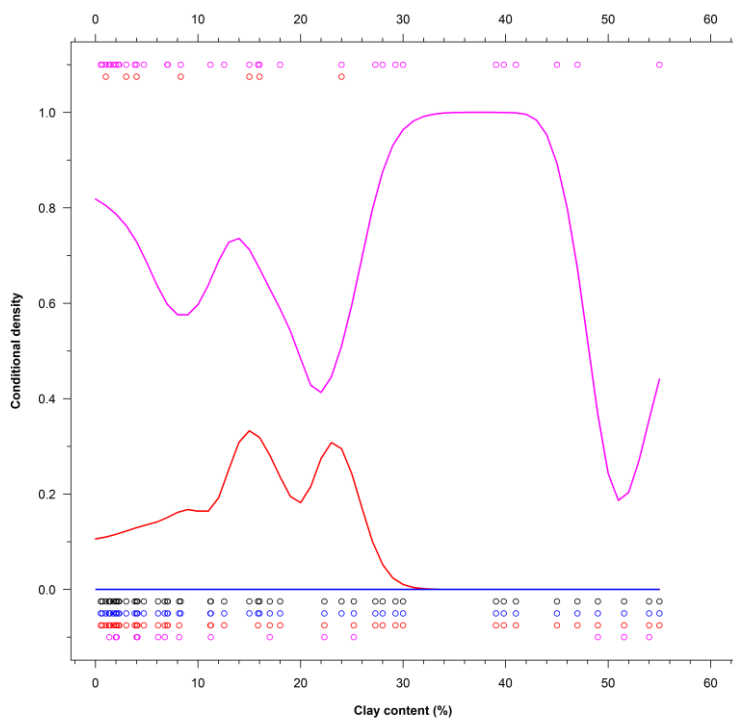


Figuur 3.41. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor molybdeen (FAIL) ten opzichte van het molybdeengehalte via aqua regia (mg/kg) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor molybdeen ten opzichte van het gehalte via aqua regia (mg/kg) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood: pH=7, paars: pH=8,5). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.





Figuur 3.41. Spinogrammen molybdeen (vervolg).

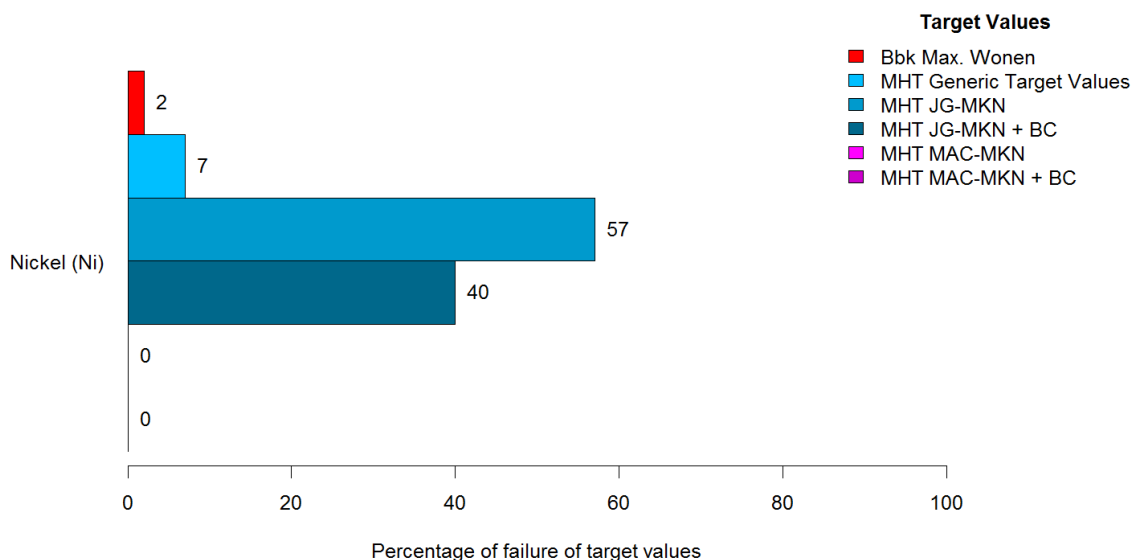


Figuur 3.41. Spinogrammen molybdeen (vervolg).

### 3.9 Nikkel

#### 3.9.1 Normoverschrijdingen

Het percentage normoverschrijdingen voor nikkel is weergegeven in Figuur 3.42.

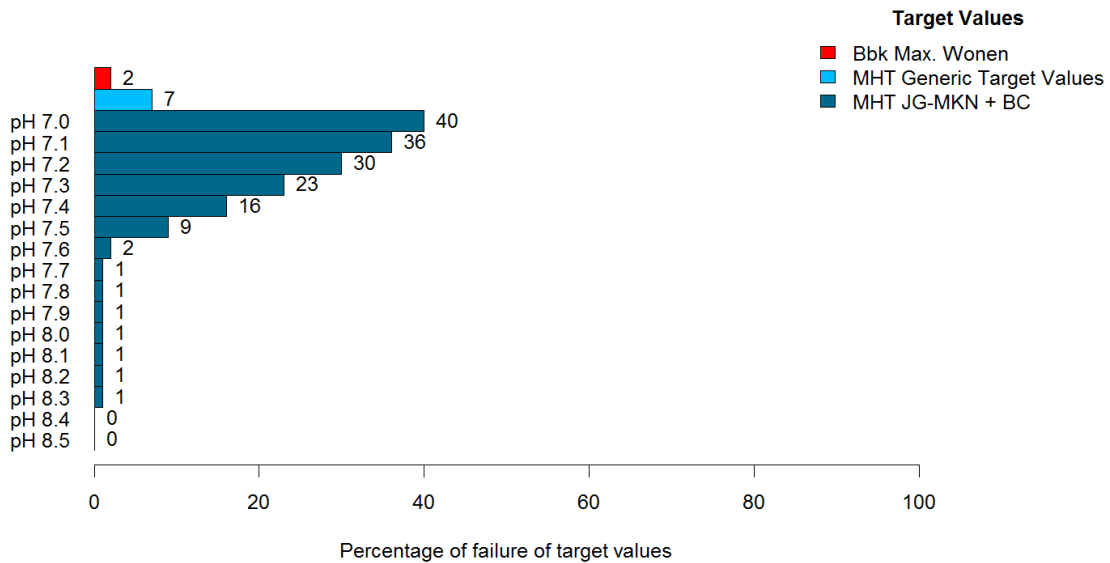


Figuur 3.42. Percentage normoverschrijdingen van nikkel voor de verschillende beoordelingssystematieken. BC is correctie met de achtergrondconcentratie. N = 88. Gebruikte pH = 7.

De norm voor nikkel wordt voor 2% overschreden voor het Bbk Wonen. De generieke samenstellingswaarde van het MHT wordt met 7% overschreden en de JG-MKN wordt na correctie met 40% overschreden.

Voor nikkel geldt eveneens dat het percentage normoverschrijdingen voor het JG-MKN afhankelijk is van de zuurgraad. In Figuur 3.43 is te zien dat vanaf een pH van 7,6 de JG-MKN + AC overschrijdingen vrijwel gelijk zijn aan de overschrijdingen van het Bbk Wonen.

Net als bij koper, kan er voor nikkel bij de tweedelijsbeoordeling gebruikt gemaakt worden van biobeschikbaarheidsmodellen, zodat er aan een locatie-specifieke norm getoetst kan worden. Dit kan het percentage van 40% nuanceren.



Figuur 3.43. Percentage normoverschrijdingen van nikkel voor de verschillende beoordelingssystematieken in de pH-range van diepe plassen. BC is correctie met de achtergrondconcentratie. N = 88.

### 3.9.2 Fout-positief

Het verschil in beoordelingen staan in Tabel 3.7. Vergeleken met het Bbk, is voor de generieke norm uit het MHT 7% fout-positief beoordeeld en 2% fout-negatief. Voor de JG-MKN is dit 39% en 1%.

Tabel 3.7. Percentage fout-positief, fout-negatief, terecht-positief en terecht-negatief beoordelingen tussen de verschillende beoordelingssystematieken voor nikkel.

|   | Fout Positief (%) | Fout Negatief (%) | Terecht Positief (%) | Terecht Negatief (%) | Σ (%) | n (#) |
|---|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|-------|-------|
| Bbk Max. Wonen vs. MHT Generic Target Values  | 7                 | 2                 | 91                   | 0                    | 100   | 88    |
| Bbk Max. Wonen vs. MHT JG-MKN + AC            | 39                | 1                 | 59                   | 1                    | 100   | 88    |
| MHT Generic Target Values vs. MHT JG-MKN + AC | 33                | 0                 | 60                   | 7                    | 100   | 88    |

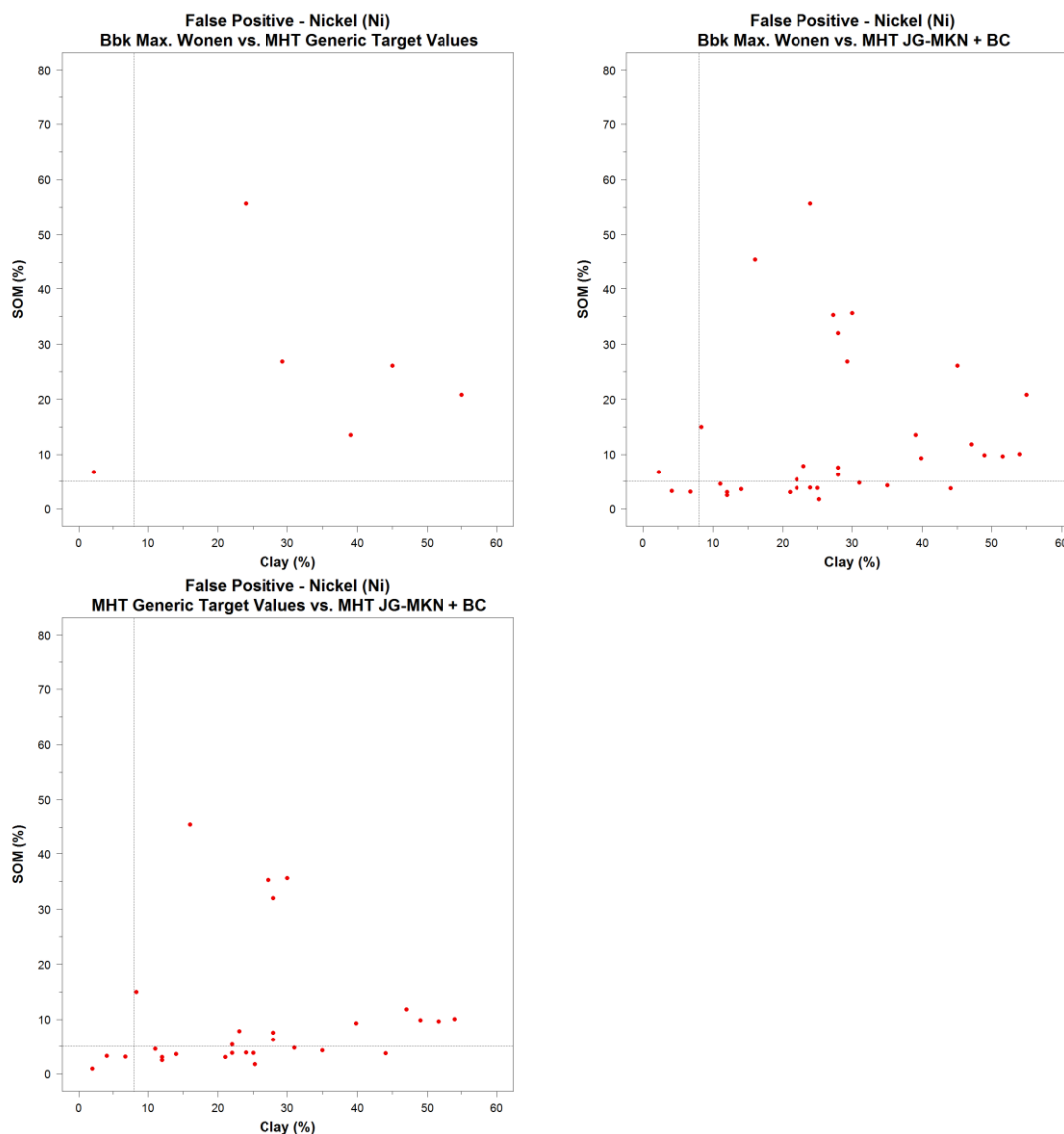
Fout-Positief: First = PASS, Second = FAIL (bijv. Bbk-Wonen (PASS) vs. MHT Generic Target Values (FAIL))

Fout-Negatief: First = FAIL, Second = PASS

Terecht-Positief: First = PASS, Second = PASS

Terecht-Negatief: First = FAIL, Second = FAIL

Figuur 3.44 geeft de positionering van de fout-positief beoordeelde gronden.

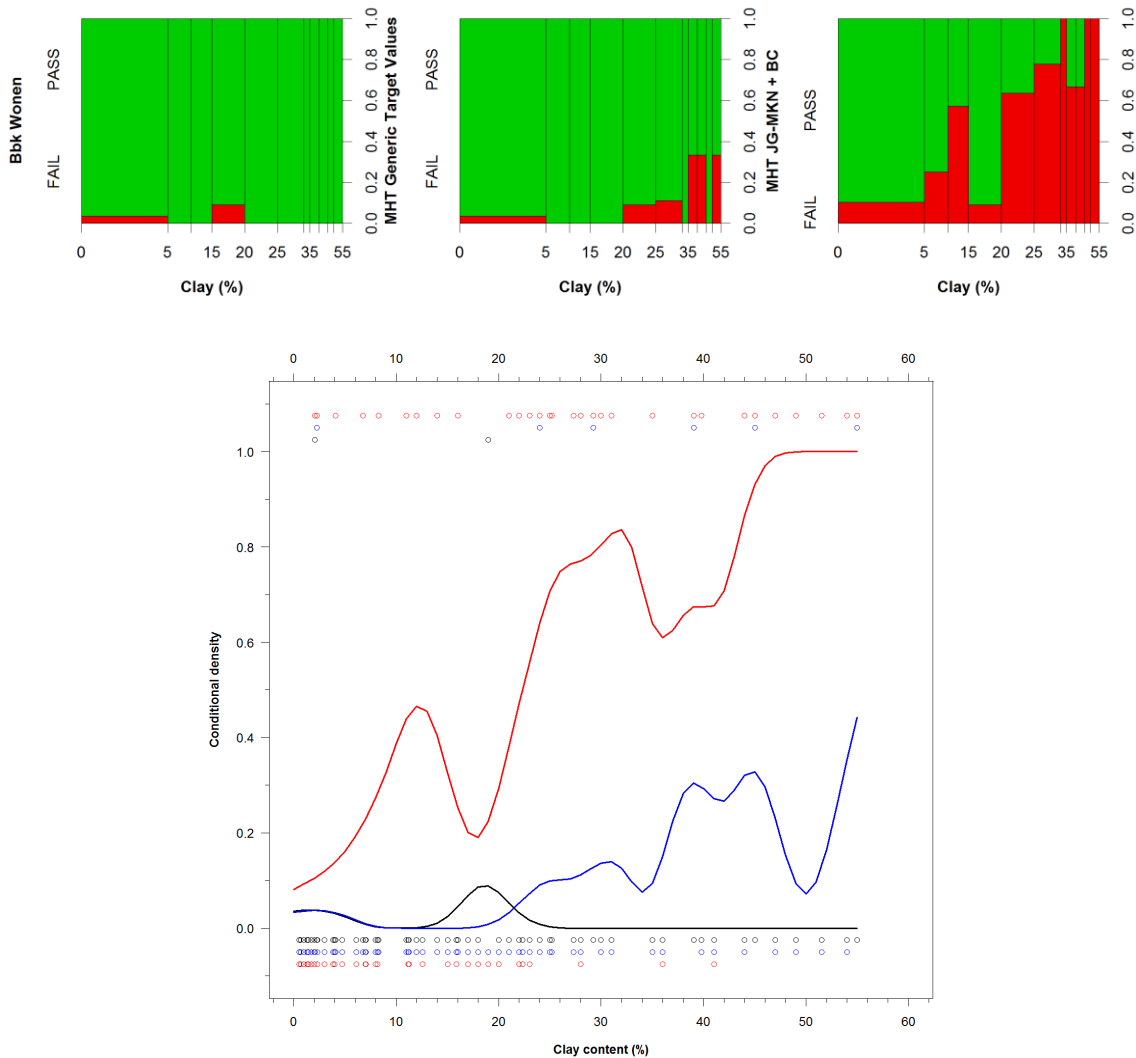


Figuur 3.44. Positionering van de gronden voor de fout-positieve normoverschrijdingen van nikkel: Bbk Wonen vs. generieke samenstellingswaarden MHT (linksboven), Bbk Wonen vs. MHT JG-MKN + AC (rechtsboven) en generieke samenstellingswaarden MHT vs. MHT JG-MKN + AC (linksonder). Verticale lijn is de bodemkundige zandgrens (lutumgehalte van 8%). Horizontale lijn is 5% organisch stofgehalte.

### 3.9.3 Verschillen

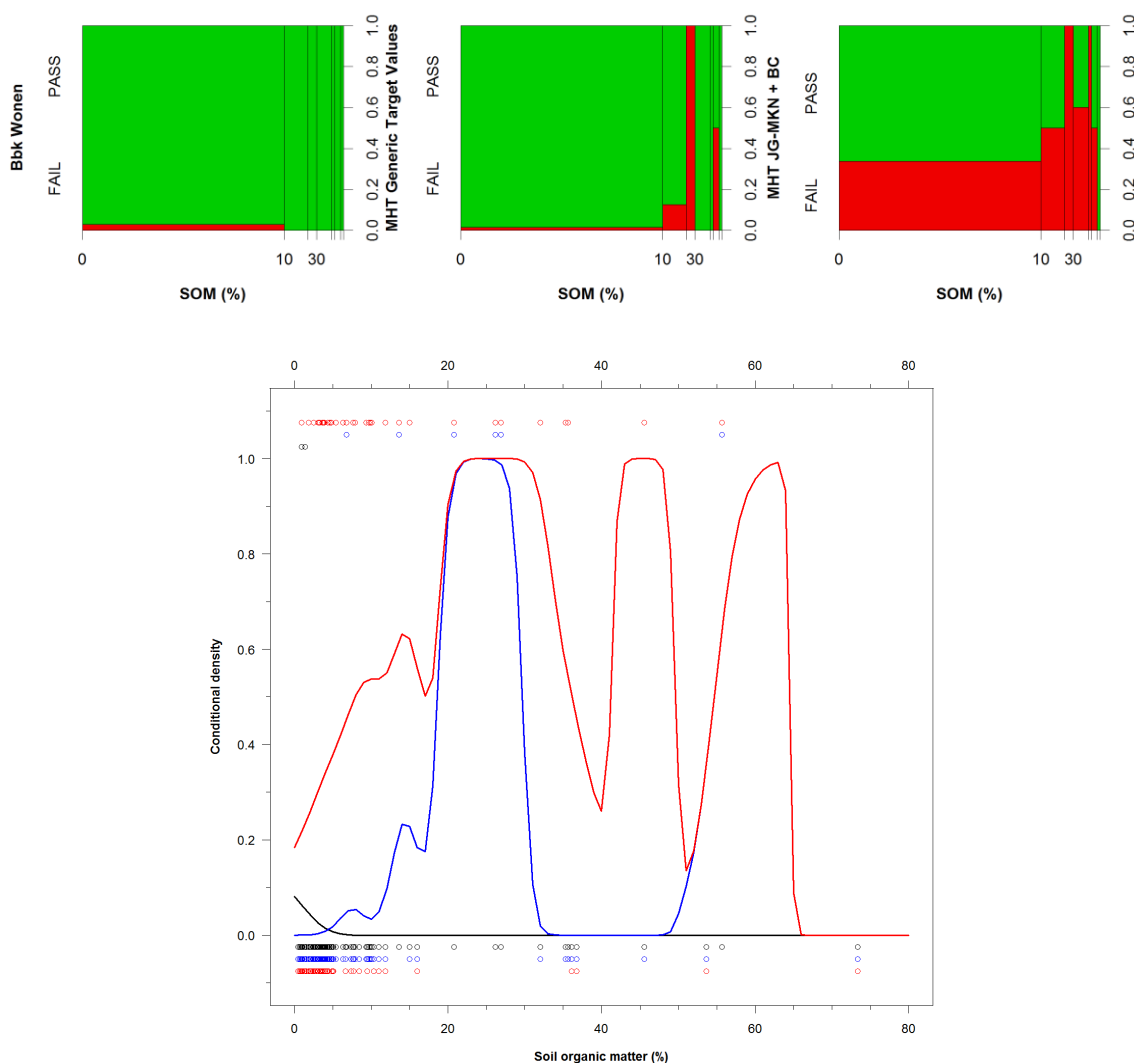
#### Klei

Uit Figuur 3.45 kan worden opgemaakt dat bij een toename in het lutumgehalte de beoordelingssystematieken gaan verschillen. Voor het Bbk Wonen zijn er maar twee gronden die de norm overschrijden, waardoor er geen trend te zien is. De generieke samenstellingswaarde van het MHT heeft een verhoogde kans op overschrijdingen bij een lutumgehalte van meer dan 25%. De JG-MKN + AC heeft vooral voor een lutumgehalte van meer dan 10% een verhoogde kans op normoverschrijdingen (Bbk Wonen,  $p = 0,760$ ; MHT Generiek,  $p = 0,011$ ; MHT JG-MKN,  $p = <0,001$ ).



Figuur 3.45. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor nikkel (FAIL) ten opzichte van het lutumgehalte (%) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor nikkel ten opzichte van het lutumgehalte (%) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

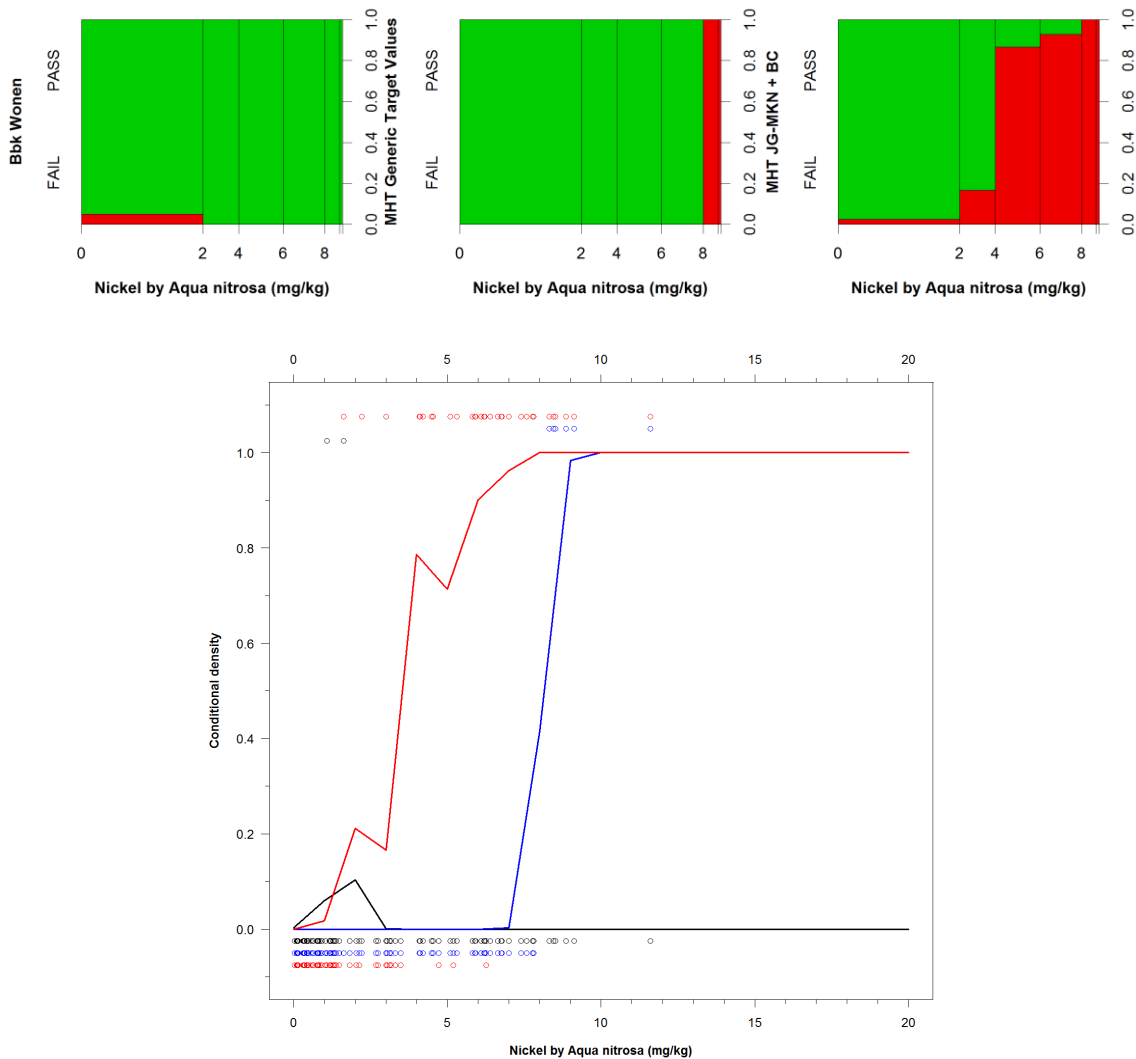
## Organisch stofgehalte



Figuur 3.46. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor nikkel (FAIL) ten opzichte van het organisch stofgehalte (%) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor nikkel ten opzichte van het organisch stofgehalte (%) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

Figuur 3.46 laat zien dat met name de JG-MKN + AC verschilt met het Bbk Wonen voor wat betreft het organisch stofgehalte. Over de gehele range laat JG-MKN + AC een verhoogde kans op normoverschrijdingen zien. In de range van 0-15% wordt dit ondersteund met een hogere datadichtheid. De normoverschrijdingen van de generieke samenstellingswaarde zijn ook verspreid over de hele range, met een kleine piek tussen de 15 en 30%. Echter, de datadichtheid is hier lager (Bbk Wonen,  $p = 0,990$ ; MHT Generiek,  $p = 0,015$ ; MHT JG-MKN,  $p = 0,092$ ).

Verontreinigingsgraad



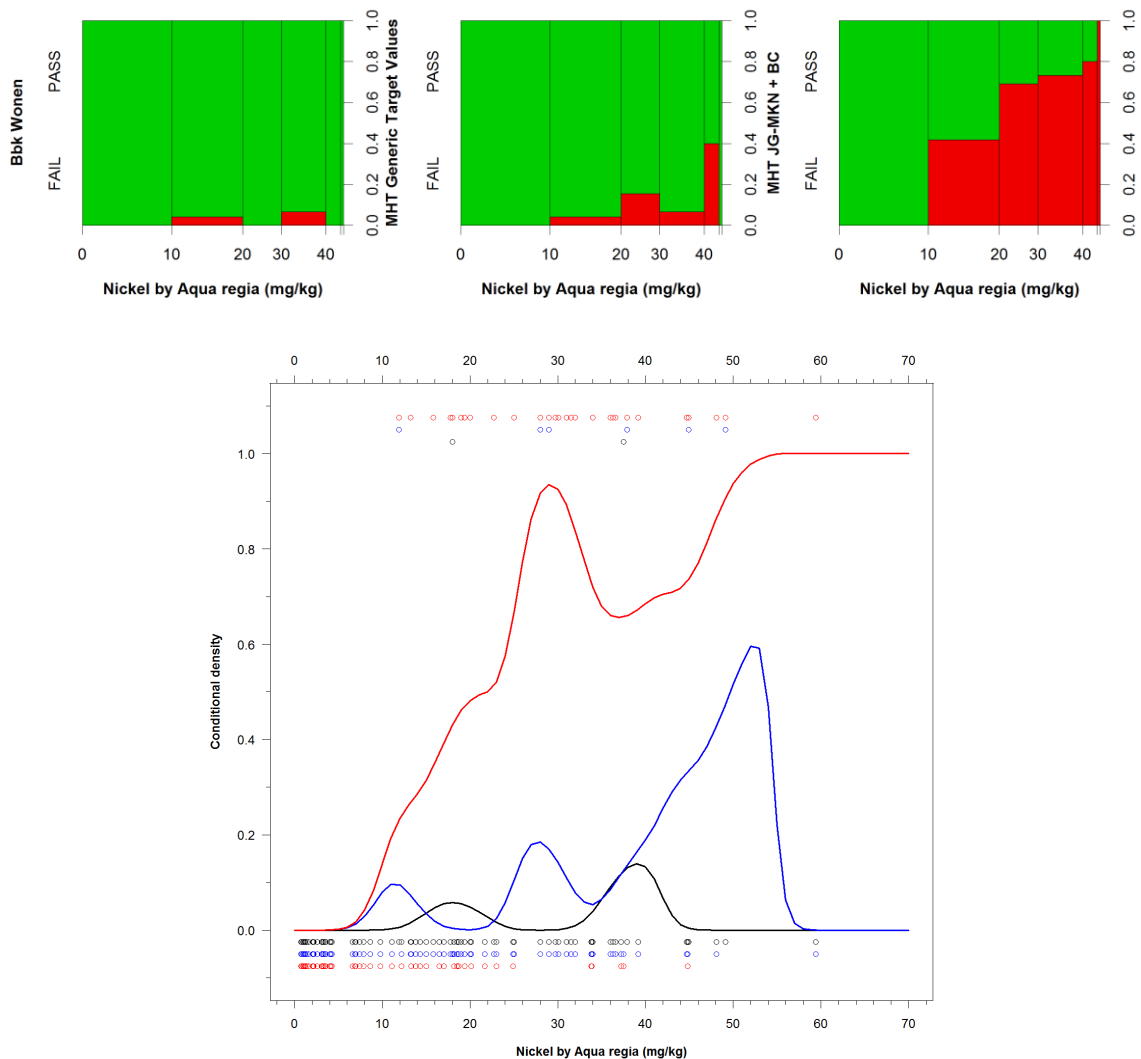
Figuur 3.47. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor nikkel (FAIL) ten opzichte van het nikkelgehalte via aqua nitrosa (mg/kg) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor nikkel ten opzichte van het nikkelgehalte via aqua nitrosa (mg/kg) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

De generieke samenstellingswaarde voor nikkel is 8,1 mg/kg via aqua nitrosa. In Figuur 3.47 is te zien dat het JG-MKN hiervan afwijkt: vanaf 4 mg/kg nemen de overschrijdingen toe. Met slechts twee punten laat het Bbk Wonen geen patroon zien (Bbk Wonen,  $p = 0,507$ ; MHT Generiek,  $p < 0,001$ ; MHT JG-MKN,  $p = 0$ ).

De norm van nikkel uit het Bbk Wonen is 39 mg/kg via aqua regia. Eén punt komt hier mee overeen (Figuur 3.48). Dit komt waarschijnlijk door de bodemtypecorrectie. De generieke



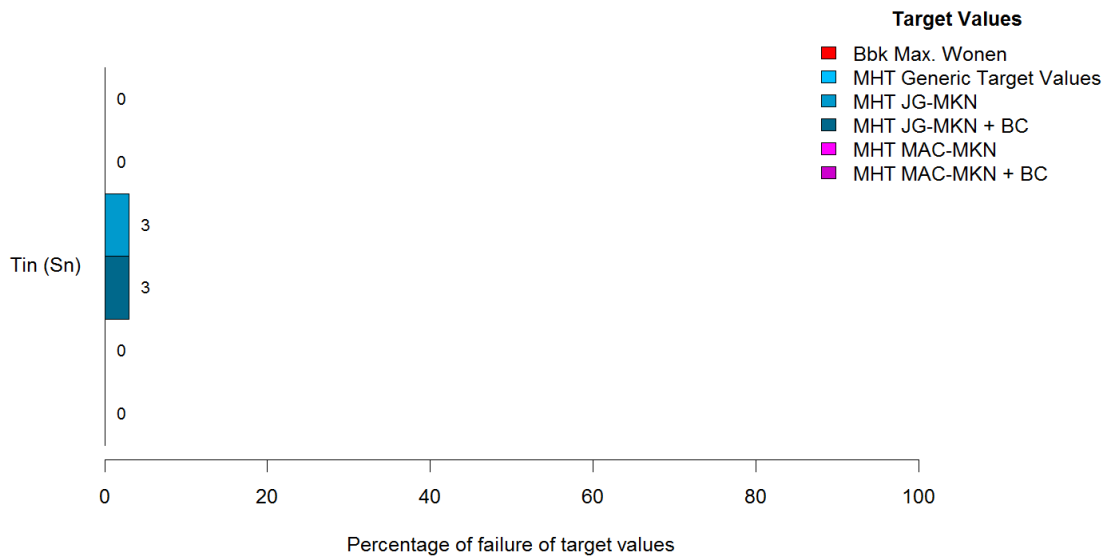
samenstellingswaarde laat niet een eenduidig beeld zien: de overschrijdingen zijn verspreid over de gehele *aqua regia* bandbreedte. De JG-MKN + AC is vanaf ongeveer 18 mg/kg verschillend qua normoverschrijdingen ten opzichte van de andere twee beoordelingssystematieken (Bbk Wonen,  $p = 0,349$ ; MHT Generiek,  $p = 0,012$ ; MHT JG-MKN,  $p = <0,001$ ).



Figuur 3.48. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor nikkel (FAIL) ten opzichte van het nikkelgehalte via *aqua regia* (mg/kg) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor nikkel ten opzichte van het nikkelgehalte via *aqua regia* (mg/kg) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

### 3.10 Tin

Figuur 3.49 geeft het percentage normoverschrijdingen voor tin.



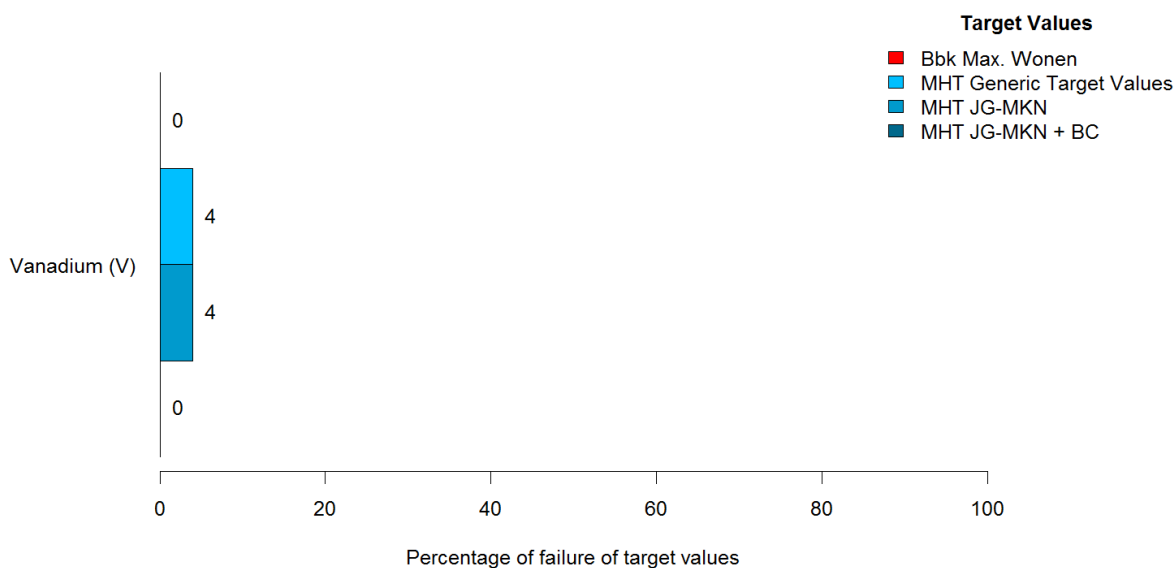
Figuur 3.49. Percentage normoverschrijdingen van tin voor de verschillende beoordelingssystematieken. BC is correctie met de achtergrondconcentratie.  $N = 29$ . Gebruikte  $pH = 7$ .

De normen voor het Bbk en de generieke samenstellingswaarde uit het MHT worden voor tin niet overschreden. Voor de JG-MKN + AC overschrijdt één grond (= 3%) de norm.

### 3.11 Vanadium

In Figuur 4.50 staat het percentage normoverschrijdingen van vanadium. Voor vanadium is er geen MAC-waarde gedefinieerd.

Vanadium overschrijdt de norm niet voor het Bbk Wonen. 4% van de gronden overschrijdt de generieke samenstellingswaarde uit het MHT. Na de correctie van de achtergrondconcentratie zijn er geen normoverschrijdingen voor de JG-MKN.

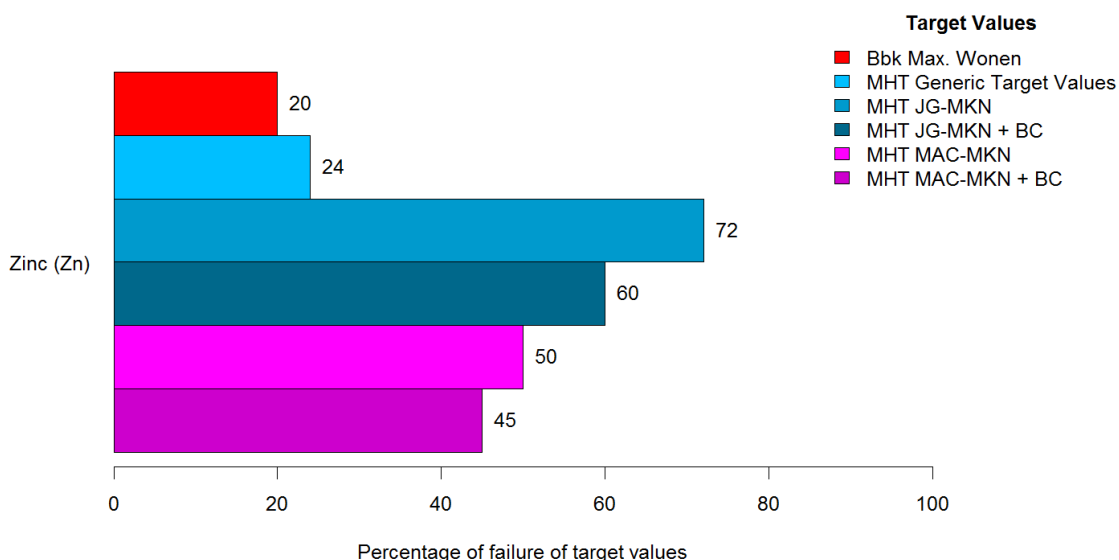


Figuur 3.50. Percentage normoverschrijdingen van vanadium voor de verschillende beoordelingssystematieken. BC is correctie met de achtergrondconcentratie.  $N = 74$ . Gebruikte  $pH = 7$ .

### 3.12 Zink

#### 3.12.1 Normoverschrijdingen

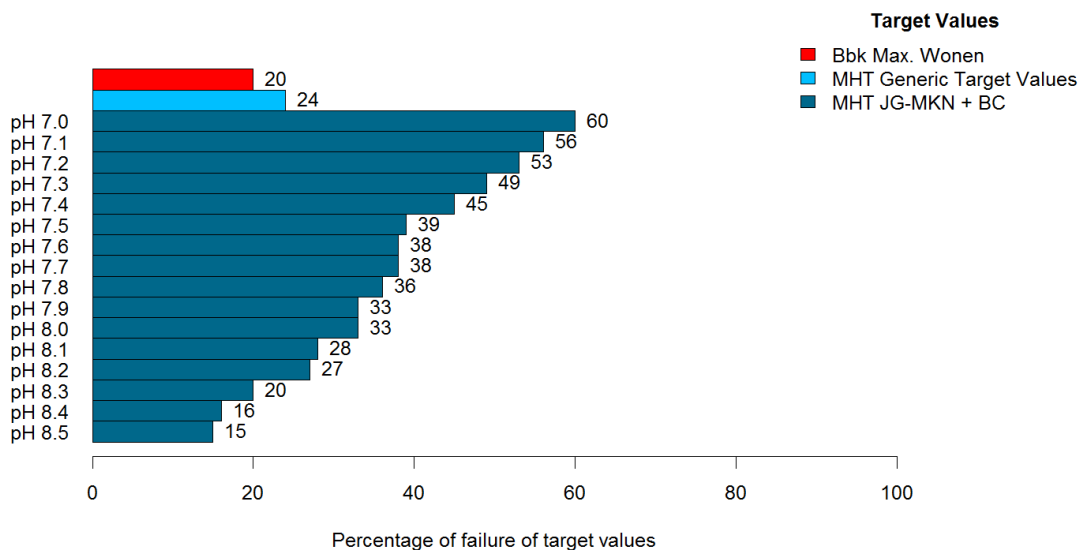
Het percentage normoverschrijdingen voor zink is weergegeven in Figuur 3.51.



Figuur 3.51. Percentage normoverschrijdingen van zink voor de verschillende beoordelingssystematieken. BC is correctie met de achtergrondconcentratie.  $N = 88$ . Gebruikte  $pH = 7$ .

Van alle gronden overschrijdt 20% de norm voor het Bbk-Wonen. Voor de generieke samenstellingswaarde is dit 24%. Na een correctie voor de achtergrondconcentratie laten de JG-MKN en de MAC-MKN een overschrijding zien van respectievelijk 60% en 45%.

De berekende opgeloste concentratie van zink is afhankelijk van de zuurgraad. Figuur 3.52 laat zien dat het percentage normoverschrijdingen afneemt met een toenemende pH. Vanaf een pH van 8,3 is de JG-MKN + AC gelijk of zelfs soepeler dan het Bbk Wonen.



Figuur 3.52 Percentage normoverschrijdingen van zink voor de verschillende beoordelingssystematieken in de pH-range van diepe plassen. BC is correctie met de achtergrondconcentratie. N = 88.

Evenals voor koper en nikkel mag er voor zink gebruik gemaakt worden van biobeschikbaarheidsmodellen voor de tweedelijnsbeoordeling. Hierdoor kan er locatie-specifiek naar potentiële normoverschrijdingen gekeken worden.

### 3.12.2 Fout-positief

Het verschil tussen de beoordelingen staan in Tabel 3.6. De generieke samenstellingswaarde beoordeelt 7% fout-positief, 3% fout-negatief en 17% terecht-negatief ten opzichte van het Bbk wonen. De JG-MKN beoordeelt 41% fout-positief tegenover 19% terecht-negatief.

Tabel 3.6. Percentage fout-positief, fout-negatief, terecht-positief en terecht-negatief beoordelingen tussen de verschillende beoordelingssystematieken voor zink.

|  | <b>Fout<br/>Positief</b><br>(%) | <b>Fout<br/>Negatief</b><br>(%) | <b>Terecht<br/>Positief</b><br>(%) | <b>Terecht<br/>Negatief</b><br>(%) | $\Sigma$<br>(%) | <b>n</b><br>(#) |
|--|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|
| Bbk Max. Wonen vs.<br>MHT Generic Target Values  | 7                               | 3                               | 73                                 | 17                                 | 100             | 88              |
| Bbk Max. Wonen vs.<br>MHT JG-MKN + AC            | 41                              | 1                               | 39                                 | 19                                 | 100             | 88              |
| MHT Generic Target Values vs.<br>MHT JG-MKN + AC | 36                              | 0                               | 40                                 | 24                                 | 100             | 88              |

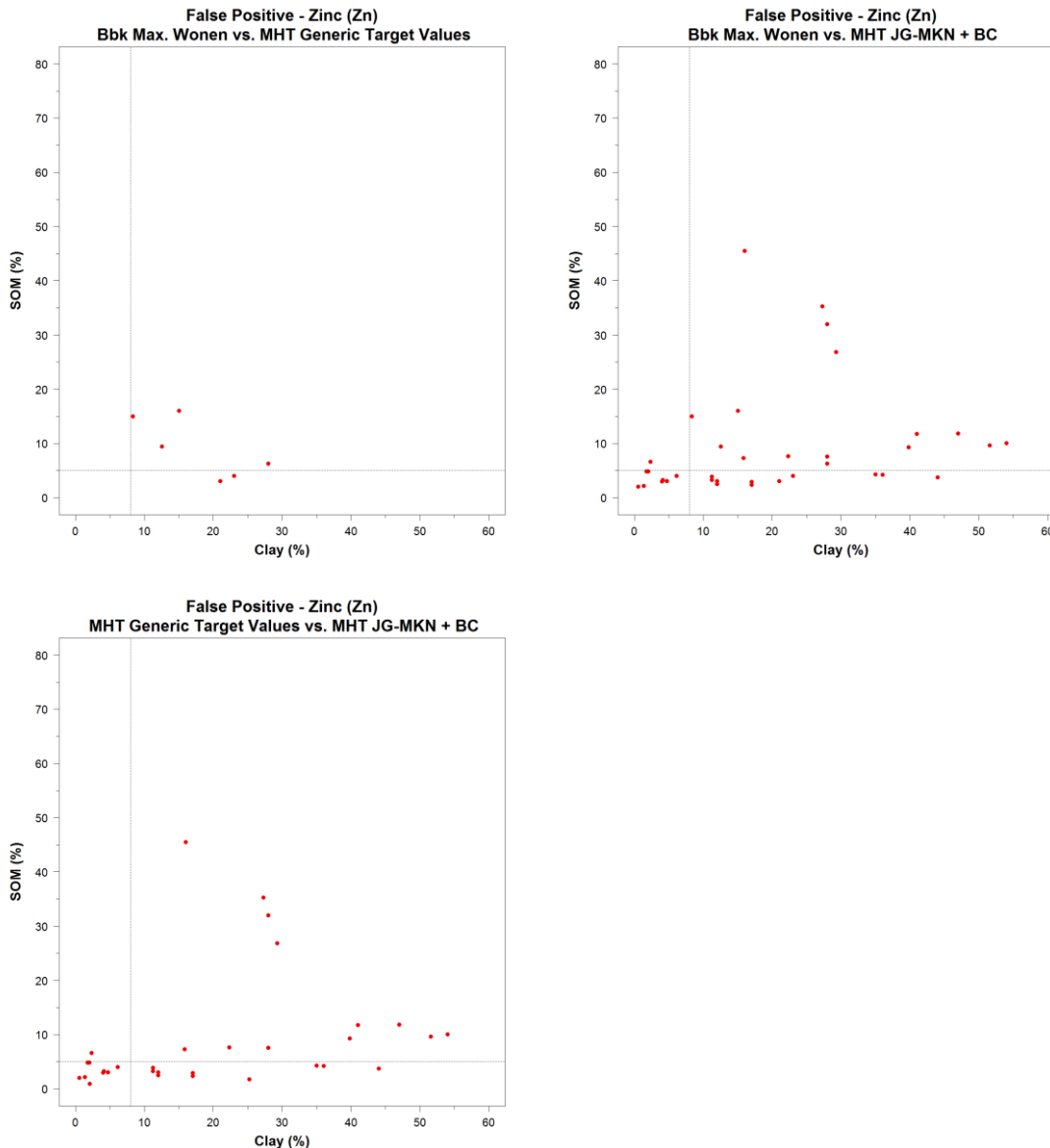
Fout-Positief: First = PASS, Second = FAIL (bijv. Bbk Max. Wonen (PASS) vs. MHT Generic Target Values (FAIL))

Fout-Negatief: First = FAIL, Second = PASS

Terecht-Positief: First = PASS, Second = PASS

Terecht-Negatief: First = FAIL, Second = FAIL

De positionering van de fout-positief beoordeelde gronden is te zien in Figuur 3.53.

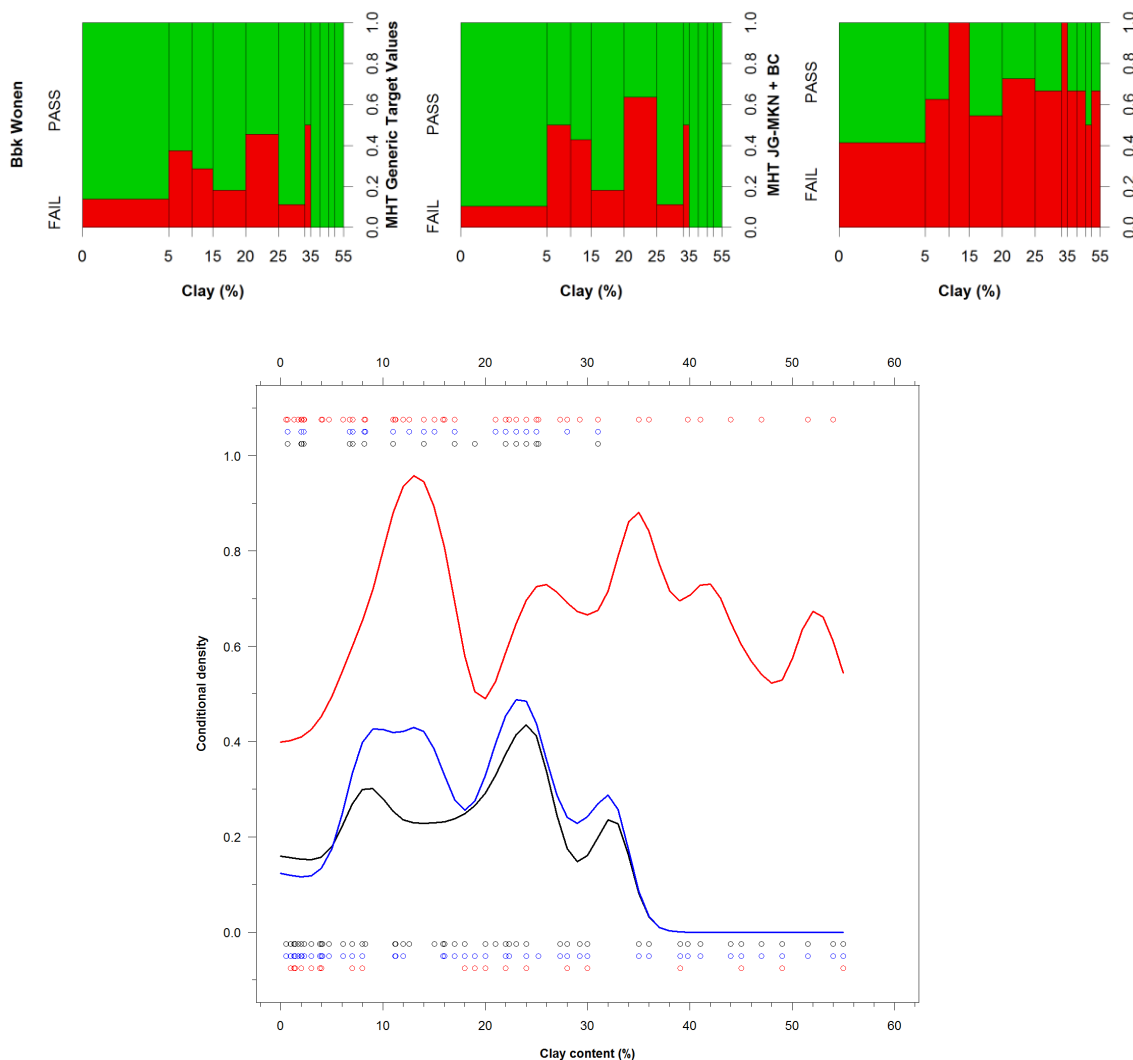


Figuur 3.53. Positionering van de gronden voor de fout-positieve normoverschrijdingen van zink: Bbk Wonen vs. generieke samenstellingswaarden MHT (linksboven), Bbk Wonen vs. MHT JG-MKN + AC (rechtsboven) en generieke samenstellingswaarden MHT vs. MHT JG-MKN + AC (linksonder). Verticale lijn is de bodemkundige zandgrens (lutumgehalte van 8%). Horizontale lijn is 5% organisch stofgehalte.

### 3.12.3 Verschillen

#### Klei

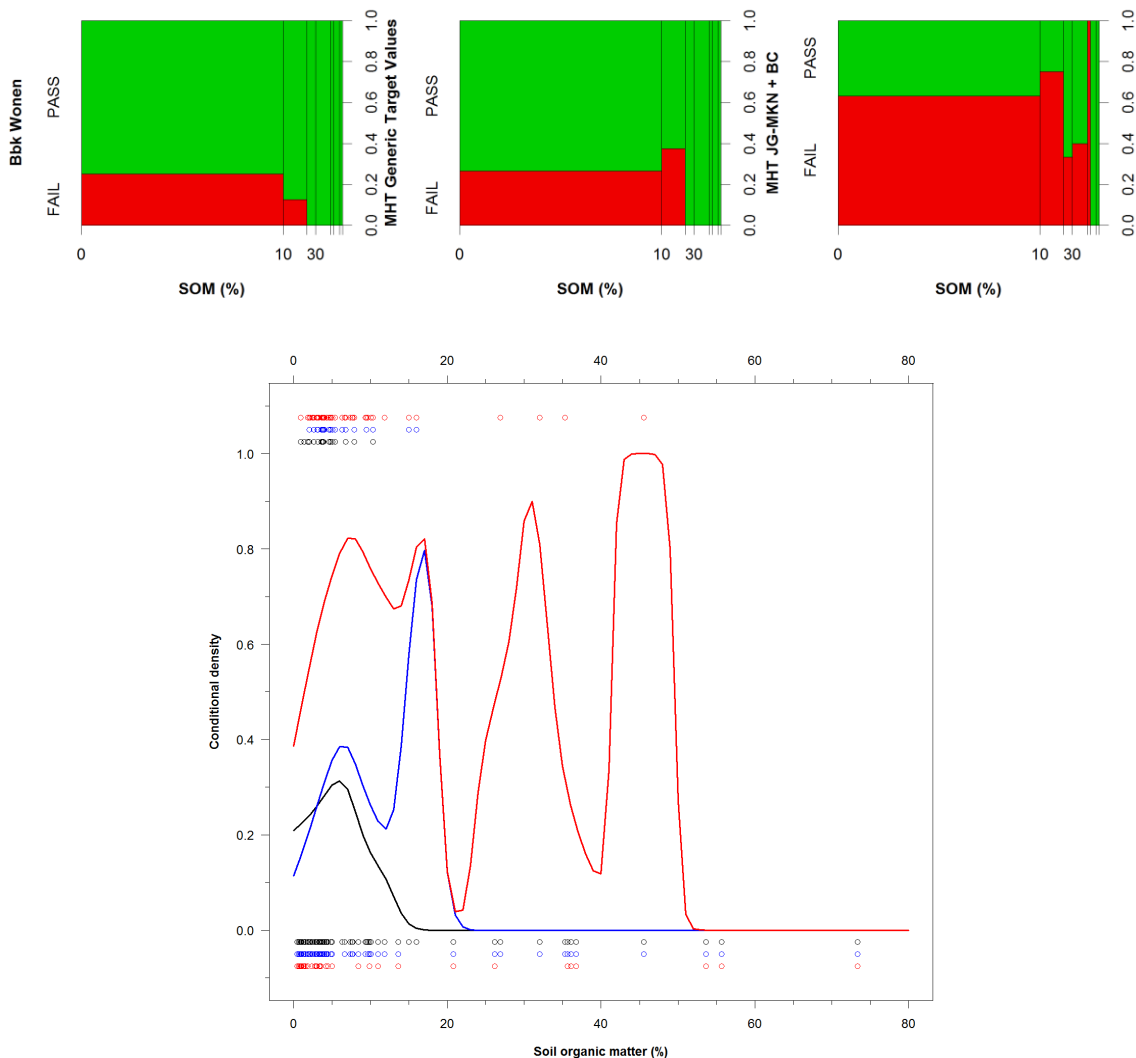
Figuur 3.54 laat zien dat het Bbk Wonen en de generieke samenstellingswaarde van het MHT vrijwel niet verschillen van elkaar. Ze hebben beide een verhoogde kans op normoverschrijdingen voor gronden met een lutumgehalte van 30% of lager. Het aantal overschrijdingen voor de JG-MKN + AC is over de gehele lutumbandbreedte hoger (Bbk Wonen,  $p = 0,528$ ; MHT Generiek,  $p = 0,683$ ; MHT JG-MKN,  $p = 0,202$ ).



Figuur 3.54. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor zink (FAIL) ten opzichte van het lutumgehalte (%) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor zink ten opzichte van het lutumgehalte (%) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

### Organisch stofgehalte

Ook voor het organisch stofgehalte verschillen het Bbk Wonen en de generieke samenstellingswaarde vrijwel niet met elkaar met de overschrijdingen vooral in de 0-12% range (Figuur 3.55). De JG-MKN + AC verschilt van beide andere beoordelingen met meer overschrijdingen in de 0-20% range (Bbk Wonen,  $p = 0,048$ ; MHT Generiek,  $p = 0,203$ ; MHT JG-MKN,  $p = 0,125$ ).

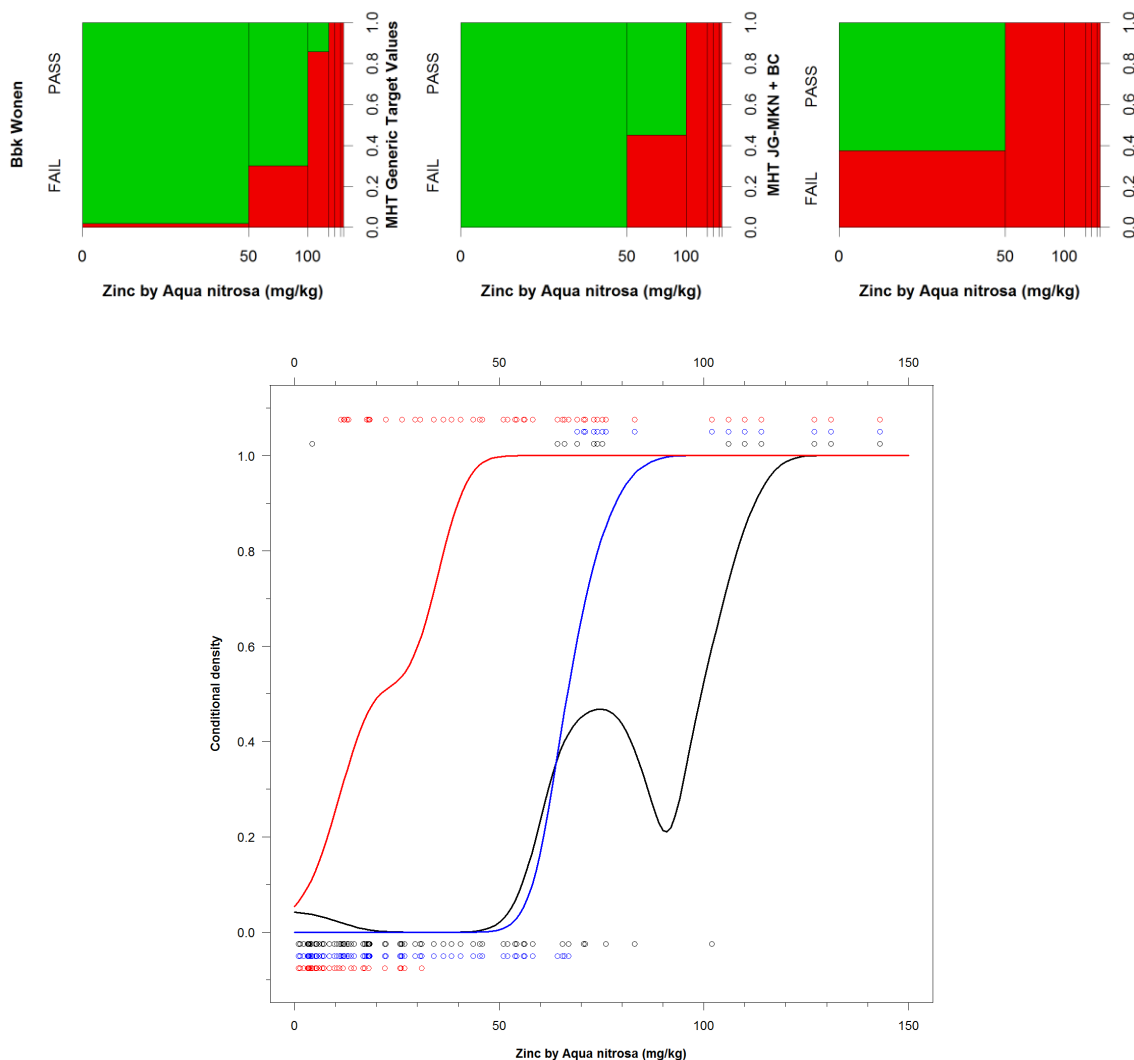


Figuur 3.55. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor zink (FAIL) ten opzichte van het organisch stofgehalte (%) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor zink ten opzichte van het organisch stofgehalte (%) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

### Verontreinigingsgraad

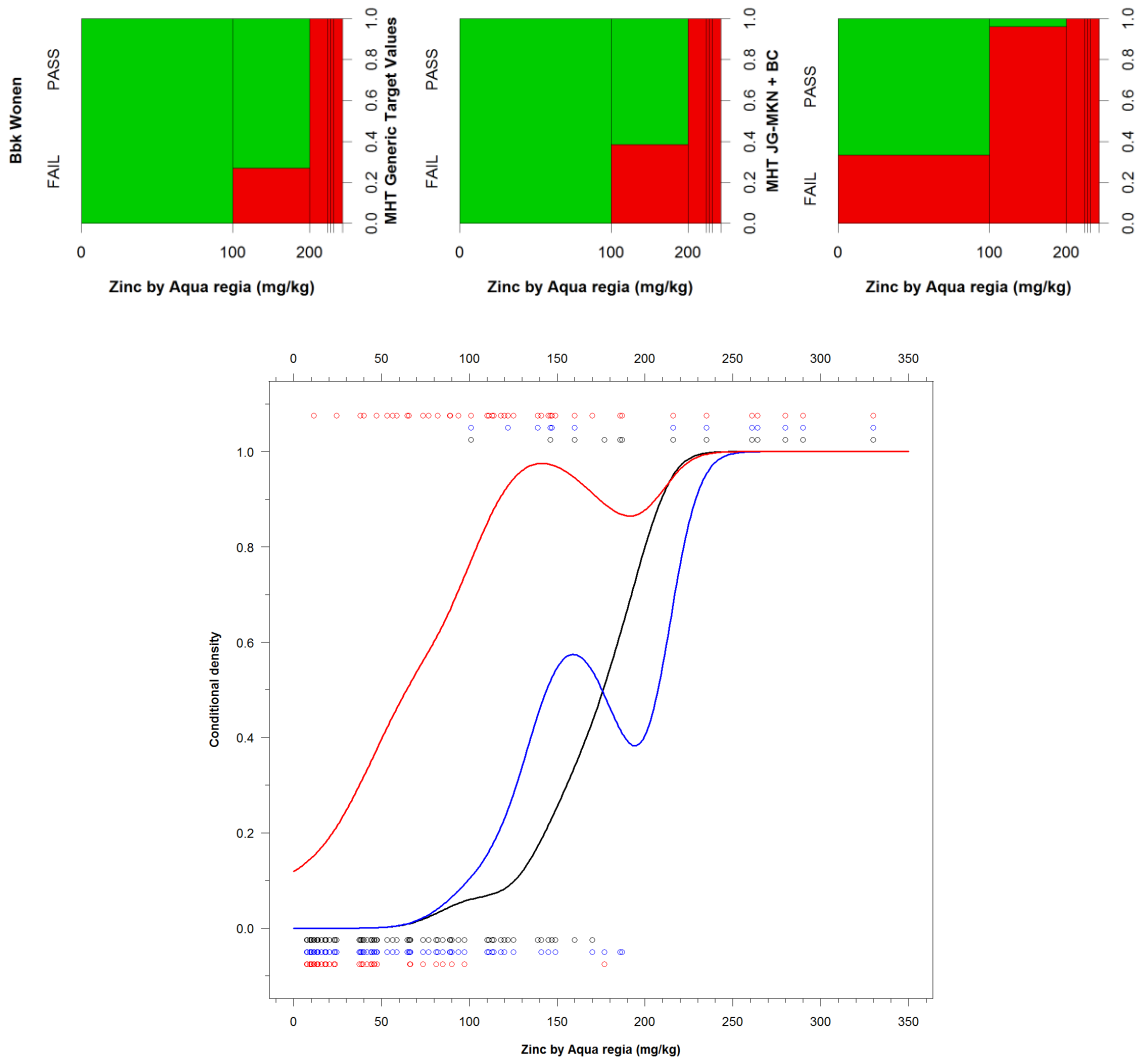
De generieke samenstellingswaarde voor zink via *aqua nitrosa* is 67 mg/kg (Figuur 3.56). Het Bbk Wonen heeft voor ongeveer dezelfde waarde ook meer overschrijdingen, maar niet zo absoluut als de generieke waarde uit het MHT. De JG-MKN + AC heeft vanaf 10 mg/kg meer overschrijdingen en oogt daardoor strenger ten opzichte van de andere beoordelingssystematieken (Bbk Wonen,  $p = <0,001$ ; MHT Generiek,  $p = 0$ ; MHT JG-MKN,  $p = <0,001$ ).





Figuur 3.56. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor zink (FAIL) ten opzichte van het zinkgehalte via aqua nitrosa (mg/kg) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor zink ten opzichte van het zinkgehalte via aqua nitrosa (mg/kg) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

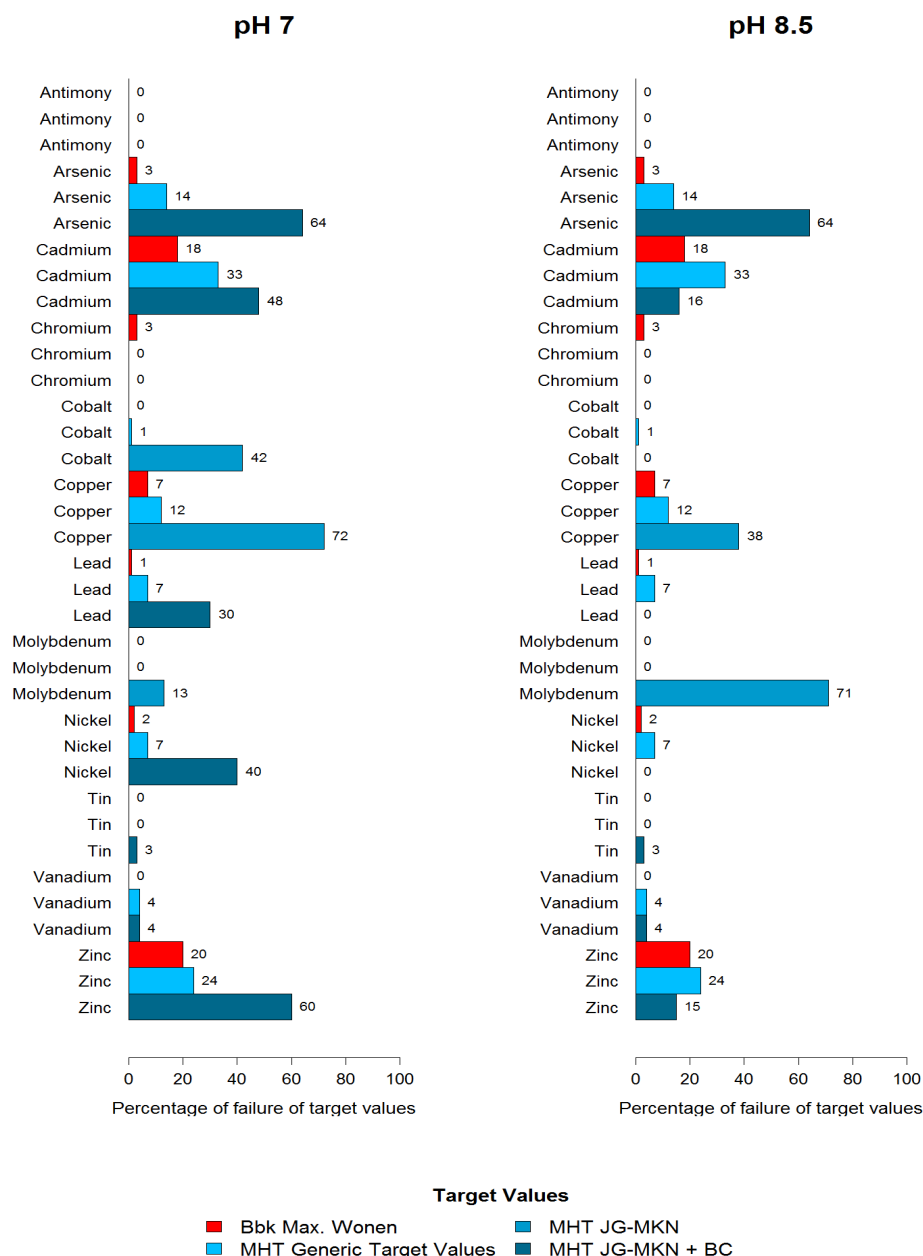
Eenzelfde beeld is te zien voor de verontreinigingsgraad via *aqua regia* (Figuur 3.57). De zink norm uit het Bbk is vastgesteld op 200 mg/kg. Vanwege de bodemtypecorrectie neemt het aantal overschrijdingen al vanaf 150 mg/kg toe. De generieke samenstellingswaarde uit het MHT zit hierbij in de buurt met 140 mg/kg. Het aantal overschrijdingen voor de JG-MKN + AC nemen al vanaf 35 mg/kg toe (Bbk Wonen,  $p = <0,001$ ; MHT Generiek,  $p = 0,001$ ; MHT JG-MKN,  $p = <0,001$ ).



Figuur 3.57. Spinogrammen van de fractie normoverschrijdingen voor zink (FAIL) ten opzichte van het zinkgehalte via aqua regia (mg/kg) voor het Bbk Wonen (linksboven), de generieke samenstellingswaarden van het MHT (middenboven) en de MHT JG-MKN + AC (rechtsboven). De breedte van de balken geeft de relatieve frequenties weer. Onder: conditional density plots van de normoverschrijdingen voor zink ten opzichte van het zinkgehalte via aqua regia (mg/kg) voor Bbk Wonen (zwart), MHT generieke samenstellingswaarden (blauw) en MHT JG-MKN + AC (rood). De punten geven de waarnemingen weer: punten bij nul = PASS, bij één = FAIL.

### 3.13 Synthese

De normoverschrijdingen volgens de verschillende beoordelingssystematieken zijn samengevat in Figuur 3.58. Dit is weergegeven voor alle onderzochte metalen en voor twee pH-waarden (pH=7 en pH=8,5).



Figuur 3.58. Percentage normoverschrijdingen van alle metalen voor de verschillende beoordelingssystematieken voor pH = 7 en pH = 8,5. (MHT Generic Target Values = Generieke samenstellingswaarden. BC is correctie met de achtergrondconcentratie indien toegestaan).

Als het Bbk-Wonen wordt vergeleken met de **generieke samenstellingswaarden** uit het MHT, dan valt op dat de systematieken ongeveer even streng zijn. De percentages fout-positief zijn beperkt van 0 tot 7% voor de meeste elementen (Tabel 3.7). Alleen arseen en cadmium laten hogere percentages zien (10 resp. 15%). Voor cadmium is het percentage terecht-negatief echter van een zelfde orde (18%).

Tabel 3.7. Overzicht percentages fout-positief, fout-negatief, terecht-positief en terecht-negatief beoordelingen tussen het Bbk-Wonen en de generieke samenstellingswaarden uit het MHT.

| Bbk Wonen vs. MHT Generieke samenstellingswaarde |    |                   |                   |                      |                      |       |       |
|--|----|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|-------|-------|
| Element  |    | Fout Positief (%) | Fout Negatief (%) | Terecht Positief (%) | Terecht Negatief (%) | Σ (%) | n (#) |
| Antimoon   | Sb | 0                 | 0                 | 100                  | 0                    | 100   | 74    |
| Arseen   | As | 10                | 0                 | 86                   | 3                    | 99    | 88    |
| Cadmium  | Cd | 15                | 0                 | 67                   | 18                   | 100   | 88    |
| Chroom   | Cr | 0                 | 3                 | 97                   | 0                    | 100   | 88    |
| Kobalt   | Co | 1                 | 0                 | 99                   | 0                    | 100   | 88    |
| Koper  | Cu | 7                 | 1                 | 86                   | 6                    | 100   | 88    |
| Lood   | Pb | 6                 | 0                 | 93                   | 1                    | 100   | 88    |
| Molybdeen  | Mo | 0                 | 0                 | 100                  | 0                    | 100   | 55    |
| Nikkel   | Ni | 7                 | 2                 | 91                   | 0                    | 100   | 88    |
| Tin  | Sn | 0                 | 0                 | 100                  | 0                    | 100   | 29    |
| Vanadium   | V  | 4                 | 0                 | 96                   | 0                    | 100   | 74    |
| Zink   | Zn | 7                 | 3                 | 73                   | 17                   | 100   | 88    |

Fout-Positief: Bbk Wonen = PASS, MHT Generieke samenstellingswaarde = FAIL

Fout-Negatief: Bbk Wonen = FAIL, MHT Generieke samenstellingswaarde = PASS

Terecht-Positief: Bbk Wonen = PASS, MHT Generieke samenstellingswaarde = PASS

Terecht-Negatief: Bbk Wonen = FAIL, MHT Generieke samenstellingswaarde = FAIL

Tabel 3.8 laat de vergelijking zien tussen het Bbk en de **JG-MKN beoordeling**. De beoordeling via JG-MKN is voor de helft van de elementen (bij een "standaard pH" van 7) strenger, te weten voor arseen, cadmium, kobalt, koper, lood, nikkel en zink. Dit algemene beeld wordt echter sterk genuanceerd, om drie redenen:

1. Indien een **achtergrondcorrectie** is toegestaan (zie Tabel 2.4) dan daalt in die gevallen het aantal fout-positieven c.q. overschrijdingen;
2. Het percentage normoverschrijdingen voor cadmium, chroom, kobalt, koper, lood, molybdeen, nikkel en zink hangt tevens samen met de **zuurgraad** van de plas. Zo zal er bij een toenemende pH het percentage normoverschrijdingen van de genoemde metalen afnemen, met uitzondering van molybdeen (zie ook Figuur 3.58). Voor veel (rijks)wateren is de pH veelal hoger dan 7, met name in zomerperioden.
3. Toetsing aan de JG-MKN staat een **tweedelijnsbeoordeling** toe. Voor koper, nikkel, lood en zink zijn BLMs (Biotic Ligand Models) beschikbaar, waardoor de afgeleide locatiespecifieke norm in de meeste gevallen hoger (=minder streng) uitvalt. Dit heeft te maken met het feit dat in de afleiding van de generieke norm er uitgegaan wordt van een worst-case scenario. Bijvoorbeeld: het percentage overschrijdingen van koper neemt af van 72% naar 3%, voor een scenario van pH 7 en 1 mg/L DOC.

Tabel 3.8. Overzicht percentages fout-positief, fout-negatief, terecht-positief en terecht-negatief beoordelingen tussen het Bbk-Wonen en de JG-MKN uit het MHT. Gebruikte pH = 7.

|                |    | <b>Bbk Wonen vs. MHT JG-MKN + BC</b> |                 |                 |                 |          |          |
|----------------|----|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|----------|
| <b>Element</b> |    | <b>Fout</b>                          | <b>Fout</b>     | <b>Terecht</b>  | <b>Terecht</b>  | $\Sigma$ | <b>n</b> |
|                |    | <b>Positief</b>                      | <b>Negatief</b> | <b>Positief</b> | <b>Negatief</b> |          |          |
|                |    | (%)                                  | (%)             | (%)             | (%)             | (%)      | (#)      |
| Antimoon       | Sb | 0                                    | 0               | 100             | 0               | 100      | 74       |
| Arseen         | As | 60                                   | 0               | 36              | 3               | 99       | 88       |
| Cadmium        | Cd | 30                                   | 0               | 52              | 18              | 100      | 88       |
| Chroom         | Cr | 0                                    | 3               | 97              | 0               | 100      | 88       |
| Kobalt         | Co | 42                                   | 0               | 58              | 0               | 100      | 88       |
| Koper          | Cu | 66                                   | 1               | 27              | 6               | 100      | 88       |
| Lood           | Pb | 28                                   | 0               | 70              | 1               | 99       | 88       |
| Molybdeen      | Mo | 13                                   | 0               | 87              | 0               | 100      | 55       |
| Nikkel         | Ni | 39                                   | 1               | 59              | 1               | 100      | 88       |
| Tin            | Sn | 3                                    | 0               | 97              | 0               | 100      | 29       |
| Vanadium       | V  | 0                                    | 0               | 100             | 0               | 100      | 74       |
| Zink           | Zn | 41                                   | 1               | 39              | 19              | 100      | 88       |

Fout-Positief: Bbk Wonen = PASS, MHT JG-MKN + BC = FAIL

Fout-Negatief: Bbk Wonen = FAIL, MHT JG-MKN + BC = PASS

Terecht-Positief: Bbk Wonen = PASS, MHT JG-MKN + BC = PASS

Terecht-Negatief: Bbk Wonen = FAIL, MHT JG-MKN + BC = FAIL

Tabel 3.9. Overzicht percentages fout-positief, fout-negatief, terecht-positief en terecht-negatief beoordelingen tussen de generieke samenstellingswaarden en de JG-MKN uit het MHT. Gebruikte pH = 7.

|                |    | <b>MHT Generieke samenstellingswaarde vs. MHT JG-MKN + BC</b> |                 |                 |                 |          |          |
|----------------|----|---|-----------------|-----------------|-----------------|----------|----------|
| <b>Element</b> |    | <b>Fout</b>   | <b>Fout</b>     | <b>Terecht</b>  | <b>Terecht</b>  | $\Sigma$ | <b>n</b> |
|                |    | <b>Positief</b>   | <b>Negatief</b> | <b>Positief</b> | <b>Negatief</b> |          |          |
|                |    | (%)   | (%)             | (%)             | (%)             | (%)      | (#)      |
| Antimoon       | Sb | 0   | 0               | 100             | 0               | 100      | 74       |
| Arseen         | As | 50  | 0               | 36              | 14              | 100      | 88       |
| Cadmium        | Cd | 16  | 1               | 51              | 32              | 100      | 88       |
| Chroom         | Cr | 0   | 0               | 100             | 0               | 100      | 88       |
| Kobalt         | Co | 41  | 0               | 58              | 1               | 100      | 88       |
| Koper          | Cu | 59  | 0               | 28              | 12              | 99       | 88       |
| Lood           | Pb | 23  | 0               | 70              | 7               | 100      | 88       |
| Molybdeen      | Mo | 13  | 0               | 87              | 0               | 100      | 55       |
| Nikkel         | Ni | 33  | 0               | 60              | 7               | 100      | 88       |
| Tin            | Sn | 3   | 0               | 97              | 0               | 100      | 29       |
| Vanadium       | V  | 0   | 4               | 96              | 0               | 100      | 74       |
| Zink           | Zn | 36  | 0               | 40              | 24              | 100      | 88       |

Fout-Positief: MHT Generieke samenstellingswaarde = PASS, MHT JG-MKN + BC = FAIL

Fout-Negatief: MHT Generieke samenstellingswaarde = FAIL, MHT JG-MKN + BC = PASS

Terecht-Positief: MHT Generieke samenstellingswaarde = PASS, MHT JG-MKN + BC = PASS

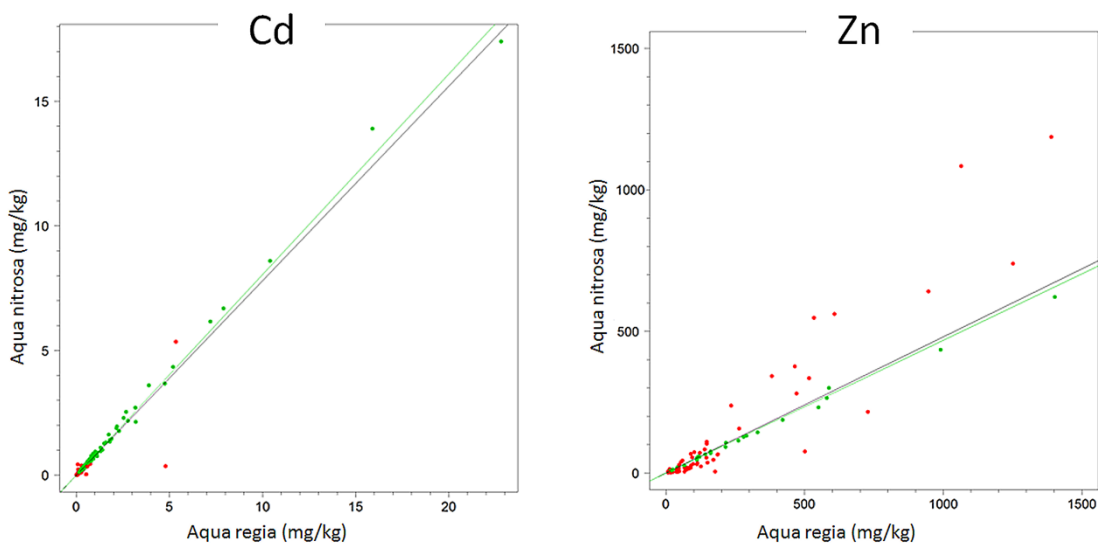
Terecht-Negatief: MHT Generieke samenstellingswaarde = FAIL, MHT JG-MKN + BC = FAIL

Voor lood kan er gebruik worden gemaakt van een DOC-correctie, waardoor de norm soepeler kan worden bij een toenemende DOC-concentratie. Tevens zal er in de nabije toekomst een loodmodule aanwezig zijn in PNEC-pro versie 6, waardoor voor lood de locatiespecifieke norm via BLMs berekend kan worden.

### 3.14 Conversiefactoren *aqua regia* en *aqua nitrosa*

Het Milieuhygiënisch Toetsingskader vermeldt per metaal de verhoudingen tussen de analyse met *aqua regia* (AR) en met *aqua nitrosa* (AN). Deze verhoudingen zouden mogelijk als conversiefactoren gebruikt kunnen worden om ontbrekende gegevens aan te kunnen vullen door middel van omrekening. Aangezien de verhouding van AR/AN in zekere zin berust op (geo)chemische, mechanistische grondslagen zou een dergelijke verkenning legitiem zijn. De factoren uit het MHT zijn gebaseerd op een kleiner aantal gronden dan de database uit deze studie.

Figuur 3.59 laat twee voorbeelden zien tussen de verhouding AR/AN voor cadmium en zink. De extractie met *aqua nitrosa* levert voor cadmium grofweg driekwart van de waarde van de extractie met *aqua regia*, voor zink is dit ongeveer de helft. Het verhoudingsgetal verschilt uiteraard per metaal.



Figuur 3.59. Relatie voor koper tussen de analyse met *aqua regia* en *aqua nitrosa*. Groene lijn = deze studie, zwarte lijn = uit MHT.

#### 3.14.1 Conversiefactoren op basis van alle gegevens

Allereerst is bepaald welke conversiefactoren per metaal kunnen worden afgeleid voor de gehele database van grondpartijen. De berekende factoren, en de uitkomsten van de significantie-testen, staan weergegeven in Bijlage B.

Van de dertien individuele metalen zijn er vijf afwijkend bij een significantie niveau van 0,05 namelijk antimoon, barium, chroom, lood en tin. Dit betekent dat voor deze vijf elementen met 95 procent zekerheid gezegd kan worden dat er een statistisch verschil bestaat tussen de factoren die vermeld zijn in het MHT en de factoren die in deze studie zijn afgeleid. Echter, de totaalvergelijking van de gehele database geeft aan dat er geen significant verschil is tussen de ratio's uit het MHT en de gevonden ratio's. Dit geeft aan dat de conversiefactoren uit het

MHT goed reproduceerbaar zijn bij een toename van het aantal waarnemingen. Dit is samengevat in Tabel 3.10.

Tabel 3.10. Generieke conversiefactoren ( $AN = f \cdot AR$ ) per metaal uit het MHT en uit deze studie. De onderstreepte waarden in de laatste kolom geven aan dat er een significant verschil bestaat bij een alpha van 0,05.

| Element         | Voorstel MHT | Deze studie | p-waarde<br>( $\alpha = 0,05$ ) |
|-----------------|--------------|-------------|---------------------------------|
| Antimoon        | 0,12         | <b>0,08</b> | <u>0,001</u>                    |
| Arseen          | 0,26         | <b>0,26</b> | 0,927                           |
| Barium          | 0,44         | <b>0,49</b> | <u>0,046</u>                    |
| Cadmium         | 0,78         | <b>0,81</b> | 0,614                           |
| Chroom          | 0,10         | <b>0,08</b> | <u>0,004</u>                    |
| Kobalt          | 0,26         | <b>0,27</b> | 0,450                           |
| Koper           | 0,49         | <b>0,53</b> | 0,254                           |
| Lood            | 0,58         | <b>0,66</b> | <u>0,006</u>                    |
| Molybdeen       | 0,05         | <b>0,05</b> | 0,639                           |
| Nikkel          | 0,23         | <b>0,21</b> | 0,103                           |
| Tin             | 0,03         | <b>0,02</b> | <u>0,044</u>                    |
| Vanadium        | 0,31         | <b>0,66</b> | 0,183                           |
| Zink            | 0,48         | <b>0,47</b> | 0,645                           |
| Gehele database |              |             | 0,227<br>(niet sign.)           |

### 3.14.2 Conversiefactoren voor onderscheidende categorieën

Naast de vergelijking tussen het MHT en de ratio's van deze studie is er gekeken of er afwijkende ratio's zijn voor bepaalde groepen gronden ten opzichte van de bij "ALL" gevonden ratio's (zie bijlage B.1.). De reden van deze exercitie is uiteraard om de betrouwbaarheid van de factoren te vergroten. Expliciet nadeel is dat er geen generieke dataset van conversiefactoren is voor alle gronden, wat nadelig kan zijn voor de algemene eenduidigheid.

Er is in deze exercitie gericht gekeken naar pH, organisch stof gehalte en het lutumgehalte (deeltjes  $< 2\mu\text{m}$ ). Uit de resultaten bleek dat de categorisering op lutumklassen onderscheidende resultaten opleverde. De volgende lutumklassen zijn onderzocht op onderscheidende ratio's:  $< 10\%$ ,  $> 10\%$ ,  $10\text{-}20\%$ ,  $< 20\%$  en  $> 20\%$ . De Welch t-test is gebruikt om de lutumklassen te onderzoeken op onderscheid. De Welch t-test is robuust voor ongelijke aantallen waarnemingen en ongelijke varianties. Differentiatie in lutumklassen zorgt voor klassen met een ongelijk aantal waarnemingen.

De uitkomsten laten zien dat vooral lutumklassen  $< 20\%$  en  $> 20\%$  een onderscheid laten zien. Lutumklasse  $< 20\%$  komt goed overeen met de ratio's gevonden bij de gehele database. Zowel de individuele metalen als het totaal wijkt niet significant af bij een significantie niveau van 0,05. Lutumklasse  $> 20\%$  wijkt significant af voor zes van de dertien metalen bij een significantie niveau van 0,05. De ratio's zijn ook bij een totaalvergelijking afwijkend bij  $\alpha = 0,05$ .

Tabel 3.11. Gecategoriseerde conversiefactoren ( $AN = f \cdot AR$ ) per metaal deze studie voor onderscheidende categorieën van lutumgehalten (gronden minder en meer dan 20% lutum).

| Element   | Lutum < 20% | Lutum > 20% |
|-----------|-------------|-------------|
| Antimoon  | 0,09        | 0,04        |
| Arseen    | 0,30        | 0,16        |
| Barium    | 0,45        | 0,57        |
| Cadmium   | 0,83        | 0,72        |
| Chroom    | 0,09        | 0,07        |
| Kobalt    | 0,28        | 0,23        |
| Koper     | 0,54        | 0,46        |
| Lood      | 0,72        | 0,52        |
| Molybdeen | 0,05        | 0,02        |
| Nikkel    | 0,22        | 0,17        |
| Tin       | 0,02        | 0,01        |
| Vanadium  | 0,83        | 0,14        |
| Zink      | 0,53        | 0,31        |

De mechanistische verklaring voor een afwijkende (veelal lagere) conversiefactor bij hogere lutumgehalten is gelegen in de bindingseigenschappen van een grond voor zware metalen. Bij hogere lutumgehalten is het aandeel dat makkelijk extraheerbaar is nu eenmaal lager, vanwege enerzijds een hogere sorptiecapaciteit (kwantiteit) en een hogere bindingssterkte anderzijds. Voor een aantal metalen kan dat verschil aanzienlijk zijn (o.a. vanadium) hetgeen samenhangt met de metaal-specifieke chemische speciatie in grond.

Tabel 3.10 en 3.11 geven feitelijk twee opties die mogelijk zijn voor de omrekening in een overgangsregeling. De consequenties van deze opties worden besproken in het hoofdstuk Aanbevelingen.



## 4 Conclusies en aanbevelingen

Met het voorstel Milieuhygiënisch Toetsingskader (MHT) van juni 2015 verschuift de focus van de beoordelingssystematiek van de samenstelling van de grond naar de invloed op het waterlichaam waarin de grond wordt toegepast. Er wordt meer rekening gehouden met beschikbaarheid van verontreinigingen onder de (lokale) omstandigheden van toepassing. Het voorstel MHT geeft daarom ruimte voor op maat gemaakte toepassingsmogelijkheden bij grootschalige bodemtoepassingen in oppervlaktewater.

Bij de vergelijking van de systematieken Besluit Bodemkwaliteit (Bbk) en MHT zijn alle mogelijkheden onderzocht die bij de toetsing een rol kunnen spelen. Zo kan er rekening worden gehouden met een achtergrondwaarde, al dan niet in combinatie met de toetsing aan de jaargemiddelde concentratie (JG-MKN) of een maximaal toegestane concentratie (MAC). Zowel het verdisconteren van een achtergrondwaarde als de keuze van het beschermdoel (MAC i.p.v. JG-MKN) verlaagt het aantal overschrijdingen. De keuzes die hierin beleidsmatig worden gemaakt bepalen voor een belangrijk deel de uitkomsten van de consequentie-analyse.

Als het Bbk kwaliteitsklasse Wonen wordt vergeleken met de generieke samenstellingswaarden uit het MHT, dan valt op dat de systematieken ongeveer even streng zijn. De generieke samenstellingswaarden uit het MHT (voor standaardbodem) zijn gemiddeld 3% soepeler tot 6% strenger dan het Bbk, afhankelijk van de beschouwde verontreiniging. Voor antimoon, chroom, tin en vanadium verschillen de uitkomsten van de beoordelings-systematieken vrijwel niet. De percentages fout-positief zijn beperkt van 0 tot 7% voor de meeste elementen. Alleen arseen en cadmium laten hogere percentages zien (10 resp. 15%). Voor cadmium is het percentage terecht-negatief echter van een zelfde orde (18%).

Vergeleken met het Bbk is de MHT-beoordeling via de oppervlaktewaternorm JG-MKN voor de helft van de elementen strenger (bij een "standaard pH" van 7) voor arseen, cadmium, kobalt, koper, lood, nikkel en zink. Dit beeld wordt echter sterk genuanceerd vanwege drie redenen:

- Als voor stoffen een achtergrondcorrectie is toegestaan dan daalt in die gevallen het aantal fout-positieven c.q. overschrijdingen;
- Het percentage normoverschrijdingen voor cadmium, chroom, kobalt, koper, lood, molybdeen, nikkel en zink hangt samen met de zuurgraad van het ontvangende oppervlaktewater. Zo zal er bij een toenemende pH het percentage normoverschrijdingen van de genoemde metalen aanzienlijk afnemen, met uitzondering van molybdeen. Voor veel (rijks)wateren is de pH veelal hoger dan 7, met name in zomerperioden. Bij toenemende pH is de MHT-systematiek voor JG-MKN voor een aantal elementen soepeler dan het Bbk. Bijvoorbeeld: voor cadmium (pH>8); kobalt (pH>7,4); lood (pH>7,9); nikkel (pH>7,6); zink (pH>8,2).
- Toetsing aan de JG-MKN staat een tweedelijnsbeoordeling toe. Voor koper, nikkel, lood en zink zijn Biotic Ligand Models (BLMs) beschikbaar, waarbij rekening wordt gehouden met het biobeschikbare deel van de verontreiniging. Hierdoor valt de afgeleide lokatiespecifieke norm in de meeste gevallen hoger (=minder streng) uit. Dit heeft te maken met het feit dat in de afleiding van de generieke norm er uitgegaan wordt van een

worst-case scenario. Bijvoorbeeld: het percentage overschrijdingen van koper neemt af van 72% naar 3%, bij een BLM-berekening met een scenario van pH 7 en 1 mg/L DOC.

Conversiefactoren voor de omrekening van *Aqua regia* (AR) naar *Aqua Nitrosa* (AN) blijken goed reproduceerbaar bij opschaling van het aantal waarnemingen. Een uitbreiding van de dataset leverde voor het merendeel van de elementen een conversiefactor op die niet significant verschilde van die uit het MHT. Het effect van differentiatie tussen grondcategorieën op de conversiefactoren is onderzocht, d.w.z. er is gekeken of er onderscheidende bodemkarakteristieken konden worden geïdentificeerd waarbij conversiefactoren gaan uiteenlopen (zand/klei, zuur/alkalisch, organisch arm/rijk, licht/sterk verontreinigd). Voor differentiatie naar lutumgehalte werden deze verschillen statistisch aangetoond. Door een onderscheid te maken in grondpartijen met een lutumgehalte hoger en lager dan 20% worden twee sets factoren afgeleid waarvan de statistische betrouwbaarheid hoger is dan van een generieke set voor alle gronden.

### **Aanbevelingen**

Voor de implementatie van het MHT in de toekomstige Omgevingswet dienen een aantal beleidsmatige keuzes te worden gemaakt. Een aanzet hiervoor wordt gedaan in een stappenplan (Osté et al., 2016). Hieronder worden een aantal aanbevelingen samengevat voortvloeiend uit deze studie en met een relatie naar het genoemde werkplan.

#### Aanbeveling 1. Grondwater

Met de systematiek uit het MHT kan gekeken worden hoe de gebruikte database van grondpartijen zou uitpakken voor het compartiment grondwater. Hoewel een vergelijking met het Bbk niet mogelijk is, geeft dit wel een inzicht in de algemene toepassingsmogelijkheden onder het MHT. Aangezien de database en systematiek operationeel zijn is dit een geringe inspanning.

#### Aanbeveling 2. Bagger

De database die is gebruikt in deze studie bevat alleen gegevens van partijen droge grond. De consequentieanalyse voor toepassing van bagger kan hiermee niet worden uitgevoerd. Vanwege de toets op het grondwater en bescherming van (drink)wateronttrekkingsbronnen is het noodzakelijk om meer ervaring op te doen met de toepassing van bagger. Met de huidige operationele technieken is het goed mogelijk om anaerobe metingen uit te voeren die leiden tot betrouwbare partitierelaties. Deze ontbreken momenteel voor een aantal stoffen (antimoon, tin, kwik). Deze metingen moeten vergezeld gaan van extracties met *Aqua nitrosa*, waarbij de rol van sulfiden tijdens de extractie moet worden onderzocht.

Voor dit meetprogramma is de kwaliteit van metingen belangrijker dan de hoeveelheid metingen; voor een representatief aantal monsters (conform de criteria uit het onderzoeksprogramma diepe plassen) zouden partitierelaties kunnen worden afgeleid die zijn gebaseerd op AN extractie.

#### Aanbeveling 3. Kwik

Kwik is een prioritair gevaarlijke stof. Er zijn tot op heden geen transferfuncties beschikbaar voor kwik (Hg), omdat het om analytisch-technische redenen tot nu toe buiten beschouwing is gelaten. Kwik speelt vooral een rol in het anaerobe compartiment, waar methylering de toxiciteit en verspreiding bepaalt. De aanwezigheid van seleen (Se) vermindert de toxiciteit, waardoor dit element een rol kan spelen in het afleiden van generieke samenstellingswaarden. De analyse van kwik en seleen, ten behoeve van de afleiding van bruikbare partitierelaties, kan worden opgenomen in aanbeveling 2.

#### Aanbeveling 4. Nieuwe normen klasse A

Na uitvoering van aanbeveling 1 dienen nieuwe normwaarden te worden afgeleid voor de huidige klasse A voor bagger op basis van *Aqua nitrosa*.

#### Aanbeveling 5. Rapportagegrenzen voor *Aqua nitrosa*

Als wordt overgegaan op de routinematige analyse via *Aqua nitrosa* dienen formele rapportagegrenzen afgeleid te worden.

#### Aanbeveling 6. Achtergrondwaarden

De achtergrondwaarde (AW) van een element wordt onder meer gebruikt bij het vaststellen van de generieke samenstellingswaarden, omdat beleidsmatig geen normen onder de AW geaccepteerd worden. De AW is echter gebaseerd op een *Aqua regia* (AR)-extractie en in het MHT omgerekend naar een AN-waarde. Er dienen nieuwe achtergrondconcentraties te worden afgeleid op basis van *Aqua nitrosa*.

#### Aanbeveling 7. Standaardwaarden en tweedelijs-beoordeling

De interactie tussen waterbodem en oppervlaktewater is afhankelijk van de liggende milieucondities, waaronder pH, DOC en redoxcondities. Zowel de transferfuncties die zijn gebruikt bij het afleiden van generieke samenstellingswaarden als de BLM's vragen keuzes in de (geprognostiseerde) milieucondities. Dit rapport laat zien dat er een aanzienlijk verschil in normoverschrijdingen kan optreden bij pH7 en 8,5, maar ook dat DOC veel invloed heeft op het aantal overschrijdingen berekend met een BLM. Het vaststellen van acceptabele waarden voor met name pH en DOC vraagt om nadere invulling.

#### Aanbeveling 8. Praktijktoets

Om ervaringen op te doen met de uitvoeringspraktijk van het MHT wordt een praktijktoets aanbevolen. Hierbij wordt de systematiek uitgeprobeerd op lopende projecten of initiatieven. Het doel is om de gangbare werkwijze aan te scherpen, te verduidelijken of eventueel te wijzigen.



## 5 Referenties

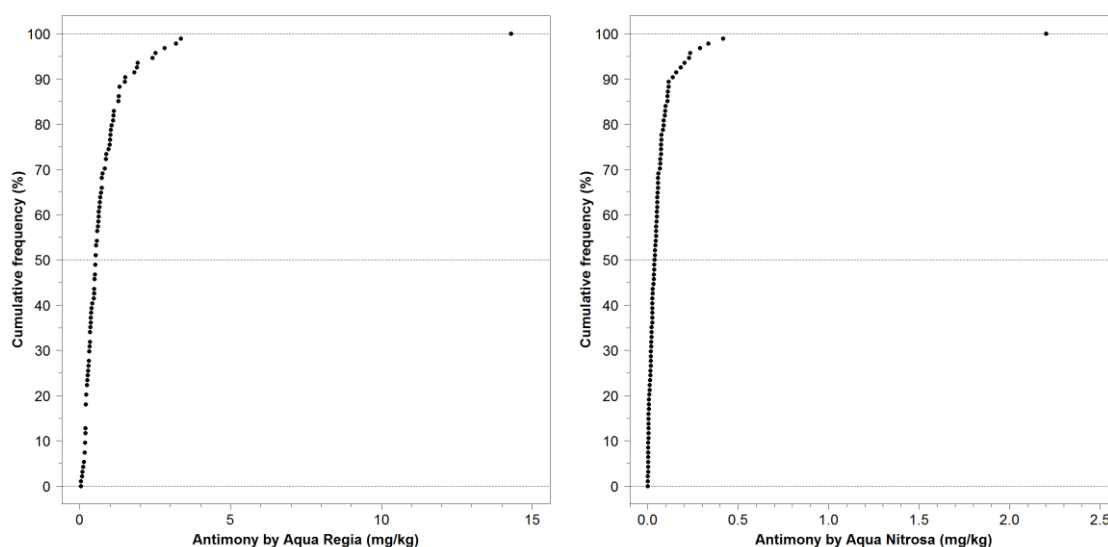
- Besluit Bodemkwaliteit (2007). Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 22 november 2007.
- Bkmw (2015) Besluit kwaliteitseisen en monitoring water, 20092015
- CBS, PBL, Wageningen UR (2014). Europese Kaderrichtlijn Water (indicator 1412, versie 04, 4 juni 2014). [www.compendiumvoordeleefomgeving.nl](http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl). CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
- CSO (2011). Bodemkwaliteitskaart Westenholte en Scheller en Oldeneler Buitenwaarden. Rapport 09K100, Deventer.
- Circulaire bodemsanering (2012). Staatscourant nr. 6563, 3 april 2012.
- De Groot, A.C., Peijnenburg, W.J.G.M., van den Hoop, M.A.G.T., Ritsema, R. & Van Veen, R.P.M. 1998. *Heavy Metals in Dutch Field Soils: an Experimental and Theoretical Study on Equilibrium Partitioning*. RIVM report 607220001. Institute for Public Health and the Environment (RIVM), Bilthoven
- De Lange, W.J., N. Hartog, J.P.M. Vink, B. van der Griff, R. Heerdink, J. C. Hoogewoud, R. Nieuwenhuizen, T.A.J.J. Vergroesen, J. Griffioen (2009). Van Put naar Plas: Bergen van grond onder water. Systematisch onderzoek zandwininput Schellerwaard. Deltares rapport 0906-0216, Utrecht.
- Europees Parlement (2000). Kaderrichtlijn Water. Richtlijn 2000/60/EG van het Europese Parlement en de Raad tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid. Brussel.
- Firth, D. (1993). Bias reduction of maximum likelihood estimates. *Biometrika* 80 (1):27-38.
- Groenenberg, J.E., J.J. Dijkstra, L.T.C. Bonten, W. de Vries, R.N.J. Comans (2012). Evaluation of the performance and limitations of empirical partition relations and process based multisurface models to predict trace element solubility in soils. *Environ. Poll.* 166:98-107
- Kamerling, G., N. de Rooij, J.P.M. Vink (2006). Risicobeoordeling zware metalen en Kaderrichtlijn Water. *H<sub>2</sub>O* 13:38-39.
- Lead EQS Dossier (2011). Lead and its compounds. Sub-Group on Review of the Priority Substances List under Working Group E of the Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive.
- Schmidt, C., J.P.M. Vink, R. Comans, L. Lamers, J. Postma, J. Lijzen, L. Osté, E. van de Grinten, S. Verbeek (2015). Milieuhygiënisch toetsingskader voor grootschalige bodemtoepassingen in diepe plassen: Voorstel voor beoordeling van partijen grond en bagger, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 4 juni 2015.

- NW4 (1998). Vierde nota Waterhuishouding. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, december 1998.
- Osté, L., J. Lijzen, E. Brand (2016). Werkzaamheden voor een stapsgewijze implementatie van de 0,43M HNO<sub>3</sub> extractie in het (water)bodembeleid. Deltares rapport 1230099.010, Utrecht.
- R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- Regeling Bodemkwaliteit (2007). Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 13 december 2007.
- Rmkw (2015) Regeling monitoring kaderrichtlijn water. Staatscourant nr. 38398, 18 november 2015.
- Roelofsen, F., J.P.M. Vink (2015). Verantwoord samenvoegen en splitsen van grondpartijen - Kansen op overschrijdingen van kwaliteitsnormen bij variabele partijgrootte. Deltares rapport 1210870, Utrecht.
- Roex, E., J.P.M. Vink, S. Jansen, J. de Weert (2009). Omgaan met overschrijdingen van microverontreinigingen in het oppervlaktewater. Deltares rapport 1200235-003-ZWS-0001, Utrecht.
- Römkens, P.F.A.M., Groenenberg, J.E., Bonten, L.T.C., de Vries, W. & Bril, J. (2004). Derivation of Partition Relationships to Calculate Cd, Cu, Ni, Pb and Zn Solubility and Activity in Soil Solutions. Alterra, Alterra-report 305, Wageningen
- Vink, J.P.M. (2012). Relatie poriewaterkwaliteit en samenstelling van anaerobe bagger; Onderzoeksprogramma grootschalige bodemtoepassingen in diepe plassen. Deltares rapport 1204085-003, Utrecht.
- Vink, J.P.M. (2014). Toepasbaarheid van coagulatieslib in oppervlaktewater; Bepaling van fosfaataflevering onder aerobe en anaerobe condities. Deltares rapport, 1209891-000-BGS-0004, Utrecht.
- Vink, J.P.M., R. Comans, J. Dijkstra, L. Lamers (2016a in prep). Soils in lakes I: Surface water quality-impact of metals and nutrients by large-scale storage of soils in sandpits and lakes.
- Vink, J.P.M., A. van Zomeren, R. Comans (2016b in prep). Soils in Lakes II: Impact of Reduction Kinetics on Metal and Nutrient release to groundwater during Large-scale Sediment Storage.
- Vink, J.P.M., W. J. de Lange, 2015. Milieueffecten van grootschalige grondberging. Chemisch-hydrologische modelstudie naar de verondieping van een zandwinplas in de Scheller- en Oldeneler buitenwaarden langs de rivier IJssel. Deltares rapport 1210937, Utrecht.
- Vink, J.P.M., J. de Weert (2009). Verdelingscoëfficiënten van zware metalen in aquatische systemen. Deltares rapport 0911-0252, Utrecht.
- Vink, J.P.M., A. Wijdeveld (2012). Stand van zaken rond het verspreiden van baggerspecie. *H2O* 13:26-28.

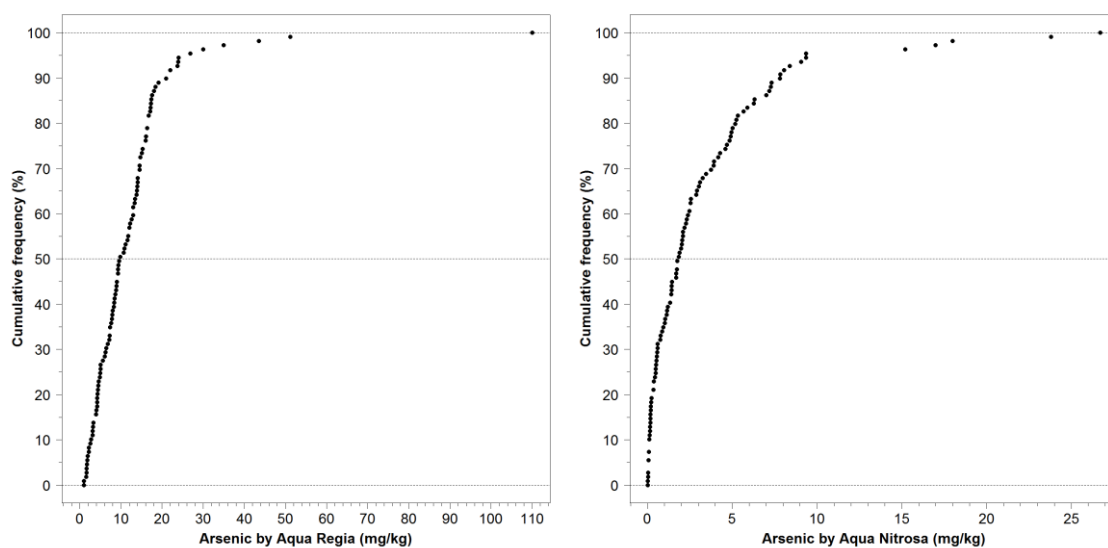
## Bijlagen

### A Cumulatieve frequentieverdelingen database grondpartijen

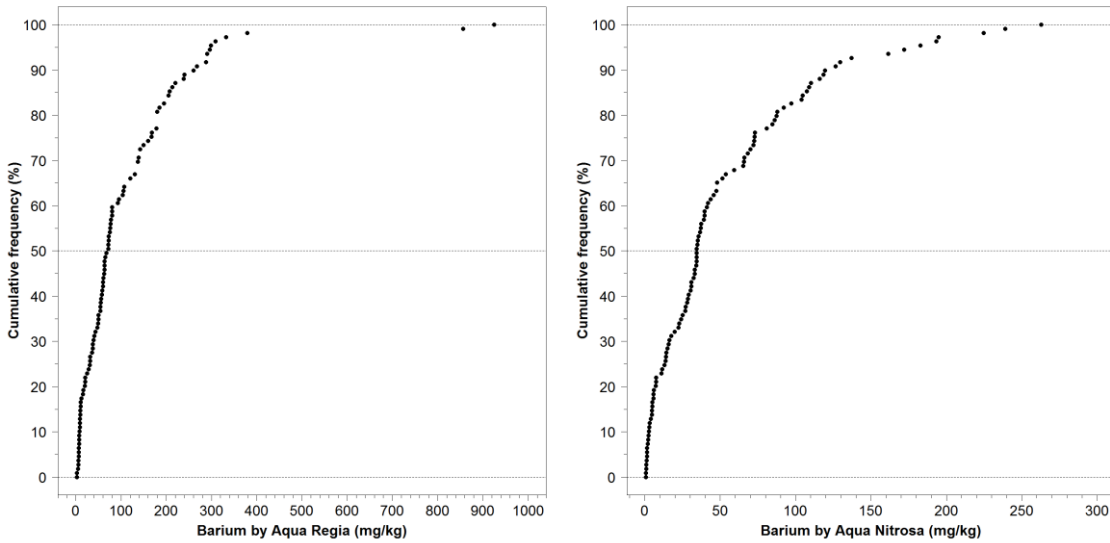
Hieronder zijn per element de cumulatieve frequentieverdelingen (CF) weergegeven van de gebruikte dataset van grondpartijen. Zie voor toelichting en aanvullende CFs voor grondkarakteristieken paragraaf 2.3.



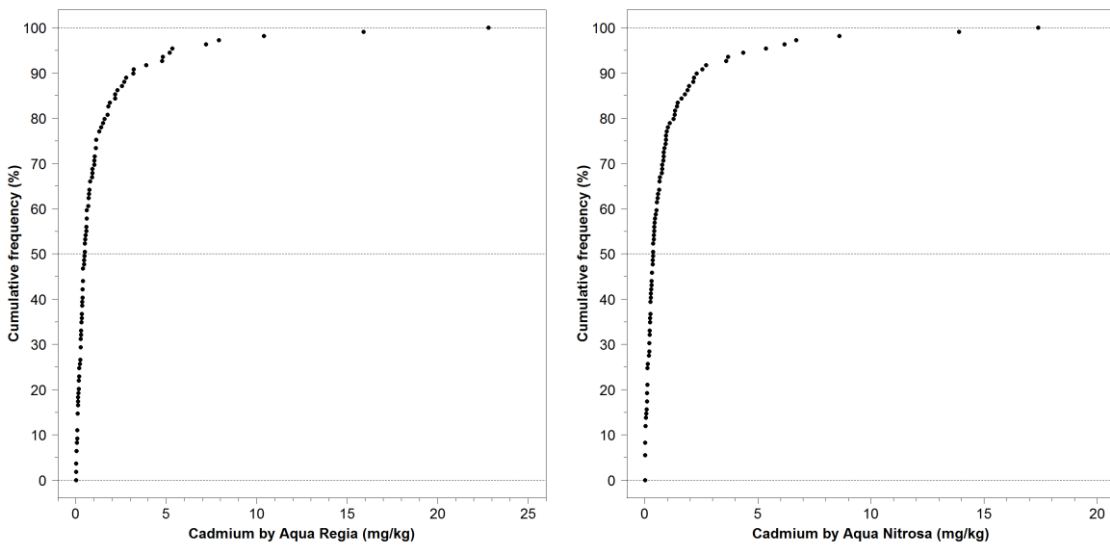
Figuur A.1. Cumulatieve frequentieverdelingen van antimoon: aqua regia (links) en aqua nitrosa (rechts).



Figuur A.2. Cumulatieve frequentieverdelingen van arseen: aqua regia (links) en aqua nitrosa (rechts). N = 109.

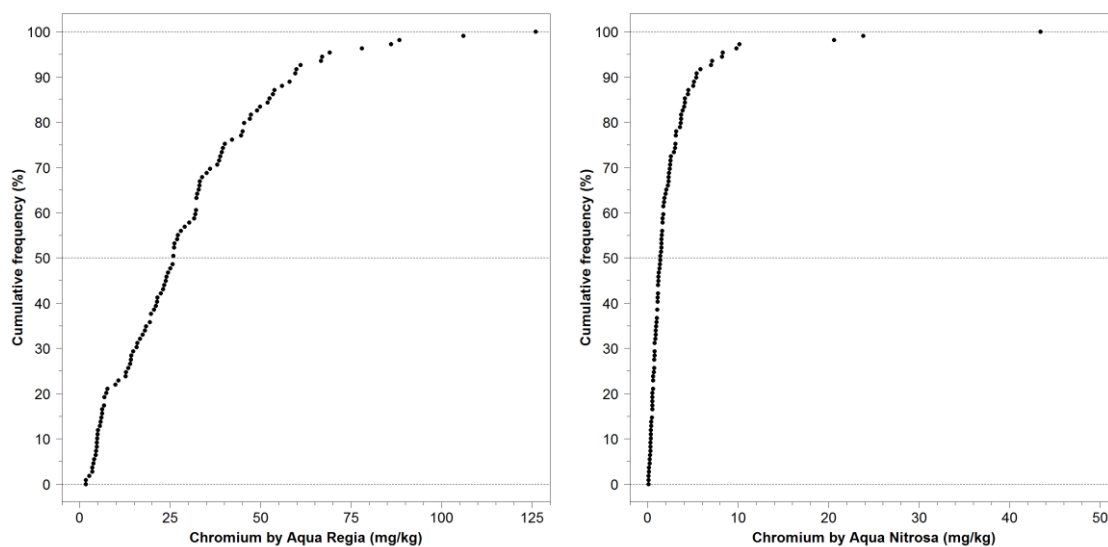


Figuur A.3. Cumulatieve frequentieverdelingen van barium: aqua regia (links) en aqua nitrosa (rechts). N = 109.

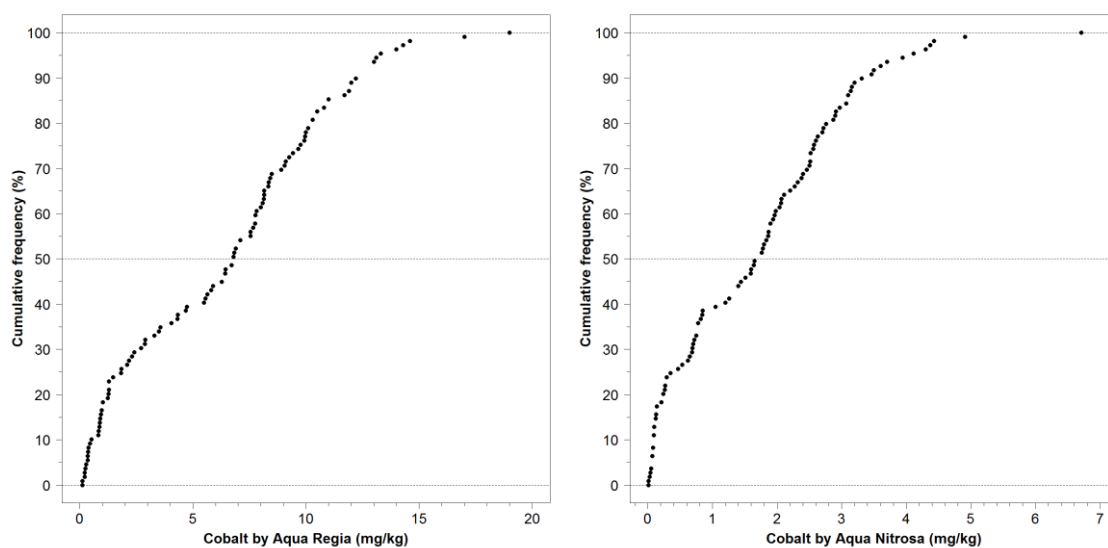


Figuur A.4. Cumulatieve frequentieverdelingen van cadmium: aqua regia (links) en aqua nitrosa (rechts). N = 109.

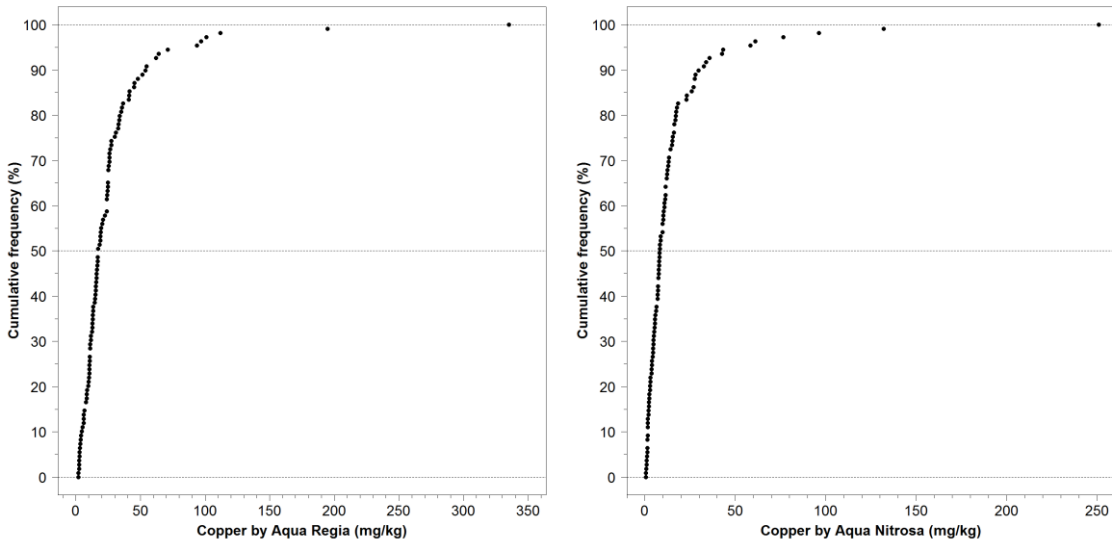




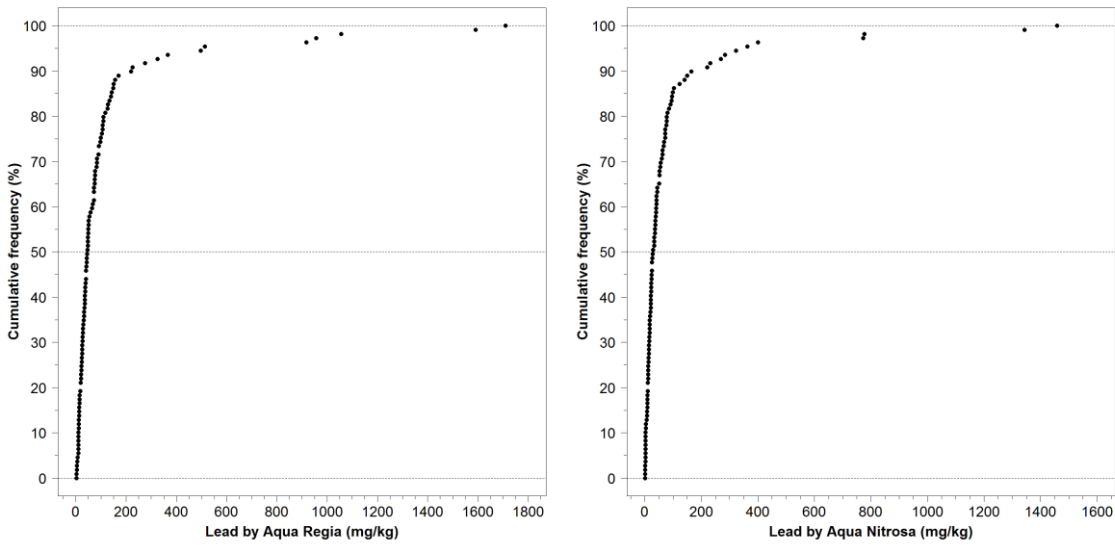
Figuur A.5. Cumulatieve frequentieverdelingen van chroom: aqua regia (links) en aqua nitrosa (rechts).  $N = 109$ .



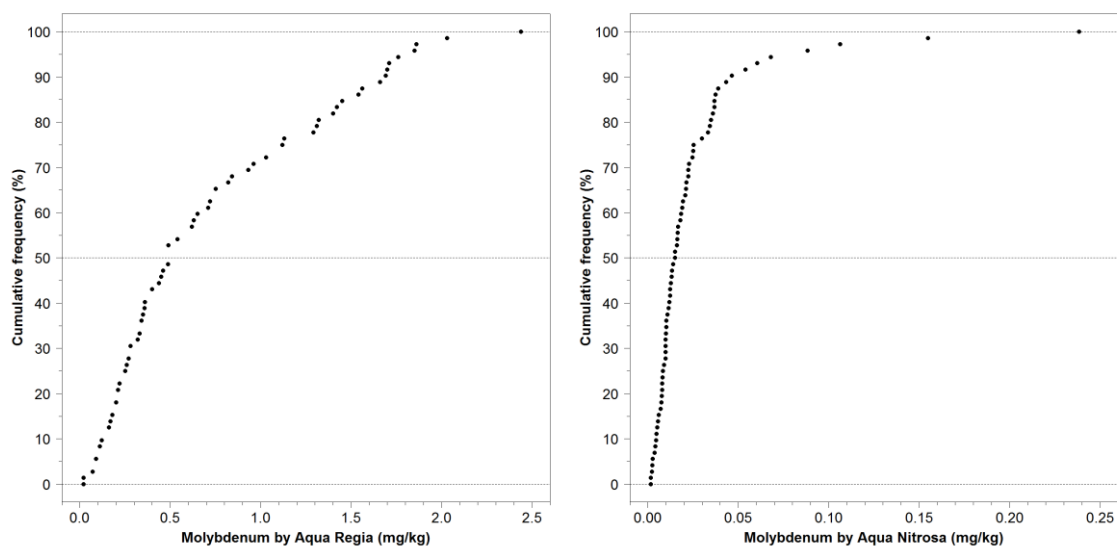
Figuur A.6. Cumulatieve frequentieverdelingen van kobalt: aqua regia (links) en aqua nitrosa (rechts).  $N = 109$ .



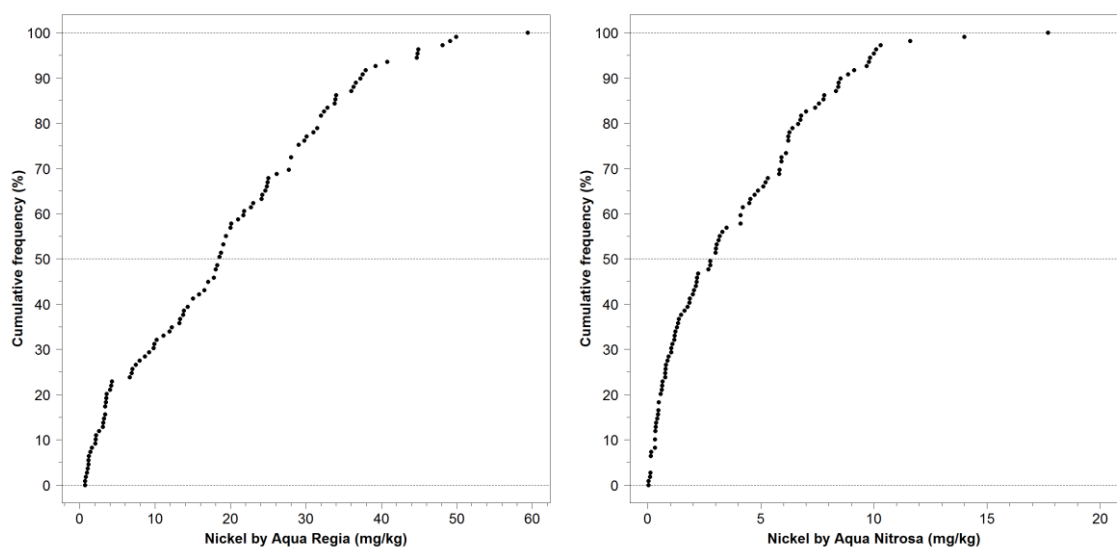
Figuur A.7. Cumulatieve frequentieverdelingen van koper: aqua regia (links) en aqua nitrosa (rechts). N = 109.



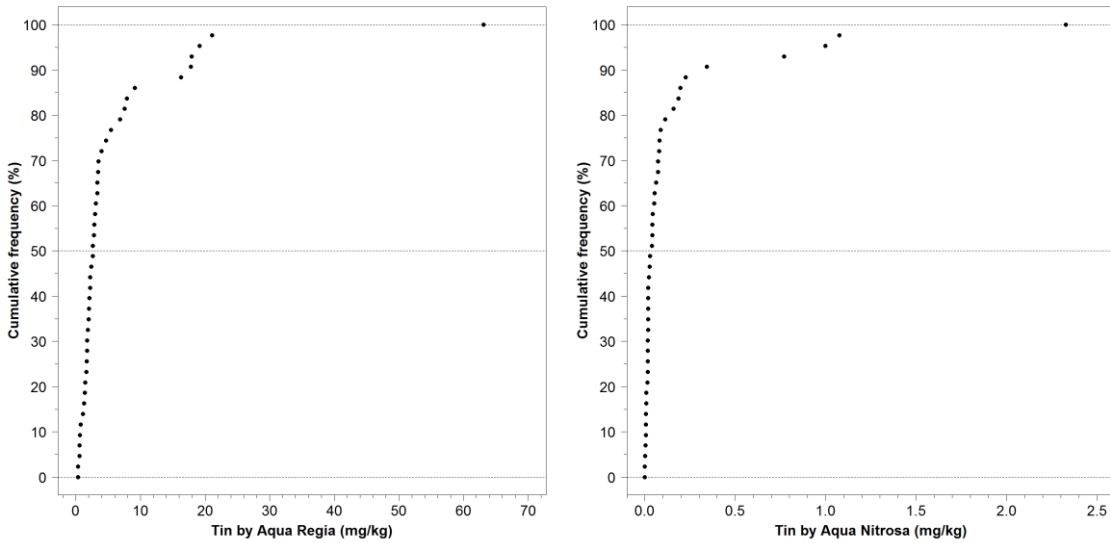
Figuur A.8. Cumulatieve frequentieverdelingen van lood: aqua regia (links) en aqua nitrosa (rechts). N = 109.



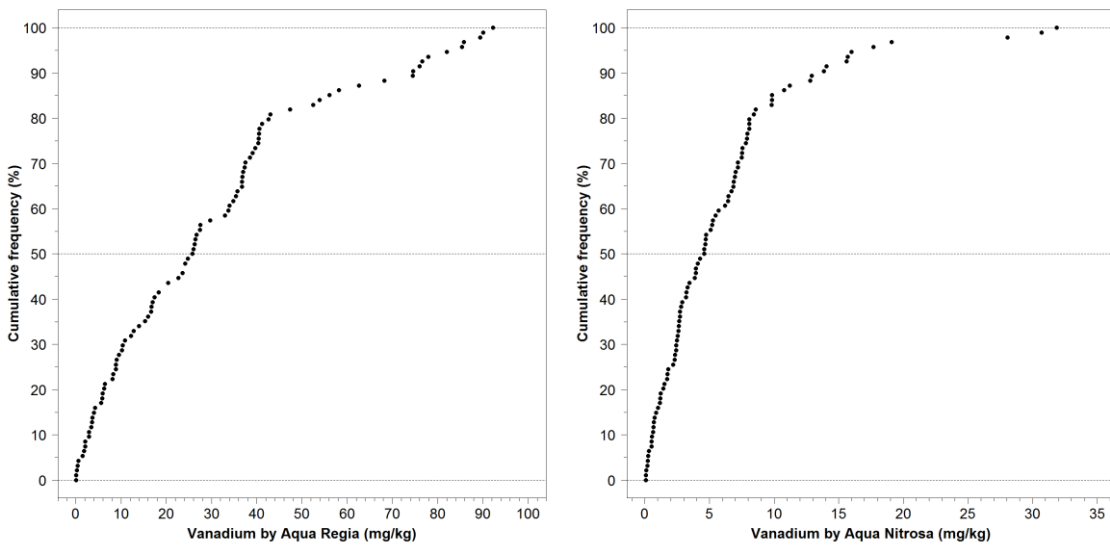
Figuur A.9. Cumulatieve frequentieverdelingen van molybdeen: aqua regia (links) en aqua nitrosa (rechts).  $N = 72$ .



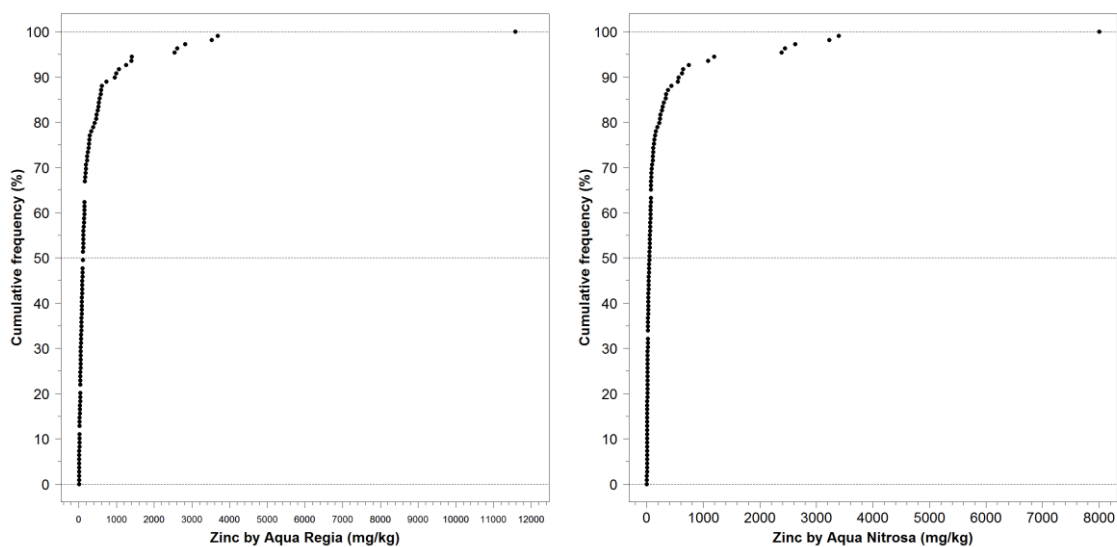
Figuur A.10. Cumulatieve frequentieverdelingen van nikkel: aqua regia (links) en aqua nitrosa (rechts).  $N = 109$ .



Figuur A.11. Cumulatieve frequentieverdelingen van tin: aqua regia (links) en aqua nitrosa (rechts). N = 43.



Figuur A.12. Cumulatieve frequentieverdelingen van vanadium: aqua regia (links) en aqua nitrosa (rechts). N = 94.



Figuur A.13. Cumulatieve frequentieverdelingen van zink: aqua regia (links) en aqua nitrosa (rechts).  $N = 109$ .



## B Aqua nitrosa / Aqua regia ratio's

Voor deze studie zijn de ratio's tussen metaalgehalten via *aqua nitrosa* en *aqua regia* vergeleken met de ratio's zoals vermeld in het MHT. Hierbij zijn statistische significantietesten (T-testen; Student en Welch) uitgevoerd.

### Gehele database

De berekende ratio's van de database zijn vergeleken met de ratio's uit het MHT. De vergelijking is gedaan voor zowel de individuele metalen als de database als geheel. Voor de individuele metalen is een two sample t-test gebruikt, waarbij de individuele ratio's worden vergeleken met de individuele ratio's uit het MHT. De berekende p-waarden worden vergeleken met verschillende significantie niveaus ( $\alpha$ ). Wanneer de berekende p-waarde hoger is dan het significantie niveau, dan is er statistisch geen significant verschil tussen de ratio uit het MHT en de berekende ratio uit deze studie.

De totaalvergelijking, waarbij de ratio's van alle metalen uit het MHT worden vergeleken met de ratio's van alle metalen uit deze studie, worden gedaan door middel van een Welch-test met ongelijke varianties en populatiegrootte. De berekende ratio's en de uitkomsten van de t-testen staan in Tabel B.1.

Tabel B.1. Statistische analyse van conversiefactoren uit het MHT en deze studie bij verschillende betrouwbaarheden ( $\alpha$ ). Rode vakken geven een statistisch verschil aan.

|                            | MHT<br>Ratio  | ALL<br>n = 109 |         |      |   |                 |                 |                 |
|----------------------------|---|----------------|---------|------|---|-----------------|-----------------|-----------------|
|                            |   | Ratio          | Ratio-% | SD   | SD-%  | p-waarde        |                 |                 |
|                            |   |                |         |      |   | $\alpha = 0,05$ | $\alpha = 0,10$ | $\alpha = 0,20$ |
| Antimoon                   | 0,12  | 0,08           | 66      | 0,06 | 75  | 0,0000          | 0,0000          | 0,0000          |
| Arseen                     | 0,26  | 0,26           | 99      | 0,2  | 79  | 0,9273          | 0,9273          | 0,9273          |
| Barium                     | 0,44  | 0,49           | 112     | 0,27 | 54  | 0,0462          | 0,0462          | 0,0462          |
| Cadmium                    | 0,78  | 0,81           | 103     | 0,53 | 66  | 0,6146          | 0,6146          | 0,6146          |
| Chroom                     | 0,10  | 0,08           | 82      | 0,06 | 76  | 0,0041          | 0,0041          | 0,0041          |
| Kobalt                     | 0,26  | 0,27           | 104     | 0,13 | 47  | 0,4502          | 0,4502          | 0,4502          |
| Koper                      | 0,49  | 0,53           | 107     | 0,32 | 61  | 0,2545          | 0,2545          | 0,2545          |
| Lood                       | 0,58  | 0,66           | 114     | 0,32 | 48  | 0,0064          | 0,0064          | 0,0064          |
| Molybdeen                  | 0,05  | 0,05           | 94      | 0,05 | 115   | 0,6399          | 0,6399          | 0,6399          |
| Nikkel                     | 0,23  | 0,21           | 91      | 0,14 | 66  | 0,1033          | 0,1033          | 0,1033          |
| Tin                        | 0,03  | 0,02           | 73      | 0,03 | 118   | 0,0442          | 0,0442          | 0,0442          |
| Vanadium                   | 0,31  | 0,66           | 213     | 2,53 | 384   | 0,1838          | 0,1838          | 0,1838          |
| Zink                       | 0,48  | 0,47           | 98      | 0,25 | 54  | 0,6458          | 0,6458          | 0,6458          |
|                            |   |                |         |      | p-waarde  |                 |                 |                 |
|                            |   |                |         |      | $\alpha = 0,05$ $\alpha = 0,10$ $\alpha = 0,20$ |                 |                 |                 |
| <b>Totaal vergelijking</b> |   |                |         |      | 0,2268    0,2268    0,2268                      |                 |                 |                 |
| Ratio                      | berekende ALL <i>aqua nitrosa</i> / <i>aqua regia</i> ratio                       |                |         |      |   |                 |                 |                 |
| Ratio-%                    | berekende ALL ratio uitgedrukt in percentage van MHT ratio                        |                |         |      |   |                 |                 |                 |
| SD                         | standaard deviatie van berekende ALL ratio  |                |         |      |   |                 |                 |                 |
| SD-%                       | standaard deviatie van berekende ALL ratio uitgedrukt in percentage van ALL ratio |                |         |      |   |                 |                 |                 |

Van de dertien individuele metalen zijn er vijf afwijkend bij een significantie niveau van 0,05; namelijk antimoon, barium, chroom, lood en tin. Echter, de totaalvergelijking van de gehele database geeft aan dat er geen significant verschil is tussen de ratio's uit het MHT en de gevonden ratio's. Dit geeft aan dat de ratio's uit het MHT redelijk robuust zijn, bij een toename van het aantal waarnemingen.

## Lutumklassen

Naast de vergelijking tussen het MHT en de ratio's van deze studie is er gekeken of er afwijkende ratio's zijn voor bepaalde groepen gronden ten opzichte van de bij ALL gevonden ratio's. De differentiatie van gronden is hierbij gebaseerd op het lutumgehalte. De volgende lutumklassen zijn onderzocht op onderscheidende ratio's: <10%, >10%, 10-20%, <20% en >20%.

De Welch t-test is gebruikt om de lutumklassen te onderzoeken op onderscheid. De Welch t-test is robuust voor ongelijke aantallen waarnemingen en ongelijke varianties. Differentiatie in lutumklassen zorgt voor klassen met een ongelijk aantal waarnemingen.

De uitkomsten staan in Tabellen B.2 tot en met B.6.

Tabel B.2. Statistische analyse van conversiefactoren uit het MHT en deze studie bij verschillende betrouwbaarheden (alpha). Rode vakken geven een statistisch verschil aan.

|                     | MHT<br>Ratio  | ALL<br>Ratio |      | Lutumklasse: < 10 %<br>n = 50 |      |      |                 |                 |                 |
|---------------------|---|--------------|------|-------------------------------|------|------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                     |   |              |      | Ratio-%                       | SD   | SD-% | p-waarde        |                 |                 |
|                     |   |              |      |                               |      |      | $\alpha = 0,05$ | $\alpha = 0,10$ | $\alpha = 0,20$ |
| Antimoon            | 0,12  | 0,08         | 0,10 | 125                           | 0,06 | 81   | 0,0626          | 0,0626          | 0,0626          |
| Arseen              | 0,26  | 0,26         | 0,32 | 122                           | 0,21 | 82   | 0,1071          | 0,1071          | 0,1071          |
| Barium              | 0,44  | 0,49         | 0,46 | 94                            | 0,18 | 37   | 0,3776          | 0,3776          | 0,3776          |
| Cadmium             | 0,78  | 0,81         | 0,79 | 98                            | 0,26 | 33   | 0,8403          | 0,8403          | 0,8403          |
| Chroom              | 0,10  | 0,08         | 0,10 | 125                           | 0,08 | 98   | 0,1734          | 0,1734          | 0,1734          |
| Kobalt              | 0,26  | 0,27         | 0,29 | 107                           | 0,15 | 54   | 0,4247          | 0,4247          | 0,4247          |
| Koper               | 0,49  | 0,53         | 0,60 | 113                           | 0,3  | 56   | 0,1622          | 0,1622          | 0,1622          |
| Lood                | 0,58  | 0,66         | 0,74 | 113                           | 0,19 | 29   | 0,0536          | 0,0536          | 0,0536          |
| Molybdeen           | 0,05  | 0,05         | 0,06 | 128                           | 0,07 | 131  | 0,1640          | 0,1640          | 0,1640          |
| Nikkel              | 0,23  | 0,21         | 0,24 | 114                           | 0,15 | 73   | 0,2074          | 0,2074          | 0,2074          |
| Tin                 | 0,03  | 0,02         | 0,03 | 129                           | 0,03 | 143  | 0,5567          | 0,5567          | 0,5567          |
| Vanadium            | 0,31  | 0,66         | 1,07 | 162                           | 3,43 | 520  | 0,4624          | 0,4624          | 0,4624          |
| Zink                | 0,48  | 0,47         | 0,59 | 126                           | 0,26 | 55   | 0,0065          | 0,0065          | 0,0065          |
|                     |   |              |      |                               |      |      | p-waarde        |                 |                 |
|                     |   |              |      |                               |      |      | $\alpha = 0,05$ | $\alpha = 0,10$ | $\alpha = 0,20$ |
| Totaal vergelijking |   |              |      |                               |      |      | 0,0720          | 0,0720          | 0,0720          |
| Ratio               | berekende lutumklasse <i>aqua nitrosa</i> / <i>aqua regia</i> ratio                               |              |      |                               |      |      |                 |                 |                 |
| Ratio-%             | berekende lutumklasse ratio uitgedrukt in percentage van ALL ratio                                |              |      |                               |      |      |                 |                 |                 |
| SD                  | standaard deviatie van berekende lutumklasse ratio  |              |      |                               |      |      |                 |                 |                 |
| SD-%                | standaard deviatie van berekende lutumklasse ratio uitgedrukt in percentage van lutumklasse ratio |              |      |                               |      |      |                 |                 |                 |



Tabel B.3. Statistische analyse van conversiefactoren uit het MHT en deze studie bij verschillende betrouwbaarheden ( $\alpha$ ). Rode vakken geven een statistisch verschil aan.

|                            | MHT<br>Ratio  | ALL   |       | Lutumklasse: > 10% |      |      |                 |                 |                 |  |
|----------------------------|---|-------|-------|--------------------|------|------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
|                            |   | Ratio | Ratio | Ratio-%            | SD   | SD-% | n = 59          |                 |                 |  |
|                            |   |       |       |                    |      |      | p-waarde        |                 |                 |  |
|                            |   |       |       |                    |      |      | $\alpha = 0,05$ | $\alpha = 0,10$ | $\alpha = 0,20$ |  |
| Antimoon                   | 0,12  | 0,08  | 0,06  | 69                 | 0,04 | 54   | 0,0100          | 0,0100          | 0,0100          |  |
| Arseen                     | 0,26  | 0,26  | 0,21  | 80                 | 0,18 | 70   | 0,1083          | 0,1083          | 0,1083          |  |
| Barium                     | 0,44  | 0,49  | 0,52  | 106                | 0,32 | 65   | 0,5780          | 0,5780          | 0,5780          |  |
| Cadmium                    | 0,78  | 0,81  | 0,82  | 101                | 0,68 | 84   | 0,9159          | 0,9159          | 0,9159          |  |
| Chroom                     | 0,10  | 0,08  | 0,07  | 85                 | 0,04 | 52   | 0,0709          | 0,0709          | 0,0709          |  |
| Kobalt                     | 0,26  | 0,27  | 0,25  | 94                 | 0,11 | 40   | 0,3828          | 0,3828          | 0,3828          |  |
| Koper                      | 0,49  | 0,53  | 0,46  | 87                 | 0,33 | 62   | 0,243           | 0,243           | 0,243           |  |
| Lood                       | 0,58  | 0,66  | 0,60  | 91                 | 0,38 | 58   | 0,2551          | 0,2551          | 0,2551          |  |
| Molybdeen                  | 0,05  | 0,05  | 0,02  | 49                 | 0,02 | 33   | 0,0019          | 0,0019          | 0,0019          |  |
| Nikkel                     | 0,23  | 0,21  | 0,18  | 86                 | 0,12 | 57   | 0,1829          | 0,1829          | 0,1829          |  |
| Tin                        | 0,03  | 0,02  | 0,01  | 72                 | 0,02 | 90   | 0,2342          | 0,2342          | 0,2342          |  |
| Vanadium                   | 0,31  | 0,66  | 0,20  | 30                 | 0,24 | 36   | 0,0827          | 0,0827          | 0,0827          |  |
| Zink                       | 0,48  | 0,47  | 0,37  | 78                 | 0,2  | 42   | 0,0039          | 0,0039          | 0,0039          |  |
|                            |   |       |       |                    |      |      | p-waarde        |                 |                 |  |
|                            |   |       |       |                    |      |      | $\alpha = 0,05$ | $\alpha = 0,10$ | $\alpha = 0,20$ |  |
| <b>Totaal vergelijking</b> |   |       |       |                    |      |      | 0,0000          | 0,0000          | 0,0000          |  |
| Ratio                      | berekende lutumklasse <i>aqua nitrosa</i> / <i>aqua regia</i> ratio                               |       |       |                    |      |      |                 |                 |                 |  |
| Ratio-%                    | berekende lutumklasse ratio uitgedrukt in percentage van ALL ratio                                |       |       |                    |      |      |                 |                 |                 |  |
| SD                         | standaard deviatie van berekende lutumklasse ratio  |       |       |                    |      |      |                 |                 |                 |  |
| SD-%                       | standaard deviatie van berekende lutumklasse ratio uitgedrukt in percentage van lutumklasse ratio |       |       |                    |      |      |                 |                 |                 |  |

Tabel B.4. Statistische analyse van conversiefactoren uit het MHT en deze studie bij verschillende betrouwbaarheden (alpha). Rode vakken geven een statistisch verschil aan.

|                            | MHT<br>Ratio  | ALL   |       | Lutumklasse: 10% - 20% |      |      |                 |                 |                 |  |
|----------------------------|---|-------|-------|------------------------|------|------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
|                            |   | Ratio | Ratio | Ratio-%                | SD   | SD-% | n = 24          |                 |                 |  |
|                            |   |       |       |                        |      |      | p-waarde        |                 |                 |  |
|                            |   |       |       |                        |      |      | $\alpha = 0,05$ | $\alpha = 0,10$ | $\alpha = 0,20$ |  |
| Antimoon                   | 0,12  | 0,08  | 0,06  | 78                     | 0,05 | 58   | 0,1823          | 0,1823          | 0,1823          |  |
| Arseen                     | 0,26  | 0,26  | 0,26  | 101                    | 0,24 | 92   | 0,9527          | 0,9527          | 0,9527          |  |
| Barium                     | 0,44  | 0,49  | 0,44  | 89                     | 0,14 | 28   | 0,1567          | 0,1567          | 0,1567          |  |
| Cadmium                    | 0,78  | 0,81  | 0,90  | 111                    | 0,99 | 122  | 0,6641          | 0,6641          | 0,6641          |  |
| Chroom                     | 0,10  | 0,08  | 0,06  | 77                     | 0,04 | 47   | 0,0353          | 0,0353          | 0,0353          |  |
| Kobalt                     | 0,26  | 0,27  | 0,27  | 98                     | 0,14 | 50   | 0,8945          | 0,8945          | 0,8945          |  |
| Koper                      | 0,49  | 0,53  | 0,43  | 82                     | 0,19 | 37   | 0,0713          | 0,0713          | 0,0713          |  |
| Lood                       | 0,58  | 0,66  | 0,68  | 103                    | 0,45 | 68   | 0,8853          | 0,8853          | 0,8853          |  |
| Molybdeen                  | 0,05  | 0,05  | 0,03  | 52                     | 0,02 | 37   | 0,0125          | 0,0125          | 0,0125          |  |
| Nikkel                     | 0,23  | 0,21  | 0,19  | 89                     | 0,17 | 79   | 0,5595          | 0,5595          | 0,5595          |  |
| Tin                        | 0,03  | 0,02  | 0,02  | 90                     | 0,02 | 108  | 0,6782          | 0,6782          | 0,6782          |  |
| Vanadium                   | 0,31  | 0,66  | 0,25  | 38                     | 0,33 | 50   | 0,1370          | 0,1370          | 0,1370          |  |
| Zink                       | 0,48  | 0,47  | 0,42  | 89                     | 0,25 | 54   | 0,3770          | 0,3770          | 0,3770          |  |
|                            |   |       |       |                        |      |      | p-waarde        |                 |                 |  |
|                            |   |       |       |                        |      |      | $\alpha = 0,05$ | $\alpha = 0,10$ | $\alpha = 0,20$ |  |
| <b>Totaal vergelijking</b> |   |       |       |                        |      |      | 0,1981          | 0,1981          | 0,1981          |  |
| Ratio                      | berekende lutumklasse <i>aqua nitrosa</i> / <i>aqua regia</i> ratio                               |       |       |                        |      |      |                 |                 |                 |  |
| Ratio-%                    | berekende lutumklasse ratio uitgedrukt in percentage van ALL ratio                                |       |       |                        |      |      |                 |                 |                 |  |
| SD                         | standaard deviatie van berekende lutumklasse ratio  |       |       |                        |      |      |                 |                 |                 |  |
| SD-%                       | standaard deviatie van berekende lutumklasse ratio uitgedrukt in percentage van lutumklasse ratio |       |       |                        |      |      |                 |                 |                 |  |

Tabel B.5. Statistische analyse van conversiefactoren uit het MHT en deze studie bij verschillende betrouwbaarheden ( $\alpha$ ). Rode vakken geven een statistisch verschil aan.

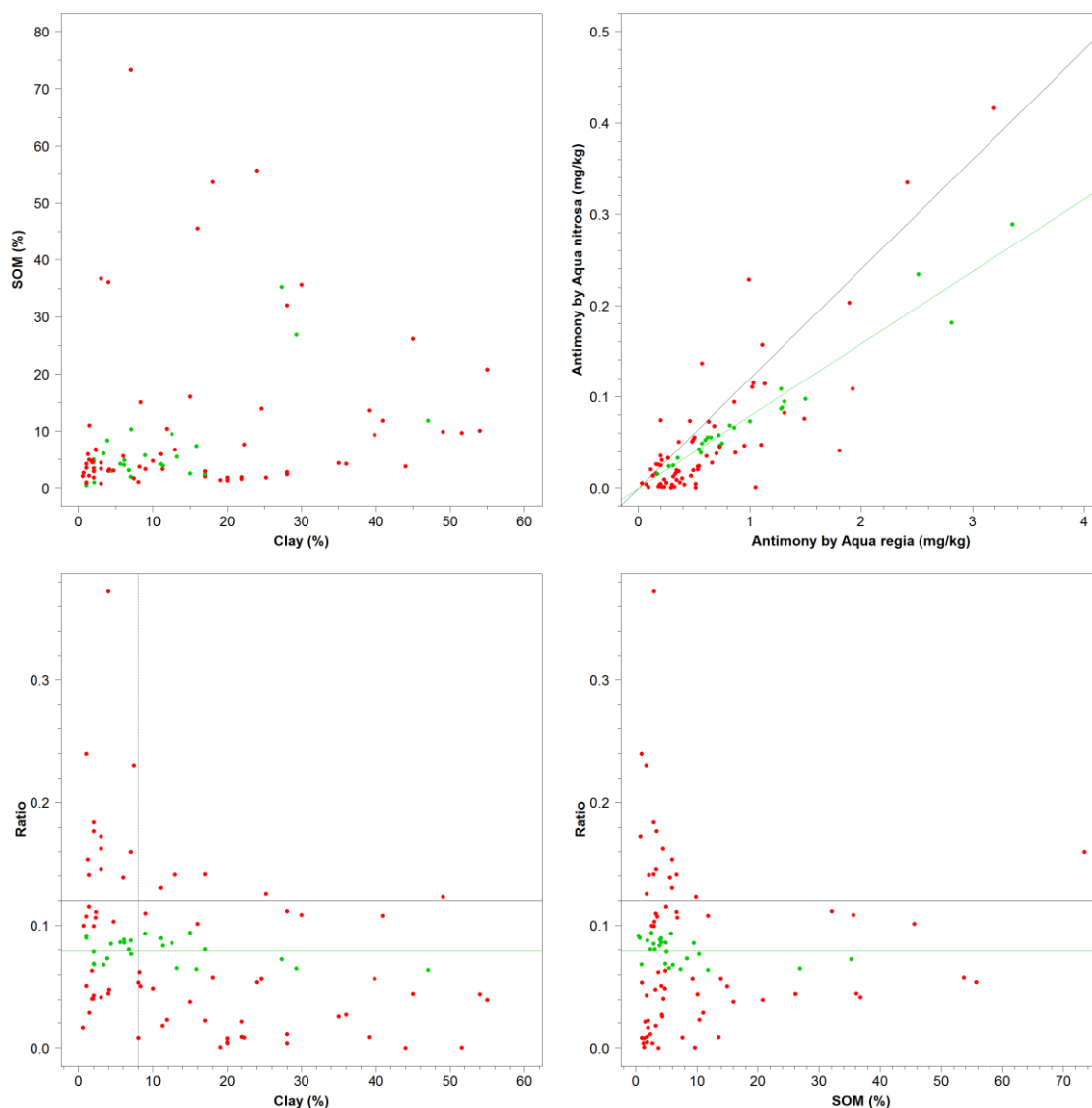
|                            | MHT<br>Ratio | ALL   |       | Lutumklasse: < 20%<br>n = 74 |      |      |                 |                 |                 |
|----------------------------|--------------|-------|-------|------------------------------|------|------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                            |              | Ratio | Ratio | Ratio-%                      | SD   | SD-% | p-waarde        |                 |                 |
|                            |              |       |       |                              |      |      | $\alpha = 0,05$ | $\alpha = 0,10$ | $\alpha = 0,20$ |
| Antimoon                   | 0,12         | 0,08  | 0,09  | 112                          | 0,06 | 77   | 0,2947          | 0,2947          | 0,2947          |
| Arseen                     | 0,26         | 0,26  | 0,30  | 115                          | 0,22 | 85   | 0,2115          | 0,2115          | 0,2115          |
| Barium                     | 0,44         | 0,49  | 0,45  | 92                           | 0,17 | 35   | 0,2225          | 0,2225          | 0,2225          |
| Cadmium                    | 0,78         | 0,81  | 0,83  | 102                          | 0,6  | 74   | 0,8071          | 0,8071          | 0,8071          |
| Chroom                     | 0,10         | 0,08  | 0,09  | 109                          | 0,07 | 87   | 0,6300          | 0,6300          | 0,6300          |
| Kobalt                     | 0,26         | 0,27  | 0,28  | 104                          | 0,14 | 53   | 0,5701          | 0,5701          | 0,5701          |
| Koper                      | 0,49         | 0,53  | 0,54  | 103                          | 0,28 | 52   | 0,6622          | 0,6622          | 0,6622          |
| Lood                       | 0,58         | 0,66  | 0,72  | 109                          | 0,3  | 45   | 0,2108          | 0,2108          | 0,2108          |
| Molybdeen                  | 0,05         | 0,05  | 0,05  | 109                          | 0,06 | 119  | 0,4743          | 0,4743          | 0,4743          |
| Nikkel                     | 0,23         | 0,21  | 0,22  | 106                          | 0,16 | 75   | 0,5144          | 0,5144          | 0,5144          |
| Tin                        | 0,03         | 0,02  | 0,02  | 121                          | 0,03 | 136  | 0,6947          | 0,6947          | 0,6947          |
| Vanadium                   | 0,31         | 0,66  | 0,83  | 126                          | 2,92 | 442  | 0,6896          | 0,6896          | 0,6896          |
| Zink                       | 0,48         | 0,47  | 0,53  | 114                          | 0,27 | 57   | 0,0972          | 0,0972          | 0,0972          |
|                            |              |       |       |                              |      |      | <b>p-waarde</b> |                 |                 |
|                            |              |       |       |                              |      |      | $\alpha = 0,05$ | $\alpha = 0,10$ | $\alpha = 0,20$ |
| <b>Totaal vergelijking</b> |              |       |       |                              |      |      | 0,0700          | 0,0700          | 0,0700          |

Ratio berekende lutumklasse *aqua nitrosa* / *aqua regia* ratio  
 Ratio-% berekende lutumklasse ratio uitgedrukt in percentage van ALL ratio  
 SD standaard deviatie van berekende lutumklasse ratio  
 SD-% standaard deviatie van berekende lutumklasse ratio uitgedrukt in percentage van lutumklasse ratio

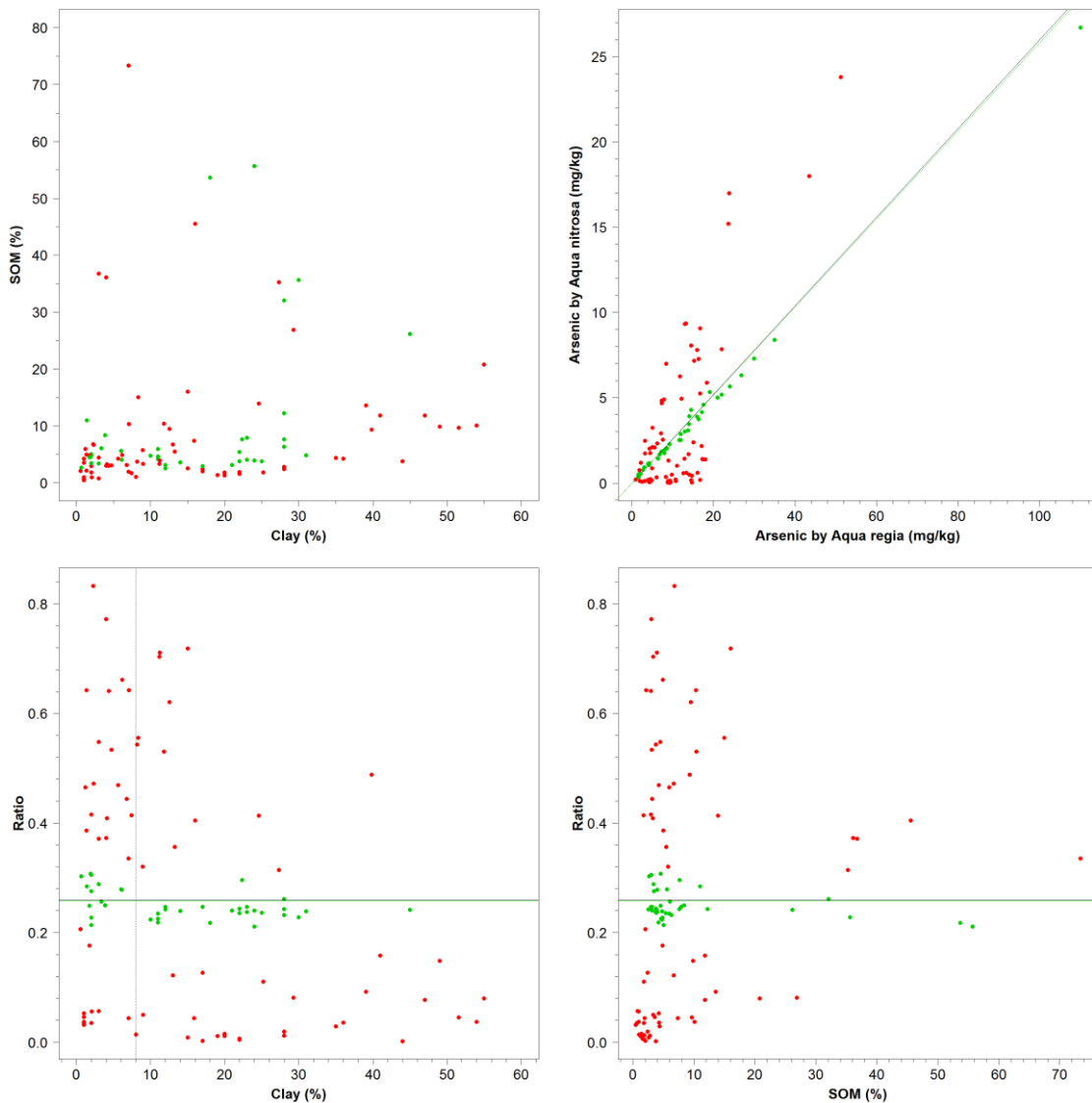
Tabel B.6. Statistische analyse van conversiefactoren uit het MHT en deze studie bij verschillende betrouwbaarheden (alpha). Rode vakken geven een statistisch verschil aan.

|                            | MHT<br>Ratio  | ALL   |       | Lutumklasse: > 20% |      |      |                 |                 |                 |
|----------------------------|---|-------|-------|--------------------|------|------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                            |   | Ratio | Ratio | Ratio-%            | SD   | SD-% | n = 38          |                 |                 |
|                            |   |       |       |                    |      |      | p-waarde        |                 |                 |
|                            |   |       |       |                    |      |      | $\alpha = 0,05$ | $\alpha = 0,10$ | $\alpha = 0,20$ |
| Antimoon                   | 0,12  | 0,08  | 0,04  | 56                 | 0,04 | 51   | 0,0011          | 0,0011          | 0,0011          |
| Arseen                     | 0,26  | 0,26  | 0,16  | 61                 | 0,12 | 48   | 0,0007          | 0,0007          | 0,0007          |
| Barium                     | 0,44  | 0,49  | 0,57  | 116                | 0,38 | 77   | 0,2439          | 0,2439          | 0,2439          |
| Cadmium                    | 0,78  | 0,81  | 0,72  | 89                 | 0,36 | 44   | 0,2748          | 0,2748          | 0,2748          |
| Chroom                     | 0,10  | 0,08  | 0,07  | 86                 | 0,04 | 54   | 0,1485          | 0,1485          | 0,1485          |
| Kobalt                     | 0,26  | 0,27  | 0,23  | 86                 | 0,09 | 34   | 0,0586          | 0,0586          | 0,0586          |
| Koper                      | 0,49  | 0,53  | 0,46  | 86                 | 0,4  | 75   | 0,3329          | 0,3329          | 0,3329          |
| Lood                       | 0,58  | 0,66  | 0,52  | 78                 | 0,32 | 49   | 0,0186          | 0,0186          | 0,0186          |
| Molybdeen                  | 0,05  | 0,05  | 0,02  | 46                 | 0,02 | 30   | 0,0017          | 0,0017          | 0,0017          |
| Nikkel                     | 0,23  | 0,21  | 0,17  | 79                 | 0,08 | 38   | 0,0272          | 0,0272          | 0,0272          |
| Tin                        | 0,03  | 0,02  | 0,01  | 57                 | 0,02 | 76   | 0,1359          | 0,1359          | 0,1359          |
| Vanadium                   | 0,31  | 0,66  | 0,14  | 21                 | 0,1  | 15   | 0,0509          | 0,0509          | 0,0509          |
| Zink                       | 0,48  | 0,47  | 0,31  | 66                 | 0,15 | 32   | 0,0000          | 0,0000          | 0,0000          |
|                            |   |       |       |                    |      |      | p-waarde        |                 |                 |
|                            |   |       |       |                    |      |      | $\alpha = 0,05$ | $\alpha = 0,10$ | $\alpha = 0,20$ |
| <b>Totaal vergelijking</b> |   |       |       |                    |      |      | 0,0426          | 0,0426          | 0,0426          |
| Ratio                      | berekende lutumklasse <i>aqua nitrosa</i> / <i>aqua regia</i> ratio                               |       |       |                    |      |      |                 |                 |                 |
| Ratio-%                    | berekende lutumklasse ratio uitgedrukt in percentage van ALL ratio                                |       |       |                    |      |      |                 |                 |                 |
| SD                         | standaard deviatie van berekende lutumklasse ratio  |       |       |                    |      |      |                 |                 |                 |
| SD-%                       | standaard deviatie van berekende lutumklasse ratio uitgedrukt in percentage van lutumklasse ratio |       |       |                    |      |      |                 |                 |                 |

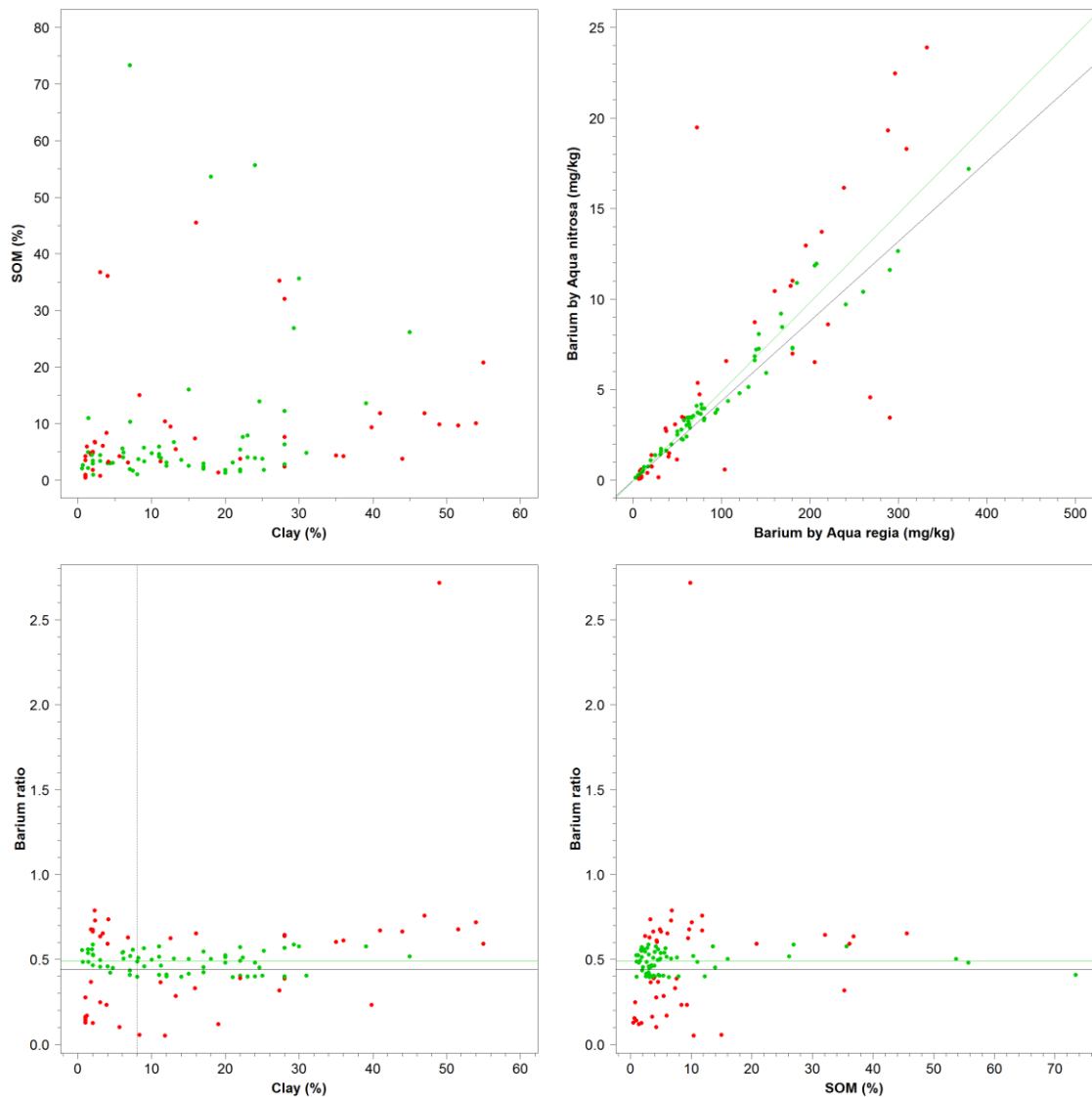
De uitkomsten laten zien dat vooral lutumklassen < 20% en > 20% een onderscheid laten zien. Lutumklasse < 20% komt goed overeen met de ratio's gevonden bij de gehele database. Zowel de individuele metalen als het totaal wijkt niet significant af bij een significantie niveau van 0,05. Lutumklasse > 20% wijkt significant af voor zes van de dertien metalen bij een significantie niveau van 0,05. De ratio's zijn ook bij een totaalvergelijking afwijkend bij  $\alpha = 0,05$ .



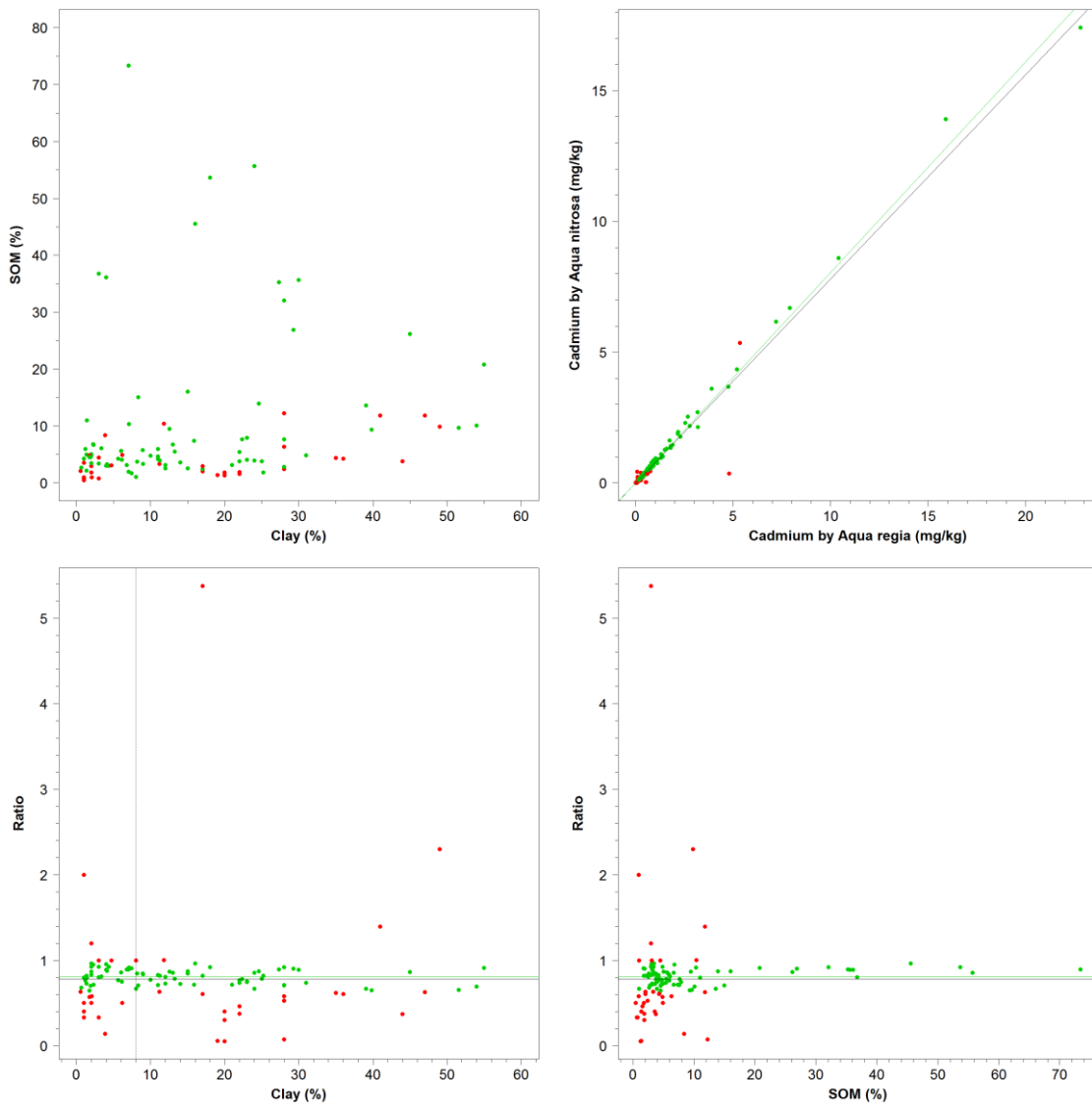
Figuur B.1. Antimoon aqua nitrosa / aqua regia ratio uit deze studie (groen: +/- 20%) uitgezet. Linksboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor lutum- en organisch stofgehalte. Rechtsboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor metaalgehalten via aqua nitrosa, dan wel aqua regia. Linksonder: ratio's versus lutumgehalte. Rechtsonder: ratio's versus organisch stofgehalte. Groene lijn = deze studie, zwarte lijn = uit MHT.



Figuur B.2. Arseen aqua nitrosa / aqua regia ratio uit deze studie (groen: +/- 20%) uitgezet. Linksboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor lutum- en organisch stofgehalte. Rechtsboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor metaalgehalten via aqua nitrosa, dan wel aqua regia. Linksonder: ratio's versus lutumgehalte. Rechtsonder: ratio's versus organisch stofgehalte. Groene lijn = deze studie, zwarte lijn = uit MHT.

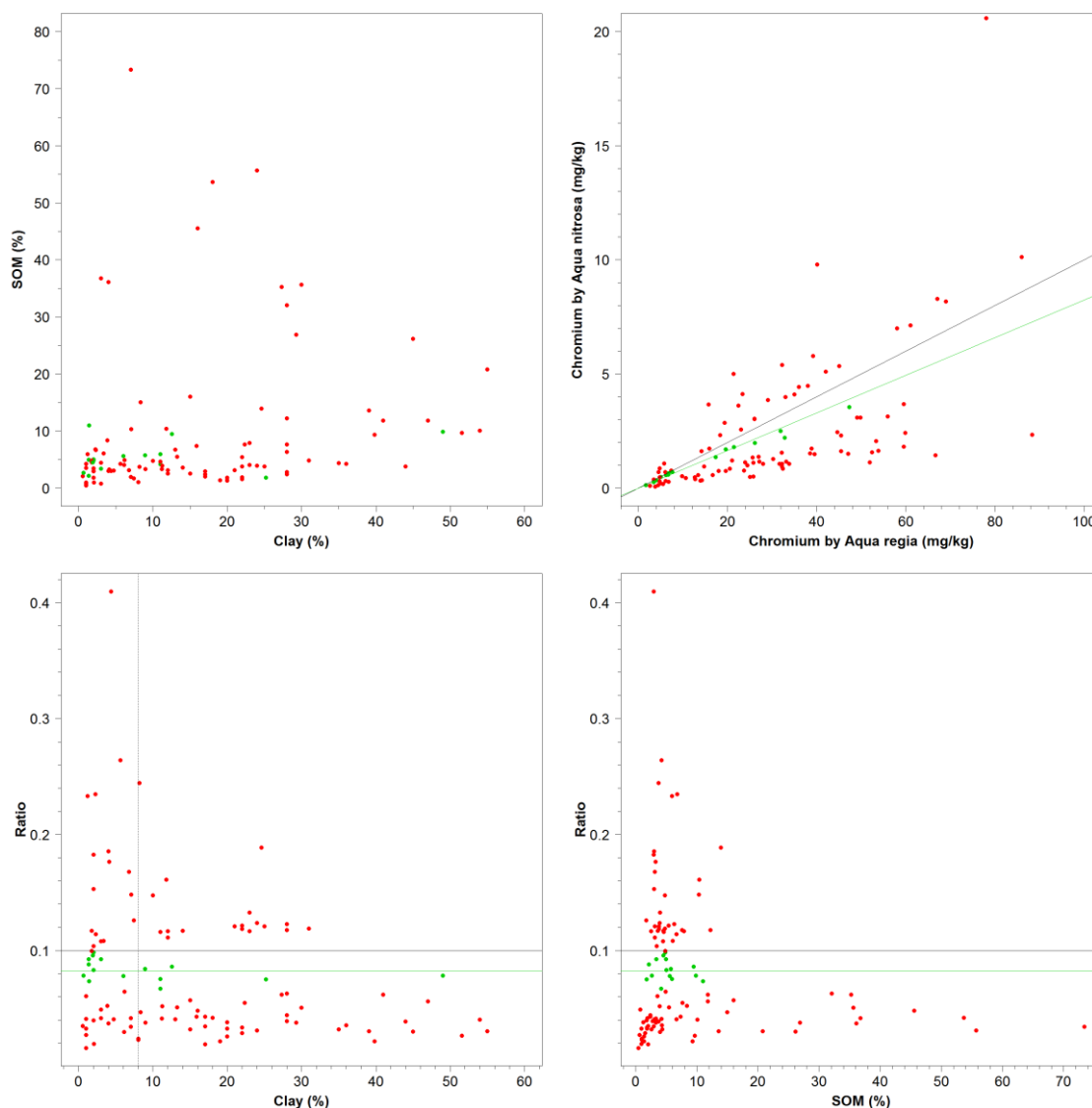


Figuur B.3. Barium aqua nitrosa / aqua regia ratio uit deze studie (groen: +/- 20%) uitgezet. Linksboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor lutum- en organisch stofgehalte. Rechtsboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor metaalgehalten via aqua nitrosa, dan wel aqua regia. Linksonder: ratio's versus lutumgehalte. Rechtsonder: ratio's versus organisch stofgehalte. Groene lijn = deze studie, zwarte lijn = uit MHT.

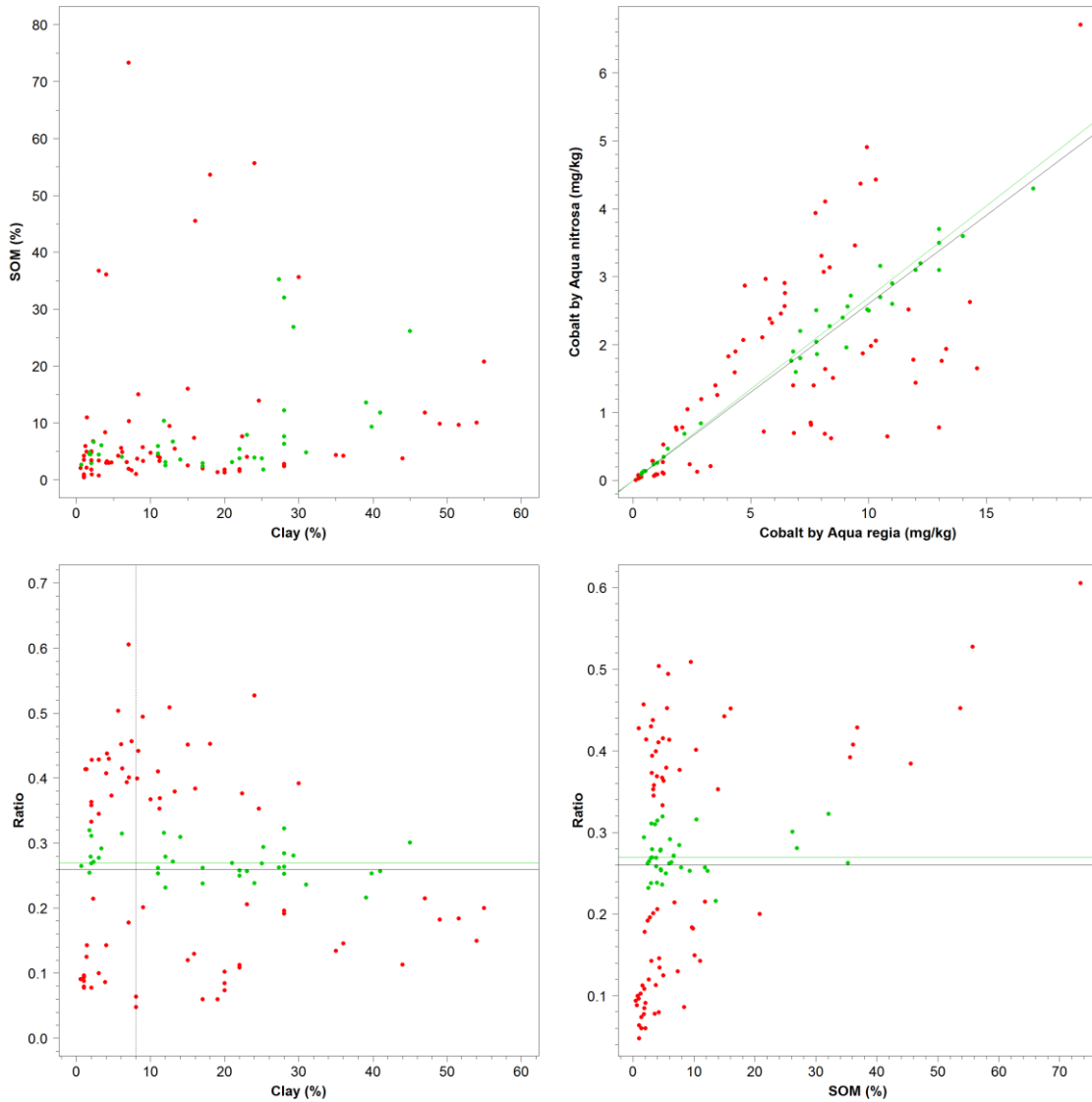


Figuur B.4. Cadmium aqua nitrosa / aqua regia ratio uit deze studie (groen: +/- 20%) uitgezet. Linksboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor lutum- en organisch stofgehalte. Rechtsboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor metaalgehalten via aqua nitrosa, dan wel aqua regia. Linksonder: ratio's versus lutumgehalte. Rechtsonder: ratio's versus organisch stofgehalte. Groene lijn = deze studie, zwarte lijn = uit MHT.

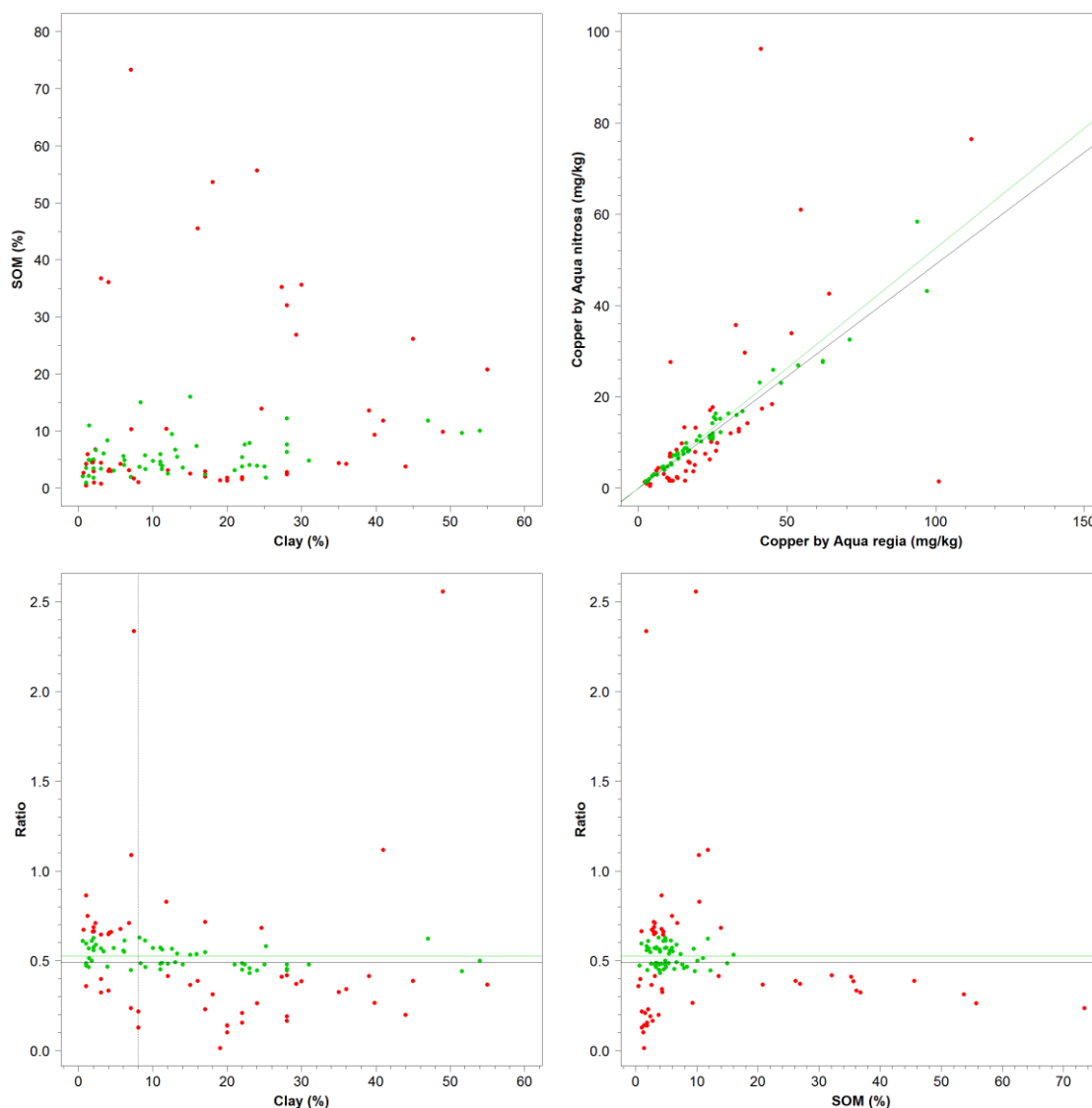




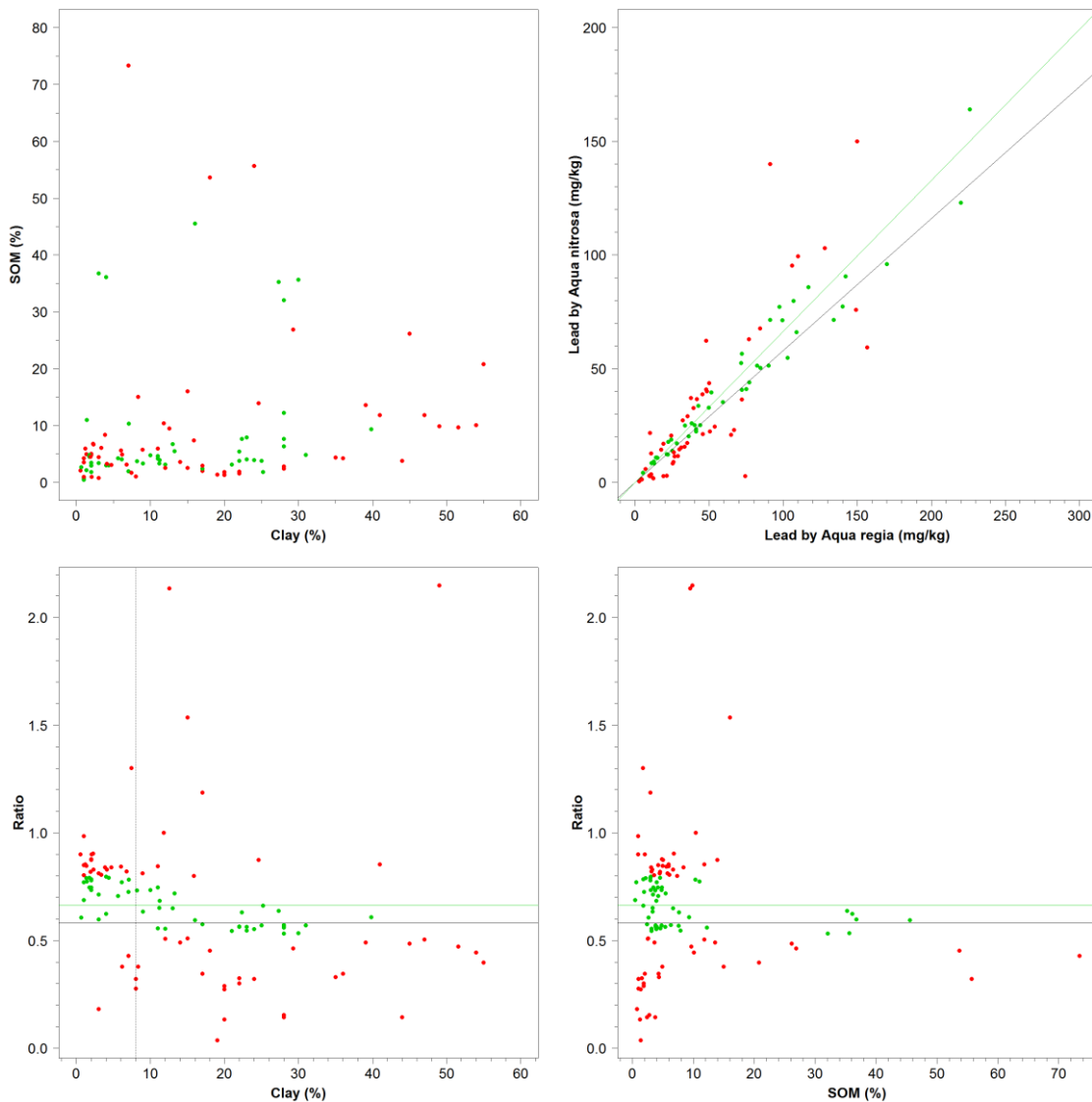
Figuur B.5. Chroom aqua nitrosa / aqua regia ratio uit deze studie (groen: +/- 20%) uitgezet. Linksboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor lutum- en organisch stofgehalte. Rechtsboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor metaalgehalten via aqua nitrosa, dan wel aqua regia. Linksonder: ratio's versus lutumgehalte. Rechtsonder: ratio's versus organisch stofgehalte. Groene lijn = deze studie, zwarte lijn = uit MHT.



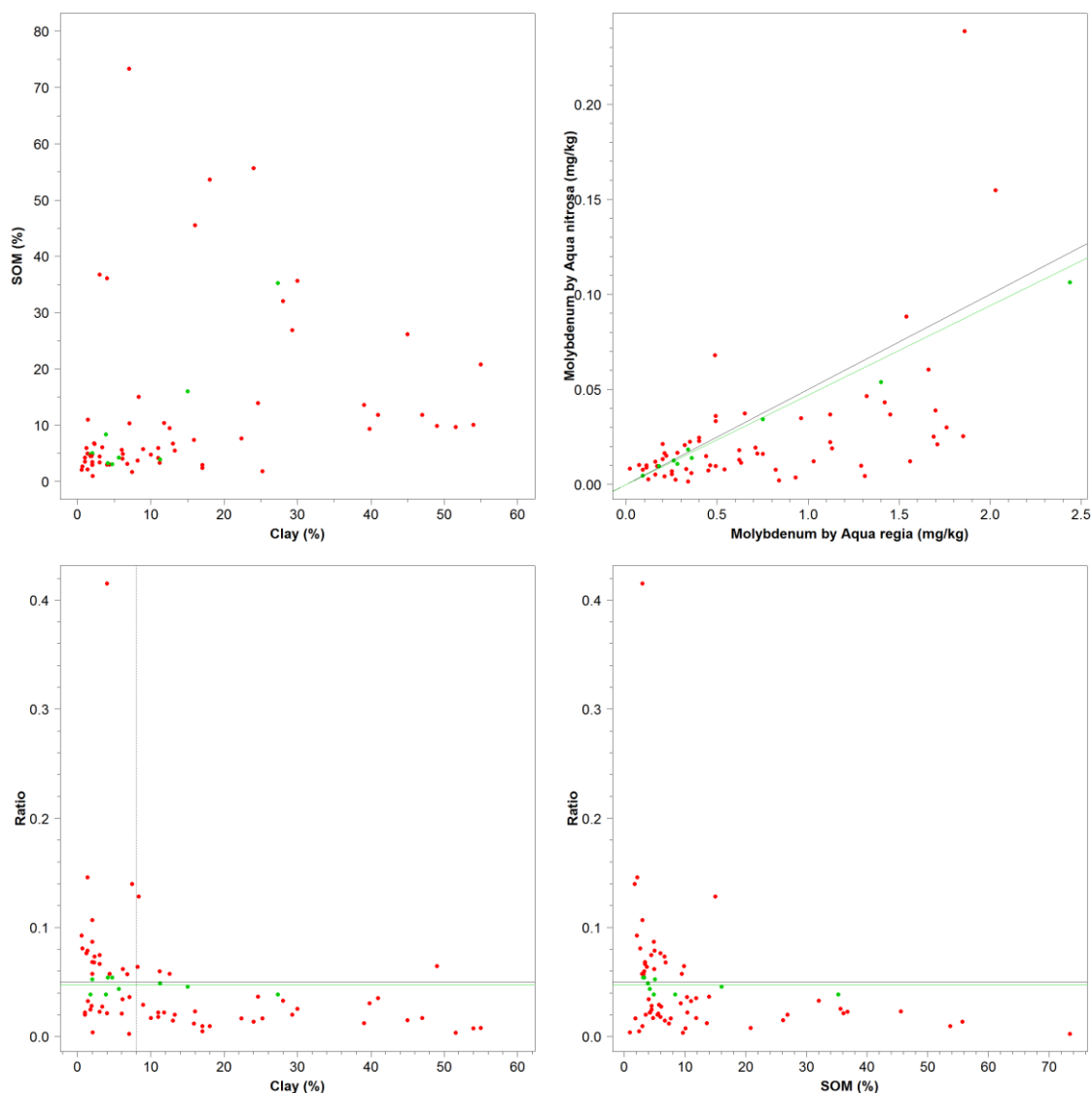
Figuur B.6. Kobalt aqua nitrosa / aqua regia ratio uit deze studie (groen: +/- 20%) uitgezet. Linksboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor lutum- en organisch stofgehalte. Rechtsboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor metaalgehalten via aqua nitrosa, dan wel aqua regia. Linksonder: ratio's versus lutumgehalte. Rechtsonder: ratio's versus organisch stofgehalte. Groene lijn = deze studie, zwarte lijn = uit MHT.



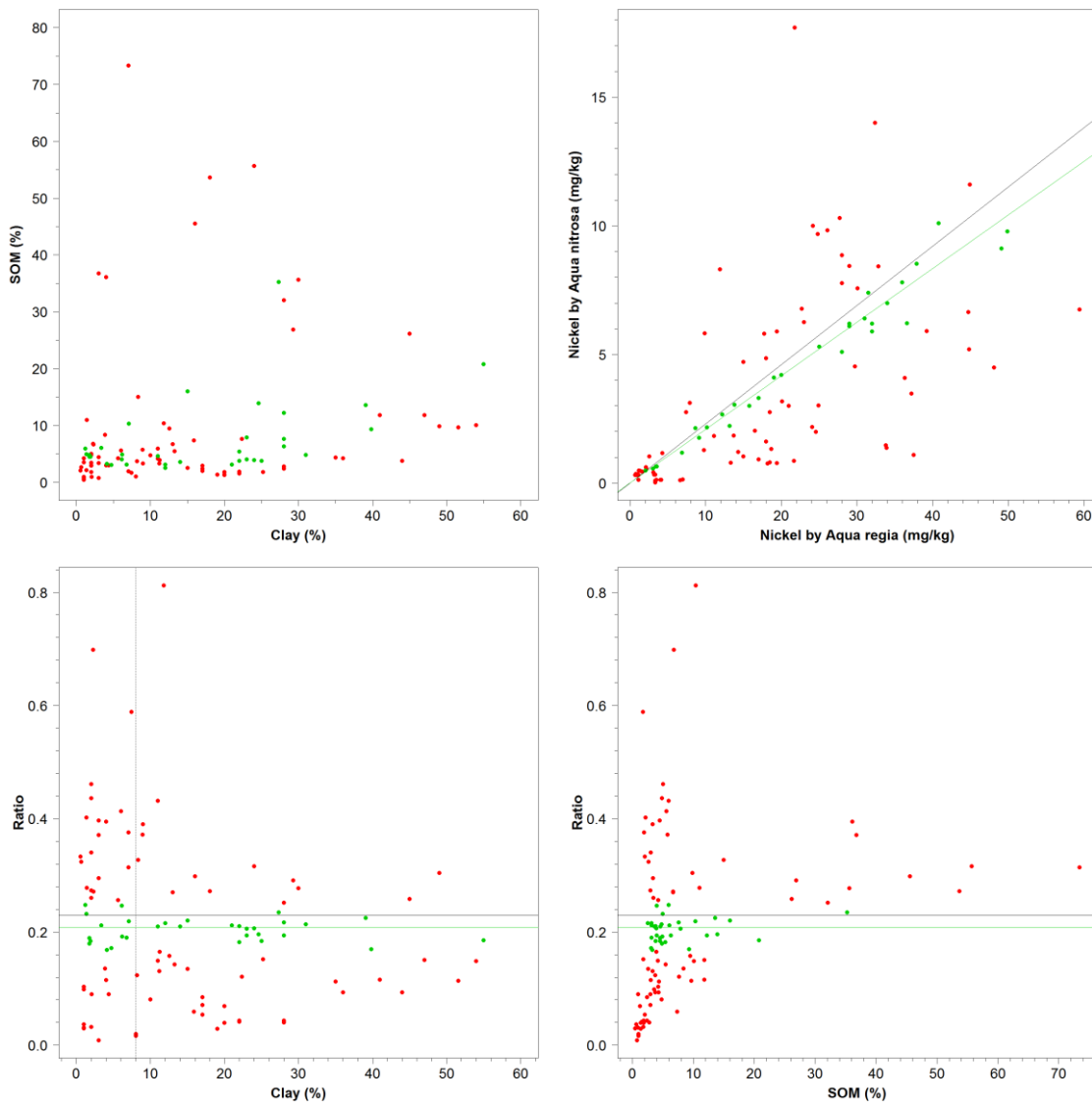
Figuur B.7. Koper aqua nitrosa / aqua regia ratio uit deze studie (groen: +/- 20%) uitgezet. Linksboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor lutum- en organisch stofgehalte. Rechtsboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor metaalgehalten via aqua nitrosa, dan wel aqua regia. Linksonder: ratio's versus lutumgehalte. Rechtsonder: ratio's versus organisch stofgehalte. Groene lijn = deze studie, zwarte lijn = uit MHT.



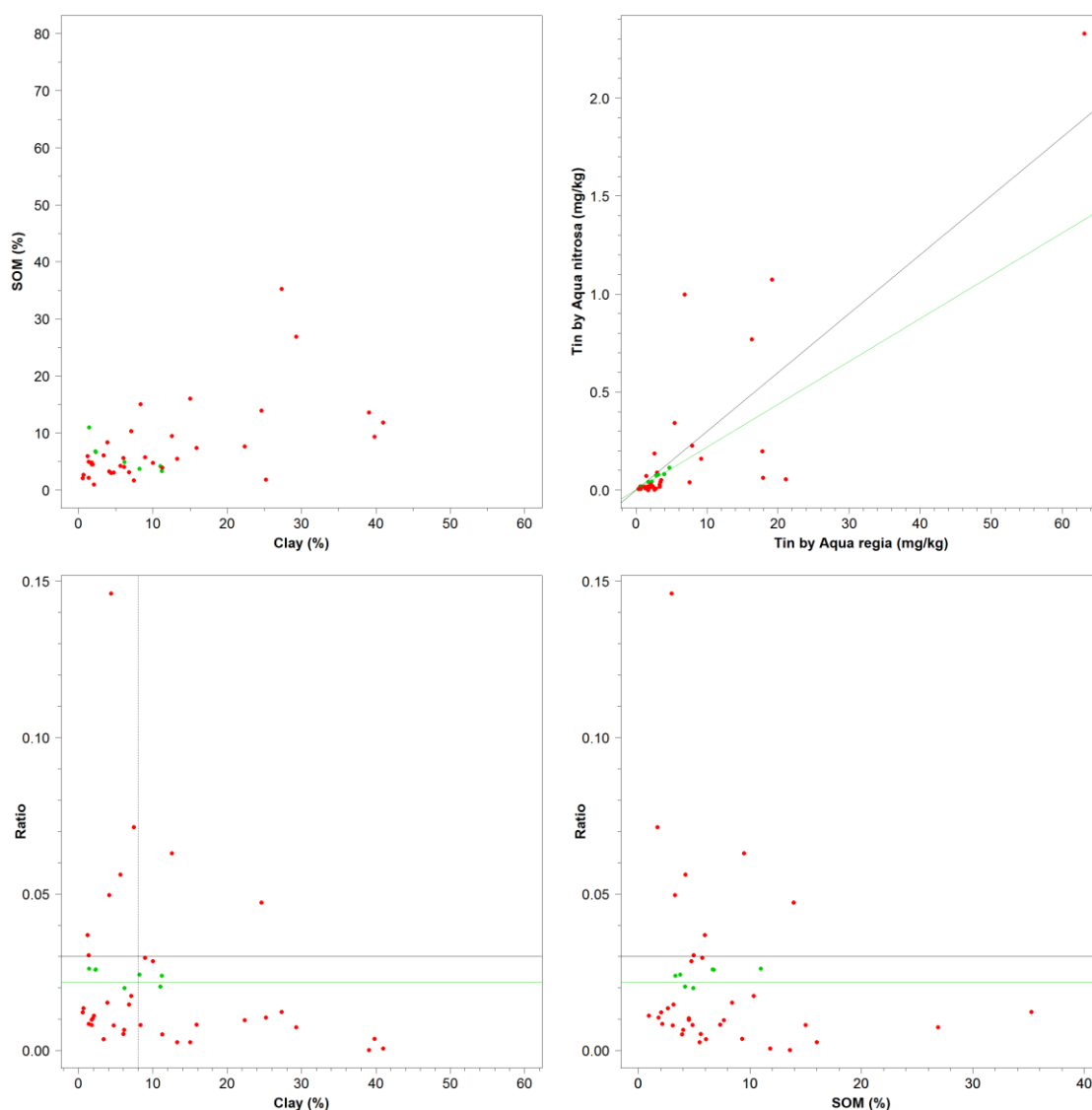
Figuur B.8. Lood aqua nitrosa / aqua regia ratio uit deze studie (groen: +/- 20%) uitgezet. Linksboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor lutum- en organisch stofgehalte. Rechtsboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor metaalgehalten via aqua nitrosa, dan wel aqua regia. Linksonder: ratio's versus lutumgehalte. Rechtsonder: ratio's versus organisch stofgehalte. Groene lijn = deze studie, zwarte lijn = uit MHT.



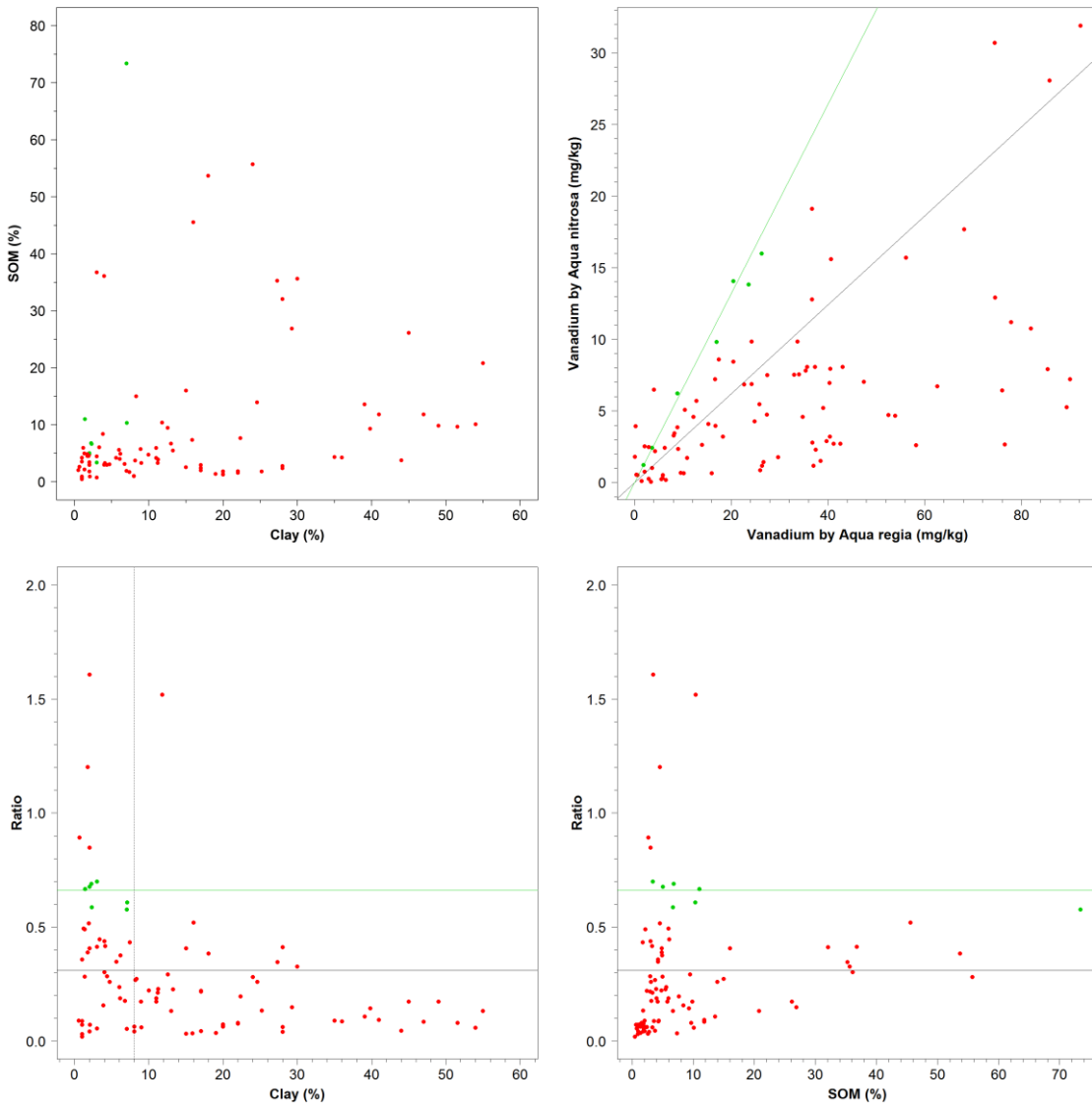
Figuur B.9. Molybdeen aqua nitrosa / aqua regia ratio uit deze studie (groen: +/- 20%) uitgezet. Linksboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor lutum- en organisch stofgehalte. Rechtsboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor metaalgehalten via aqua nitrosa, dan wel aqua regia. Linksonder: ratio's versus lutumgehalte. Rechtsonder: ratio's versus organisch stofgehalte. Groene lijn = deze studie, zwarte lijn = uit MHT.



Figuur B.10. Nikkel aqua nitrosa / aqua regia ratio uit deze studie (groen: +/- 20%) uitgezet. Linksboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor lutum- en organisch stofgehalte. Rechtsboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor metaalgehalten via aqua nitrosa, dan wel aqua regia. Linksonder: ratio's versus lutumgehalte. Rechtsonder: ratio's versus organisch stofgehalte. Groene lijn = deze studie, zwarte lijn = uit MHT.

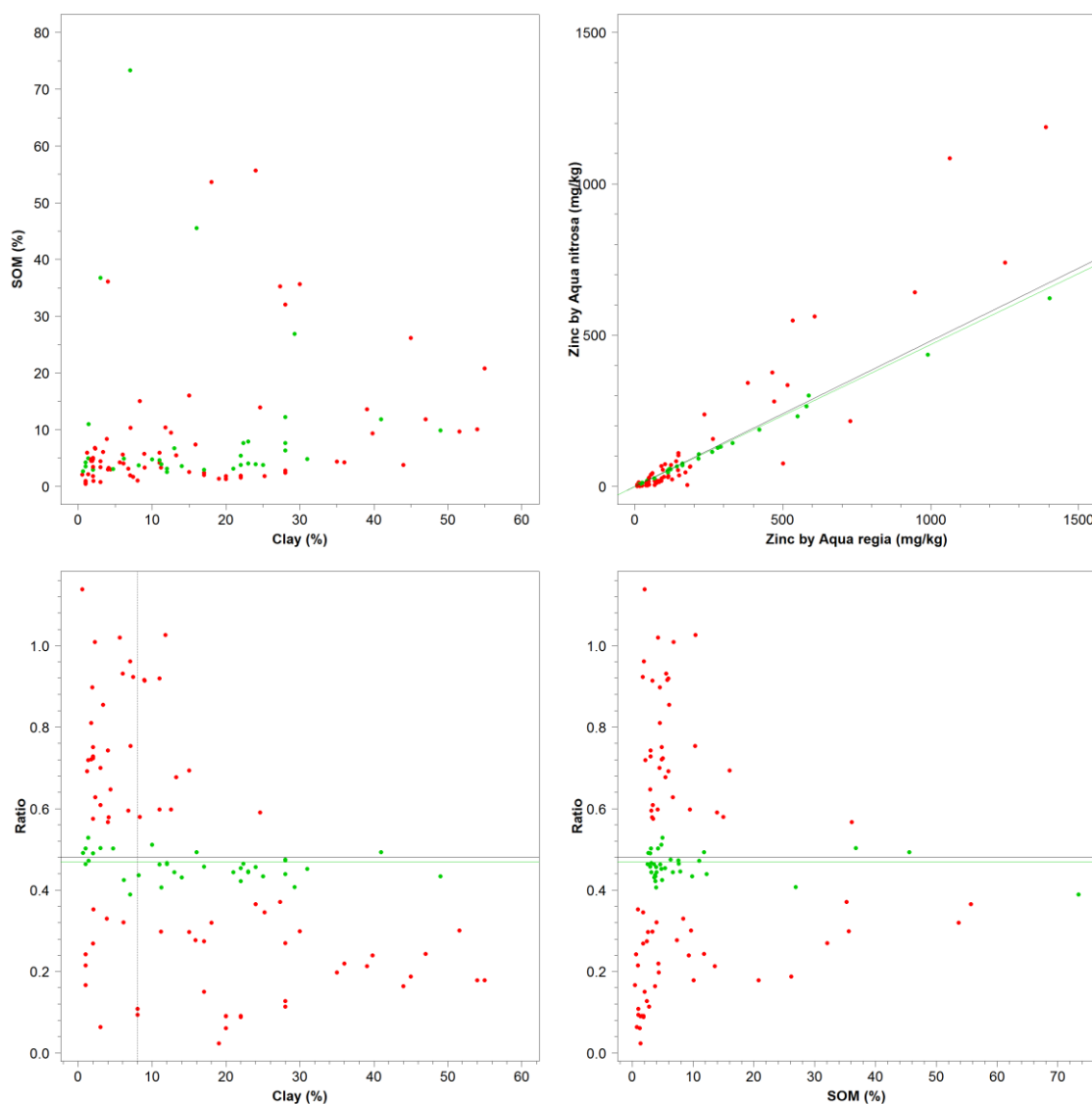


Figuur B.11. Tin aqua nitrosa / aqua regia ratio uit deze studie (groen: +/- 20%) uitgezet. Linksboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor lutum- en organisch stofgehalte. Rechtsboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor metaalgehalten via aqua nitrosa, dan wel aqua regia. Linksonder: ratio's versus lutumgehalte. Rechtsonder: ratio's versus organisch stofgehalte. Groene lijn = deze studie, zwarte lijn = uit MHT.



Figuur B.12. Vanadium aqua nitrosa / aqua regia ratio uit deze studie (groen: +/- 20%) uitgezet. Linksboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor lutum- en organisch stofgehalte. Rechtsboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor metaalgehalten via aqua nitrosa, dan wel aqua regia. Linksonder: ratio's versus lutumgehalte. Rechtsonder: ratio's versus organisch stofgehalte. Groene lijn = deze studie, zwarte lijn = uit MHT.





Figuur B.13. Zink aqua nitrosa / aqua regia ratio uit deze studie (groen: +/- 20%) uitgezet. Linksboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor lutum- en organisch stofgehalte. Rechtsboven: positionering gronden die aan de ratio voldoen voor metaalgehalten via aqua nitrosa, dan wel aqua regia Linksonder: ratio's versus lutumgehalte. Rechtsonder: ratio's versus organisch stofgehalte. Groene lijn = deze studie, zwarte lijn = uit MHT.