



# Bodem-, Gewas- en Ecologische kwaliteit Ijperveld

Monitoringsresultaten 2015 - 2017

Paul Römken, Jim Linders



---

# Bodem-, gewas- en ecologische kwaliteit Ilperveld

Monitoringsresultaten 2015-2017

Paul Römkens<sup>1</sup>, Jim Linders<sup>2</sup>

1 Wageningen Environmental Research

2 Antea Group

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research in samenwerking met Antea Group, in opdracht van en gefinancierd door Afvalzorg.

Wageningen Environmental Research

Wageningen, maart 2019

---

Gereviewd door:

Dr. Ir. G.J. Reinds, Teamleider Duurzaam Bodemgebruik WENR

Akkoord voor publicatie:

Dr. Ir. G.J. Reinds, Teamleider Duurzaam Bodemgebruik WENR


Rapport 2938

ISSN 1566-7197

In opdracht van de provincie Noord-Holland zijn een aantal voormalige stortplaatsen en een waterbodembodem in het IJperveld gesaneerd in de periode 2003-2013. Daarbij zijn in het gebied zes verschillende deelsaneringen uitgevoerd. Daarbij is in een vooronderzoek vastgesteld dat de bodemkwaliteit, met name de gehalten aan koper, in een aantal deelgebieden mogelijk aanleiding geeft tot ecologische risico's en gezondheidsrisico's voor vee (schapen). Monitoring van bodem- en gewaskwaliteit gedurende drie opeenvolgende jaren (2015-2017) toont echter aan dat, ofschoon de bodemkwaliteit in een aantal deelgebieden niet aan de advieswaarde voor schapen voldoet, er geen sprake is van risico's voor de diergezondheid. Ook de opname van koper door wormen wijkt niet af van die welke is aangetroffen in niet specifiek belaste gebieden. Wel toont het gewasonderzoek dat er sprake is van een grote jaarlijkse variatie in de gehalten aan koper in gras, met pieken in de winter en lage gehalten in de zomer. Dit onderzoek toont echter aan dat dit niet leidt tot een overschrijding van de toegestane dagelijkse inname – op jaarbasis – voor schapen. Bovendien is deze spreiding ook aangetoond in niet-belaste percelen. De gemeten verhoogde kopergehalten in gras zijn niet of slechts zeer beperkt het gevolg van de verhoogde bodemgehalten. Op basis van de huidige kwaliteit van de afdekkingen geven deze resultaten daarom geen aanleiding voor aanpassen van het beweidingsbeheer van het gebied met het oog op de diergezondheid.

Trefwoorden: Koper, risico-evaluatie, sanering, gewaskwaliteit, IJperveld, schapen

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/472432> of op [www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research) (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

 2019 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, [www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research). Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001. Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

---

# Inhoud

	<b>Verantwoording</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Proeflocaties en aanpak bemonstering</b>	<b>9</b>
	2.1 Locatiekeuze	9
	2.2 Bemonsteringsprotocol	10
	2.2.1 Algemeen	10
	2.2.2 Bemonstering Bodem	10
	2.2.3 Bemonstering Gewas	10
	2.2.4 Bemonstering Wormen	11
	2.3 Overzicht uitgevoerde analyses en methoden	11
	2.3.1 Algemeen	11
	2.3.2 Bodemanalyses	12
	2.3.3 Gewas- en wormanalyses	12
<b>3</b>	<b>Resultaten bodem-, gewas- en ecologische bemonstering</b>	<b>13</b>
	3.1 Inleiding	13
	3.2 Resultaten 2015	13
	3.2.1 Overzicht bodem data	14
	3.2.2 Overzicht gewasdata 2015	16
	3.2.3 Overzicht metingen in wormen	17
	3.2.4 Blootstelling van schapen aan koper als gevolg van inname van grond en gras	19
	3.2.5 Risico's voor doorvergiftiging	20
	3.2.6 Toetsing doelstellingen	20
	3.2.7 Bespreekpunten en vervolg monitoring 2016	22
	3.3 Resultaten 2016	24
	3.3.1 Overzicht bodemdata 2016	24
	3.3.2 Overzicht gewasdata 2016	27
	3.3.3 Overzicht metingen in wormen 2016	28
	3.3.4 Blootstelling van schapen aan koper als gevolg van inname van grond en gras	29
	3.3.5 Risico's op doorvergiftiging	30
	3.3.6 Toetsing doelstellingen	30
	3.3.7 Conclusies resultaten 2016	32
	3.3.8 Bespreekpunten en vervolg monitoring 2017	33
	3.4 Resultaten 2017	34
	3.4.1 Resultaten bodem	34
	3.4.2 Resultaten gewas	38
	3.4.3 Resultaten wormen	42
	3.4.4 Absorptie van koper uit gras	46
<b>4</b>	<b>Regiospecifieke waarden voor bodem en gras en ruimtelijke beelden van de metingen 2015-2017</b>	<b>49</b>
<b>5</b>	<b>Conclusies en Aanbevelingen</b>	<b>55</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>59</b>
	<b>Bijlage 1 Resultaten vooronderzoek 2014</b>	<b>61</b>
	<b>Bijlage 2 Overzicht van meetresultaten Bodem – Gewas – Worm</b>	<b>72</b>

---

---

# Verantwoording

Rapport: 2938

Projectnummer: 5200044898

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van onze eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord Referent die het heeft beoordeeld,

functie: Teamleider Duurzaam Bodemgebruik WENR

naam: Dr. Ir. G.J. Reinds

datum: juni 2019

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Dr. Ir. G.J. Reinds

datum: juni 2019





---

# 1 Inleiding

## Aanleiding voor het onderzoek

In opdracht van de provincie Noord-Holland zijn een aantal voormalige stortplaatsen en een waterbodembodem in het Ilperveld gesaneerd in de periode 2003-2013. Daarbij zijn in het gebied zes verschillende deelsaneringen uitgevoerd. De deelsaneringen één tot en met vijf hebben betrekking op verschillende (clusters van) stortlocaties in het projectgebied. De zesde deelsanering betreft de aanpak van de deels sterk verontreinigde waterbodembodem.

De sanering van de stortplaatsen heeft bestaan uit het ontgraven van enkele kleinere stortlocaties en/of het aanbrengen van een afdeklaag op de stortlocaties. Voor de afdeklaag is over het algemeen baggerspecie gebruikt, afkomstig uit het projectgebied. Op de grotere stortlocaties is de afdeklaag opgebouwd uit een laag sterk verontreinigde bagger (klasse 3-4-materiaal) met daarbovenop een geotextiel (signaleringsdoek) en een 'schone' laag (klasse 0-, 1- of 2-materiaal). De kleinere locaties zijn afgedekt met alleen een geotextiel, waarna een 'schone' laag is opgebracht. Door gebrek aan 'schone' bagger is ook bagger uit omringende gebieden aangevoerd en/of is hergebruikgrond met een acceptabele kwaliteit van buiten het gebied toegepast als afdeklaag.

In het kader van de evaluatie van de sanering van de stortplaatsen zijn de voorwaarden zoals opgenomen in de afgegeven Wbb-beschikking getoetst (Bodemzorg, 2014):

- de 'schone' laag dient bij uitkeuring ten minste te voldoen aan categorie I-materiaal conform het Bouwstoffenbesluit;
- deze dient ook een dikte te hebben van 0,5 m.

In aanvulling op deze verificatie van kwaliteit en dikte van de afdeklaag is ook een generieke risicobeoordeling uitgevoerd op basis van de huidige bodemkwaliteitseisen en rekening houdend met huidige beoogde gebruik. De beoordeling is uitgevoerd met de risicotoolbox waarbij als te beoordelen functie landbouw (begrazing) is gehanteerd.

Uit de generieke risicobeoordeling uitgevoerd op basis van de gemeten totaalgehalten aan onder andere koper in de bodem (Bodemzorg 2014) bleek dat voor diverse locaties mogelijk sprake kon zijn van ecologische risico's. Daarnaast werd duidelijk dat de aangetoonde gehalten in de afdeklaag, met name die van koper, in potentie tot landbouwriskico's konden leiden waarbij vooral risico's voor schapen als aandachtspunt golden. Op basis van een eerste aanvullend gewasonderzoek (Antea Group-Alterra 2014) werd echter aangetoond dat op dat moment géén sprake was van landbouwriskico's die te relateren waren aan de kwaliteit van de opgebrachte afdekklagen (zie ook Appendix 1 met daarin de weergave van de resultaten van het vooronderzoek).

Omdat zowel de ecologische als landbouwkundige risico's sterk samenhangen met de rijping en ontwikkeling van de opgebrachte bagger, werd het zinvol geacht de ontwikkeling van de bodemkwaliteit te volgen gedurende een drietal jaren (voorjaar 2015-najaar 2017). Dit meerjarige monitoringsonderzoek levert niet alleen inzicht op in de dynamiek in de bodemlaag die bepalend is voor de risico's, maar ook in hoeverre deze dynamiek in de bodem van invloed is op de kwaliteit van het gras dat als veevoer dient. Daarnaast kunnen de resultaten van een dergelijk gecombineerd onderzoek aan bodem- en gewaskwaliteit ook gebruikt worden om regiospecifieke achtergrondwaarden af te leiden. Juist voor bodems rijk aan organische stof geldt dat de huidige databestanden vaak niet toereikend zijn om voor dit type bodems de variatie in gemeten gehalten aan metalen te duiden.

## Doelstelling

De algemene doelstelling van het meerjarig onderzoek zoals gerapporteerd in dit rapport betreft het volgen van de ontwikkeling van de kwaliteit van de afdekklagen en de daarop voorkomende gewassen in relatie tot mogelijke effecten op de ecologie in het gebied enerzijds en het voorziene landbouwkundige gebruik (begrazing) anderzijds.

---

Meer specifiek gelden voor het monitoringsonderzoek in relatie tot de ecologische risico's de volgende hoofddoelen:

- Vaststellen of er sprake is van effecten op het functioneren van regenwormen als maat voor directe ecologische effecten in de bodem zelf.
- Vaststellen of er sprake is van verhoogde doorvergiftigingsrisico's aan de hand van voedselpatronen van dieren die wormen eten (m.n. weidevogels en roofvogels). Dit zal via een modelmatige aanpak gebeuren (berekenen inname van metalen via consumptie van wormen).
- Vaststellen in welke mate effecten van de verhoogde gehalten in de bodem in referentiepercelen afwijken van die in percelen met bagger.

Voor de relatie tot landbouw kent de monitoring daarnaast de volgende hoofddoelen:

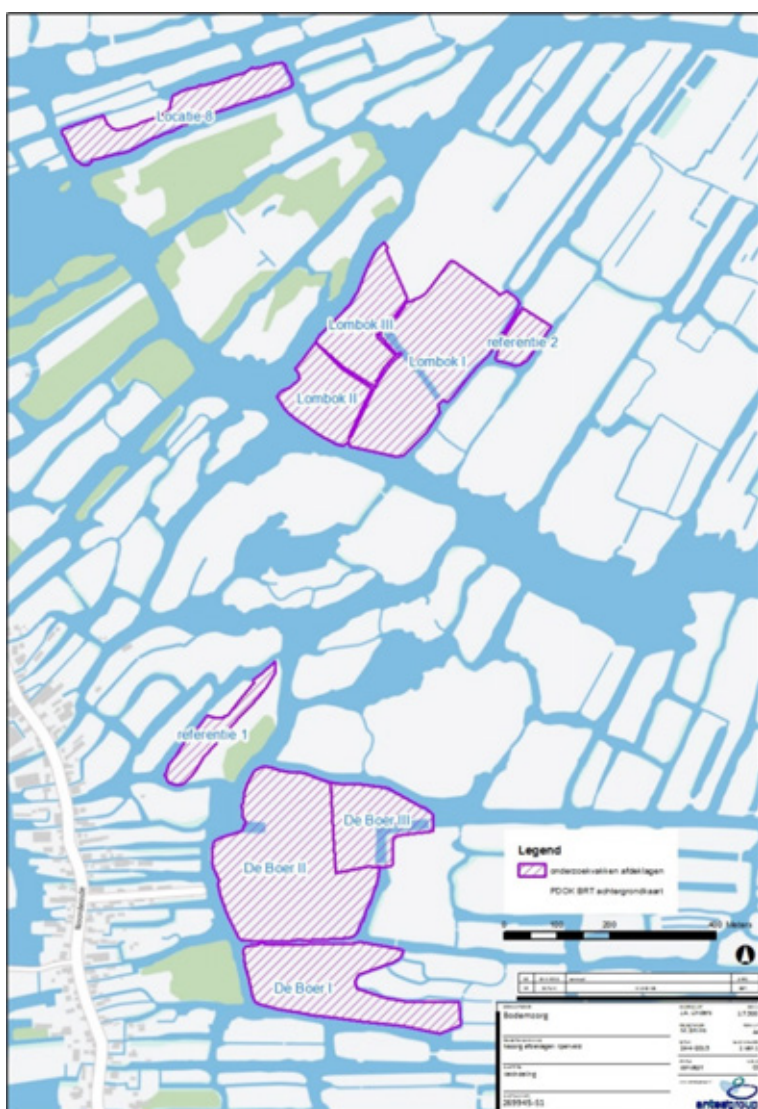
- Vaststellen langetermijnontwikkeling kwaliteit veevoer aan de hand van de bepalende eigenschappen van de bodem. Dit behelst vooral metingen aan metalen en zwavel in bodem en gras, rekening houdend met de variatie in een jaar (seizoensvariatie). Aan de hand van de resultaten kunnen dan – indien noodzakelijk – aanpassingen aan beheer (opbrengen bagger) doorgevoerd worden.
- Vaststellen in hoeverre de bodem- en gewaskwaliteit in Ilperveld generiek afwijkt van gemiddelde waarden in andere landbouwgebieden in Nederland. Dit maakt het mogelijk uitspraken te doen over gebiedsspecifieke waarden en evt. gebiedsspecifiek beleid t.a.v. acceptatie van afwijkende waarden in bodem en gewas.

## 2 Proeflocaties en aanpak bemonstering

### 2.1 Locatiekeuze

De keuze voor de te monitoren percelen is bepaald door de analyseresultaten uit het vooronderzoek (Bodemzorg, 2014) en het inventariserend onderzoek en gewasonderzoek in het kader van de evaluatie van de sanering (Antea Group - Alterra, 2014; resultaten in dit rapport opgenomen in bijlage 1). De locaties van monsternamen van grond, gewas en bio-indicatoren zijn op elkaar afgestemd, zodat resultaten zo goed mogelijk aan elkaar kunnen worden gekoppeld. De locaties en tijdstippen van monsternamen zijn in overleg met de betrokken partijen vastgesteld.

In totaal zijn negen locaties (waaronder twee referentiepercelen) geselecteerd. Op de onderstaande kaart zijn de geselecteerde locaties aangegeven. In tabel 1 is de saneringsaanpak van de verschillende deellocaties kort weergegeven.



**Figuur 1** Onderzoeklocaties die zijn opgenomen in deze studie.

**Tabel 1**      *Overzicht van deellocaties uit het onderzoek en voorgeschiedenis.*

Locatie	Sanering (jaar)	Aanpak
De Boer-I De Boer-II De Boer-III	2003-2013	<ul style="list-style-type: none"><li>• 2003-2004 egaliseren terrein; verwerken stortmateriaal overige stortlocaties; dempen bestaande sloten; inrichten als baggerdepot; oprichten kades</li><li>• 2005-2010 opbrengen klasse 3-4-specie; aanbrengen signaleringsdoek; aanbrengen leeflaag van klasse 0-1-2-bagger</li><li>• 2008-2013 omzetten baggerdepots naar land; ontmantelen kades; aanvullen leeflaag op noordelijke deel van De Boer II en III met categorie 1-materiaal van elders</li><li>• 2012-2013 terreininrichting; greppelen en inzaaien leeflaag; aanbrengen irrigatiesysteem</li></ul>
Locatie 8	2009-2013	<ul style="list-style-type: none"><li>• Egaliseren terrein, aanbrengen afdeklaag klasse 0-1-2-specie met geotubes; aanbrengen extra afdeklaag met categorie 1 grond van elders op de oostzijde; afwerken, greppelen en inzaaien leeflaag; aanbrengen irrigatiesysteem</li></ul>
Lombok-I Lombok-II Lombok-III	2005-2013	<ul style="list-style-type: none"><li>• 2005-2006 egaliseren terrein; verwerken stortmateriaal overige stortlocaties; dempen bestaande sloten</li><li>• 2005-2007 inrichten als baggerdepot; oprichten kades</li><li>• 2007-2012 opbrengen klasse 3-4-specie; aanbrengen signaleringsdoek; aanbrengen leeflaag van klasse 0-1-2-bagger</li><li>• 2008-2013 omzetten baggerdepots naar land; ontmantelen kades; aanvullen leeflaag schone specie met categorie 1-materiaal van elders</li><li>• 2012-2013 terreininrichting; greppelen en inzaaien leeflaag; aanbrengen irrigatiesysteem</li></ul>
REF-I	n.v.t.	n.v.t.
REF-II	n.v.t.	n.v.t.

## 2.2 Bemonsteringsprotocol

### 2.2.1 Algemeen

De bemonstering is in drie opeenvolgende jaren (2015-2017) uitgevoerd. Elke locatie, negen in totaal (zie tabel 1), is daartoe ingedeeld in drie aparte deelgebieden. Per deelgebied is in één jaar het bodemonderzoek uitgevoerd: in 2015 deelgebied 1, in 2016 deelgebied 2 en in 2017 deelgebied 3. Het gewasonderzoek dat drie keer per jaar is uitgevoerd, negen bemonsteringen in totaal, bestrijkt per jaar steeds deelgebied 1 t/m 3 waarbij per bemonsteringsronde (winter-vroege voorjaar, voorjaar-zomer en nazomer-herfst) steeds één deelgebied is onderzocht. De bemonstering van de wormen is steeds gebeurd ten tijde van de bodembemonstering.

### 2.2.2 Bemonstering Bodem

Voor de monstername van de bodem is de bovengrond (0-20 cm) van de afdeklaag bemonsterd. Hiertoe zijn in het betreffende deelgebied binnen een gebied van circa 25 vierkante meter 10 steken genomen. Vervolgens is 1 mengmonster gemaakt van deze 10 steken.

### 2.2.3 Bemonstering Gewas

De gewasmonsters zijn genomen door over een gebied van circa 25 vierkante meter, overeenkomend met het gebied van de bemonstering van de bodem, gras te knippen. In totaal is daarbij steeds circa 0,25 kg vers gras verzameld. Het gras wordt direct boven het maaiveld afgeknipt, wat representatief is voor het gras zoals dat door grazend vee gegeten wordt. Omdat het onderzoek vooral gericht is op het bepalen van de totale blootstelling voor grazend vee, is eventueel aanhangende grond dan ook niet verwijderd. Het gras is daarom ook niet gewassen na aankomst op het lab, maar in zijn geheel gedroogd en geanalyseerd.

## 2.2.4 Bemonstering Wormen

Voor het verzamelen van regenwormen is de afdeklaag van een gebied van circa 25 vierkant meter doorgraven. In totaal is circa 50 gram materiaal per monster verzameld. Dit is per jaar één keer gedaan, tegelijk met de bemonstering van de bodem. De wormen zijn dan ook steeds uit hetzelfde deelgebied bemonsterd als de bodem voor dat jaar. Daarbij zijn de wormen steeds uit de bovenste 20 tot 30 cm verzameld of, indien het textiel op minder dan 30 cm diep zat, uit de bodemlaag tot het afdektextiel. Daarbij is niet onderzocht of de wormen ook mogelijk in de grond onder de aangebrachte textiellaag aanwezig zijn. In eerste instantie is de verwachting dat de wormen, voor zover aanwezig, alleen in de opgebrachte laag aanwezig zijn.

In tabel 2 staat een overzicht van de uitgevoerde bemonsteringen gedurende de drie jaar dat het onderzoek is uitgevoerd.

**Tabel 2** Overzicht bemonsteringen.

Locatie	Onderdeel	Onderzocht	# locaties	# monsters per locatie	# meet-tijdstippen	totaal # monsters
DS1: De Boer	Ecologie	Regenwormen	3	2	3	18
	Landbouw	Bodem	3	2	3	18
		Gewas	3	2	9	54
DS3: Lombok	Ecologie	Regenwormen	3	2	3	18
	Landbouw	Bodem	3	2	3	18
		Gewas	3	2	9	54
DS5: locatie 8	Ecologie	Regenwormen	1	2	3	6
	Landbouw	Bodem	1	2	3	6
		Gewas	1	2	9	18
Referentie 1 en 2	Ecologie	Regenwormen	2	2	3	12
	Landbouw	Bodem	2	2	3	12
		Gewas	2	2	9	36

## 2.3 Overzicht uitgevoerde analyses en methoden

### 2.3.1 Algemeen

In tabel 3 staat een overzicht van de analyses die uitgevoerd zijn aan bodem, gewas en wormmonsters. Daarbij zijn algemeen gangbare methoden gevolgd, zoals ook toegepast in de standaardrisicobeoordeling wat betreft het totaalgehalte in de bodem (Aqua Regia). In aanvulling op de bepaling van het totaalgehalte en een aantal kentallen van de bodem (pH, organische stof) zijn ook het reactieve metaalgehalte en het beschikbare metaalgehalte bepaald door middel van een extractie met verdund salpeterzuur (0.43 N HNO<sub>3</sub>, Houba et al., 1997) en een verdunde zoutoplossing (0.01 M CaCl<sub>2</sub>, Houba et al., 1999). Het reactieve metaalgehalte is, anders dan het totaalgehalte, een maat voor de chemisch beschikbare hoeveelheid van metalen in de bodem. Een deel van de metalen zit nl. in een zodanige vorm in bodemmineralen dat ze niet beschikbaar zijn onder de chemische condities in de bodem (zie o.a. Römkens et al., 2009). De extractie met verdund HNO<sub>3</sub> extraheert alleen die metalen die chemisch beschikbaar zijn (Groenenberg et al., 2017). Deze methode wordt ook voorgesteld in het kader van de herziening normstelling bodem in Nederland om op termijn de extractie met Aqua Regia te vervangen (Lijzen et al., 2015). De bepaling met 0.01 M CaCl<sub>2</sub> (of varianten daarvan, zoals 0.001 M CaCl<sub>2</sub> of 0.002 M Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) dient om de *actuele* beschikbaarheid te bepalen. Niet alle metalen die chemisch beschikbaar zijn (zoals gemeten met 0.43 HNO<sub>3</sub>) zijn te allen tijde opneembaar voor planten en of bodemorganismen, omdat een groot deel gebonden zit aan de bodemdeeltjes en slechts voor een (klein) deel in het bodemvocht. Met een 0.01 M CaCl<sub>2</sub>-extractie wordt beoogd alleen dat deel van de metalen in de bodem te meten die op een gegeven moment in de bodemoplossing aanwezig zijn en dus direct beschikbaar zijn (Harmsen en Naidu, 2013). Tot slot is ook de hoeveelheid opgelost koolstof bepaald (Dissolved Organic Carbon, DOC), omdat deze zeker

voor koper een rol speelt bij de beschikbaarheid. Omdat koper, meer dan bijvoorbeeld cadmium of zink, aan organische stof bindt, kan bij hoge DOC-gehalten ook de totale hoeveelheid aan koper in oplossing toenemen. Anderzijds geldt dat bij hoge DOC-gehalten een groot deel van het koper in oplossing daaraan gebonden is en daarmee weer minder beschikbaar is voor opname door planten en/of bodemorganismen.

**Tabel 3** Overzicht van uitgevoerde analyses in 2015, 2016 en 2017.

Analyse	Bodem			Gras			Worm		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017
Organische stof	x	x	x	-	-	-	-	-	-
pH	x	x	x	-	-	-	-	-	-
Opgelost koolstof	x	x	x	-	-	-	-	-	-
Totaal metaal gehalte	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Reactief metaalgehalte	x	x	x	-	-	-	-	-	-
Beschikbaar metaalgehalte	x	x	x	-	-	-	-	-	-
Droge stof %	-	x	x	x	x	x	-	-	-

### 2.3.2 Bodemanalyses

In tabel 4 staat een overzicht van de toegepaste methoden voor de bepaling van de genoemde bodemeigenschappen en/of metaalgehalten. Alle analyses zijn uitgevoerd aan gedroogde (48 uur op 40 graden in stoof) en gezeefde monsters (< 2 mm). Na droging is van elk grondmonster een submonster genomen van p.m. 200 gram, dat vervolgens in afgesloten plastic schroefcontainers is bewaard voor analyse.

**Tabel 4** Overzicht van methoden voor bodemanalyses<sup>1</sup>.

Bepaling	Methode (referentie)
Organische stof	Gloeiverlies bij 550 graden
pH	Bepaling pH in 1:10 (m:v) 0.01 M CaCl <sub>2</sub> -extract
Opgelost koolstof	Bepaling totaal opgelost koolstof in 1:10 (m:v) 0.01 M CaCl <sub>2</sub> -extract
Totaal metaal gehalte	Bepaling totaalgehalte na destructie in Aqua Regia middels analyse met ICP-AES
Reactief metaalgehalte	Bepaling reactief metaalgehalte na 1:10 (m:v) extractie in 0.43 N HNO <sub>3</sub>
Beschikbaar metaalgehalte	Bepaling gehalten aan metalen in 1:10 (m:v) 0.01 M CaCl <sub>2</sub> extract

<sup>1</sup> Uitgevoerd volgens de standaardwerkvoorschriften van het CBLB van Wageningen Universiteit.

### 2.3.3 Gewas- en wormanalyses

Voor de gewasmonsters geldt dat ze na aanlevering op het laboratorium eerst op 70 graden gedroogd zijn, een deel van de monsters is eerst gewogen voor de bepaling van het drogestofgehalte. Na 72 uur drogen zijn de gewasmonsters gemalen in contaminatievrije molens (titanium) tot poeder. Dit is gebruikt om het totaalgehalte in de gewassen te bepalen. De grasmonsters zijn *ongewassen* gedroogd, omdat onder veldomstandigheden de dieren ook de aanhangende grond binnenkrijgen. De wormmonsters zijn na aankomst eerst gesplitst in twee aparte submonsters en vervolgens gespoeld om de aanhangende grond grotendeels te verwijderen. Na het spoelen zijn de wormen gevriesdroogd en vervolgens tot poeder gemalen voor destructie. Zowel gras- als wormmonsters zijn volgens hetzelfde procedé gedestruerd (magnetron) voor de bepaling van de totaalgehalten m.b.t. ICP-AES.

**Tabel 5** Overzicht van methoden voor gewasanalyses.

Bepaling	Methode (referentie)
Totaal metaalgehalte	Bepaling totaalgehalte na destructie in Aqua Regia middels analyse met ICP-AES
Drogestofbepaling	Gewichtsverlies na drogen bij 70 graden t.o.v. vers gewicht

---

## 3 Resultaten bodem-, gewas- en ecologische bemonstering

### 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk staan alle resultaten die gedurende het project verzameld zijn. Daarbij presenteren we de resultaten per jaar in aparte subparagrafen (3.2 t/m 3.4) die tevens dienen als voortgangsrapportage voor dat betreffende jaar. In paragraaf 3.5 zullen uiteindelijk de resultaten van 2015, 2016 en 2017 geïntegreerd worden.

### 3.2 Resultaten 2015

In deze paragraaf bespreken we de resultaten van het eerste bemonsteringsjaar. In 2015 zijn in juni, september en november monsters genomen van bodem (alleen in juni), gras (drie bemonsteringsronden) en wormen (september en november). In tabel 6 staat een overzicht van bemonsteringsdata en aantallen monsters die genomen zijn (grond, gras en worm) met bijbehorende locatie.

**Tabel 6** Overzicht van bemonsteringsdata en aantallen monsters in 2015.

Datum	Bodem	Gewas	Wormen
9 juni	18 <sup>1</sup>	18	0
23 september	0	18	6 <sup>2</sup>
19 november	0	18	2 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Negen locaties in duplo.

<sup>2</sup> Locaties in enkelvoud bemonsterd, verse monsters gesplitst en in duplo geanalyseerd.

<sup>3</sup> Locaties in enkelvoud bemonsterd.

### 3.2.1 Overzicht bodem data

In tabel 7 staan de resultaten van het bodemonderzoek uit juni.

**Tabel 7** Overzicht van bodemeigenschappen en de gemiddelde gehalten aan koper, zink, molybdeen en zwavel in de bodem (2015).

Locatie	Organische Stof %	pH pH CalC <sub>2</sub>	DOC mg C L <sup>-1</sup>	Totaalgehalten (Aqua Regia)			
				Cu	Zn	Mo	S
				mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>
De Boer-I	33	7.2	38	80	308	3.2	8.3
De Boer-II	26	7.2	40	45	180	1.6	6.4
De Boer-III	39	7.1	55	79	228	2.2	12.9
Locatie 8	35	7.1	34	107	280	1.4	9.1
Lombok-I	29	7.1	34	56	245	1.7	6.3
Lombok-II	58	4.8	62	78	271	1.8	19.4
Lombok-III	37	6.9	38	55	239	1.6	10.8
REF-I	48	4.4	121	73	164	2.3	6.3
REF-II	60	4.3	159	63	104	4.6	7.5

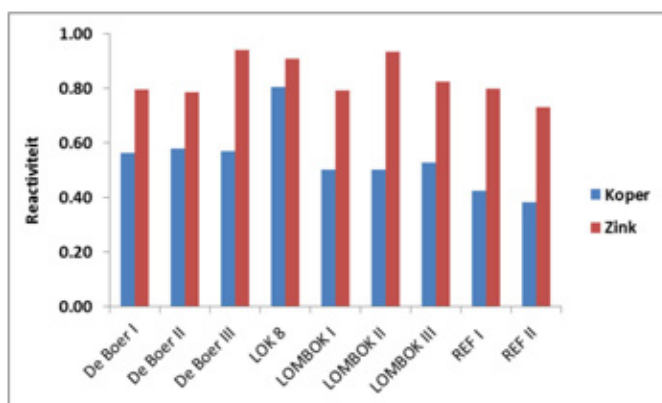
Locatie	Reactieve Fractie (0.43 N HNO <sub>3</sub> )			Beschikbare fractie (0.01M CaCl <sub>2</sub> )			
	Cu	Zn	Mo	Cu	Zn	Mo	S
	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	µg L <sup>-1</sup>	µg L <sup>-1</sup>	µg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>
De Boer-I	45	245	0.04	10.4	21	4.1	10.8
De Boer-II	26	141	0.08	8.0	17	4.9	151.0
De Boer-III	45	214	0.06	8.8	31	7.3	414.9
Locatie 8	86	254	0.02	10.6	56	2.3	191.2
Lombok-I	28	194	0.05	7.1	31	4.1	23.5
Lombok-II	39	253	0.03	7.9	1746	0.3	430.7
Lombok-III	29	197	0.04	4.9	37	2.9	300.4
REF-I	31	131	0.13	19.7	1106	0.4	20.6
REF-II	24	76	0.14	27.4	745	3.6	36.7

#### Conclusies bodemonderzoek 2015 (gegevens in tabel 7):

- Alle gronden hebben hoge organischestofgehalten (veengrond), variërend van 29 tot 60%.
- De zuurgraad verschilt sterk, waarbij drie locaties (Lombok II, en de beide Referentiepercelen) een sterk afwijkende, lage pH (4.3-4.8) hebben ten opzichte van de neutrale pH (6.8-7.2) in de andere percelen. De reden voor deze sterk afwijkende waarden is niet duidelijk.
- De zwaremetaalgehalten aan koper en zink zijn weliswaar verhoogd vergeleken met de achtergrondwaarden die in veengronden aangetroffen worden (bron: geochemische atlas Nederland), maar worden als zodanig in veengebieden in Zuid- en Noord-Holland vaker aangetroffen. Daarmee bevestigen ze de eerder aangetroffen waarden (rapportage Gewasonderzoek IJperveld Antea Group-Alterra 2014). De hier gerapporteerde ranges komen vrijwel overeen met de range in het onderzoek uit 2014. Overschrijdingen van de Interventiewaarden zijn daarbij niet geconstateerd.
- De gehalten in de onderzoekspercelen zijn ook hoger dan die in de beide referentiepercelen, m.n. voor zink. Voor koper (en molybdeen) zijn de gehalten in de onderzoekslocatie echter hetzelfde als die in de referentiepercelen, wat erop duidt dat er voor koper geen specifieke aanrijking is geweest (in de bovengrond). Wat de bron van de zinkgehalten in de referentiepercelen is, kan op basis van deze metingen niet achterhaald worden.

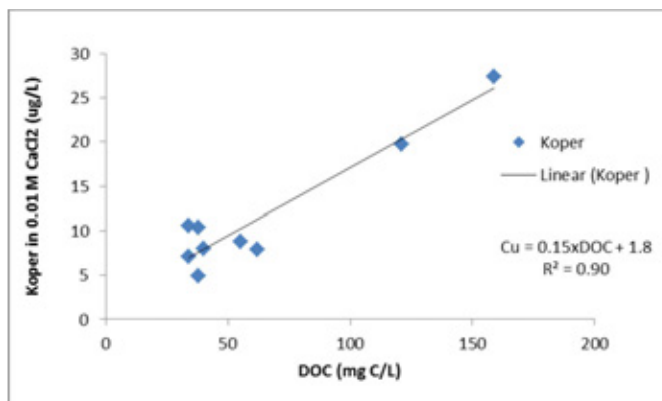


- De chemische reactiviteit van zink, hier gedefinieerd als de verhouding tussen de hoeveelheid gemeten met 0.43 N HNO<sub>3</sub> en Aqua Regia, is hoog (83% gemiddeld, zie figuur 2), wat aangeeft dat het zink in de bodem beschikbaar is voor opname door planten en organismen.



**Figuur 2** Reactiviteit van koper en zink in de onderzoeklocaties en referentie (gemiddelde waarden van twee metingen per locatie).

- Voor koper is de reactiviteit lager (gem. 54%), wat aangeeft dat ruwweg de helft van de totale hoeveelheid koper in de bodem niet beschikbaar is voor opname door planten en of bodemorganismen.
- De actuele beschikbaarheid (fractie beschikbaar voor gewasopname en organismen) van zowel koper als zink wordt in hoge mate bepaald door een combinatie van pH en DOC. Daarbij neemt de zinkconcentratie (meer dan koper) in het CaCl<sub>2</sub>-extract ('bodenvocht') vooral toe bij een lage pH, terwijl voor de koperconcentratie geldt dat deze in hoge mate bepaald wordt door de oplosbase fractie van organische stof (zie figuur 3). Dit verschil tussen koper en zink is het gevolg van de hoge(re) affiniteit van koper voor binding aan organische stof.



**Figuur 3** Relatie tussen DOC en koper in CaCl<sub>2</sub>-extract ('bodenvocht').

- De koperconcentraties in het CaCl<sub>2</sub>-extract in de onderzoekpercelen zijn vrijwel identiek aan de waarden uit het landelijk onderzoek in veengronden (P50 landelijk veen: 9.3 µg L<sup>-1</sup>), terwijl deze juist in de referentiepercelen hoger zijn (gem REF-perceel 23.6) als gevolg van de lage pH en de hoge DOC-gehalten. Dit illustreert dat voor metalen de invloed van de bodemeigenschappen (zuurgraad, DOC) veel bepalender is dan het totale of zelfs reactieve gehalte aan metalen in de bodem.

- Voor zink zijn de gehalten in de sterk zure onderzoeklocaties (Lombok II en beide referentiepercelen) sterk verhoogd ten opzichte van de gehalten in de percelen met neutrale pH. Ofschoon dergelijk sterk verhoogde waarden ook in het landelijk onderzoek in veengronden aangetroffen zijn (maximale waarde landelijk onderzoek: 2970  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), kan dit wel leiden tot verhoogde gehalten in het (bovenste) grondwater indien dit gemeten wordt onder percelen die dergelijke lage pH-waarden hebben. Juist de sterke ruimtelijk variatie in pH kan dus leiden tot sterk wisselende metingen in het bovenste grondwater.
- De neutrale pH in zes van de negen onderzochte locaties leidt er ook toe dat de beschikbaarheid voor zink laag is, ondanks de verhoogde totaal- en reactieve gehalten.
- Voor molybdeen, dat als anion in het bodemvocht aanwezig is, geldt dat de concentratie juist toeneemt bij een hogere pH en niet of nauwelijks beïnvloed wordt door DOC.

### 3.2.2 Overzicht gewasdata 2015

In 2015 zijn in totaal op drie momenten monsters van gras genomen, in juni, september en november. In tabel 8 staan de gemiddelde gehalten aan koper, zwavel en molybdeen van de onderzochte stoffen per locatie en monsterdatum. In tabel 9 staan de gemiddelde drogestofpercentages per locatie en monsterdatum. Een overzicht van alle data staat in appendix 1.

**Tabel 8** Overzicht van gemiddelde gehalten aan koper, zwavel en molybdeen in gras.

Locatie	Cu mg kg <sup>-1</sup>			Mo mg kg <sup>-1</sup>			S g kg <sup>-1</sup>		
	Juni	September	November	Juni	September	November	Juni	September	November
De Boer-I	5.1	6.7	10.7	1.9	3.8	2.6	3.5	4.0	3.3
De Boer-II	6.7	9.0	12.4	5.1	4.3	4.1	4.1	5.8	4.1
De Boer-III	4.3	5.9	13.2	4.9	8.1	6.7	2.5	4.2	3.3
Locatie 8	9.2	8.3	8.8	2.1	2.9	1.8	4.7	3.5	3.3
Lombok-I	6.1	11.0	12.3	1.3	4.6	2.8	3.0	5.2	5.7
Lombok-II	5.6	10.7	12.3	1.3	3.3	2.1	3.6	6.3	4.8
Lombok-III	6.9	9.9	11.7	2.3	4.1	2.2	4.6	5.6	5.7
REF-I	9.4	7.7	9.5	5.6	4.6	4.9	3.4	2.1	2.4
REF-II	6.2	9.0	9.8	3.7	6.4	6.5	2.4	2.5	3.4

**Tabel 9** Gemiddeld drogestofpercentage in gras van de onderzochte locaties.

Locatie	Drogestofgehalte %		
	Juni	September	November
De Boer-I	24	19	20
De Boer-II	23	17	18
De Boer-III	26	17	21
Locatie 8	30	17	20
Lombok-I	24	13	17
Lombok-II	20	15	21
Lombok-III	21	15	20
REF-I	24	27	22
REF-II	28	15	18

### Conclusies gewasonderzoek 2015 (data tabel 8 en tabel 9):

- De gehalten aan koper in gras zijn laag (juni) tot normaal (september) en licht verhoogd (november) wanneer deze vergeleken worden met de gemiddelde waarden voor deze metalen in gras zoals gerapporteerd voor Nederlandse bedrijven (Smolders, 2003). Deze trend in kopergehalte, d.w.z. stijgende gehalten gedurende het jaar, is normaal (Smolders, 2003) en het gevolg van zowel veranderingen in temperatuur (meer verdamping) als van, in november, een grotere kans op aanhangende grond aan gras door vertrapping en opspatten.
- De gehalten zijn iets lager dan tijdens het eerste onderzoek in 2014 en liggen zonder uitzondering (ook de individuele metingen) onder de gewasnorm van 15 mg kg<sup>-1</sup>.
- De gehalten aan koper in gras worden niet door de gehalten aan koper in de bodem bepaald; binnen de hier aangetroffen range aan totale, reactieve of beschikbare gehalten in de bodem en bijbehorende bodemeigenschappen (m.n. pH en organische stof) kan geen relatie tussen hetzij het totaal, reactieve of beschikbare gehalte in de bodem en dat in gras vastgesteld worden. Of en zo ja, in welke mate, gehalten in gras zullen stijgen indien de kopergehalten in de bodem veel hoger zijn dan hier aangetroffen, is op basis van de monitoringsgegevens niet af te leiden.
- De gehalten aan molybdeen en zwavel, die mede de opneembaarheid van koper voor schapen bepalen, liggen in dezelfde orde van grootte als die in het aanvullend onderzoek Ilperveld in 2014 zijn bepaald (molybdeen 2014: 0.8-4 mg kg<sup>-1</sup>; zwavel-2014: 2.6-6.0 mg kg<sup>-1</sup>). Daarmee liggen de gehalten aan beide elementen in de normale range voor Nederland (Boer en Hin, 2003). Voor molybdeen variëren de Nederlandse data van 1 tot 6.2 mg kg<sup>-1</sup> d.s. (gem. 2.5 mg kg<sup>-1</sup> d.s.), terwijl dat voor zwavel varieert van 3.0 tot 5.3 mg kg<sup>-1</sup> (gem. ± 3.5 mg kg<sup>-1</sup>).
- De absorptiecoëfficiënt (mate van beschikbaarheid van koper in gras) varieert van 1,9% in de monsters van september tot 2,8% in de monsters van mei. Deze is daarmee vergelijkbaar met de waarden uit eerder onderzoek in 2014. De variatie in deze coëfficiënt is beperkt (min. 0,7, max. 6,2%) en de variatie is niet gekoppeld aan bepaalde locaties.
- De beschikbare hoeveelheid koper in gras (= absorptiecoëfficiënt \* koper gehalte in gras) varieert van 0.16 mg kg<sup>-1</sup> (in juni) tot 0.26 mg kg<sup>-1</sup> (in november) gemiddeld over alle locaties. Deze waarden zijn vergelijkbaar met het onderzoek uit 2014 en geven geen aanleiding tot een verhoogde inname door schapen door het eten van gras.
- Op basis van deze gehalten aan koper in gras en de berekende absorptiecoëfficiënt is er, ondanks de toename van het gehalte aan koper gedurende het jaar (juni-november) in 2015 geen sprake van verhoogde blootstelling aan koper door schapen via inname van gras.

### 3.2.3 Overzicht metingen in wormen

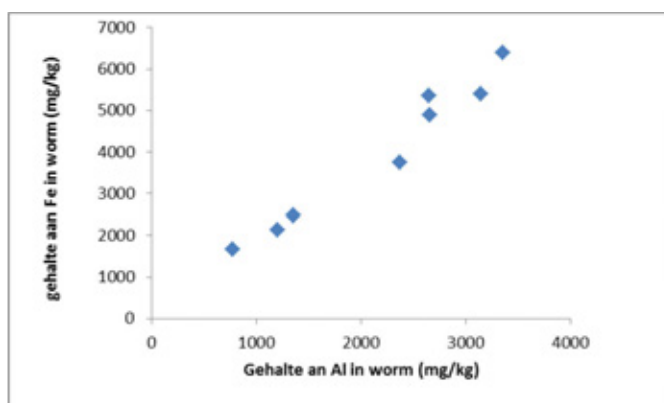
In tabel 10 staan de resultaten van de metingen in de wormen. Tijdens de tweede bemonstering (september) bleek het niet mogelijk om van alle onderzoeklocaties voldoende materiaal te verkrijgen. De reden voor de afwezigheid van grotere aantallen wormen is niet duidelijk, dit kan een tijdelijk effect zijn of een lokaal effect. Van twee locaties (De Boer 2 en REF2) zijn daarom in november alsnog monsters verzameld. Van de onderzochte locaties zijn, in tegenstelling tot de grasmonsters geen duplo mengmonsters genomen. Wel zijn de monsters in het lab gesplitst om de heterogeniteit binnen het monster vast te stellen. In tabel 10 staan de gemiddelde waarden, alle metingen staan in appendix 1. Naast de gehalten aan koper en zink is het gehalte aan aluminium (Al) en ijzer (Fe) bepaald om enig inzicht te krijgen of koper en zink specifiek opgenomen worden of vooral via grondinname door de worm.

**Tabel 10** Overzicht van de gehalten aan aluminium, ijzer, koper en zink in wormen bemonsterd in september en november.

Locatie	n	Al mg kg <sup>-1</sup>	Fe mg kg <sup>-1</sup>	Cu mg kg <sup>-1</sup>	Zn mg kg <sup>-1</sup>
De Boer-I	2	2650	4887	33	682
De Boer-II	1	2365	3736	19	433
De Boer-III	2	1349	2484	21	541
Locatie 8	-	-	-	-	-
Lombok-I	2	3141	5405	24	467
Lombok-II	2	3349	6385	30	560
Lombok-III	2	2646	5365	36	782
REF-I	2	775	1667	23	416
REF-II	1	1197	2135	16	415

**Conclusies onderzoek aan gehalten aan metalen in wormen 2015 (data tabel 10):**

- De variatie aan de gehalten koper en zink in wormen is beperkt en niet gerelateerd aan verschillen in gehalten (totaal of reactief) dan wel beschikbaarheid (CaCl<sub>2</sub>), de gehalten in wormen uit de referentiepercelen, met de hoogste gemeten beschikbaarheid, zijn gemiddeld lager dan die in wormen uit de percelen met een veel lagere beschikbaarheid.
- De gehalten aan aluminium en ijzer in wormen zijn zeer sterk aan elkaar gerelateerd (zie figuur 4), conform de relatie tussen beide metalen die ook in grond aangetroffen wordt. Dit illustreert daarmee de ingestie van grond door de worm.
- De interne gehalten aan koper en zink *in* de worm zijn echter niet (voor aluminium) of zeer zwak (ijzer) gerelateerd aan hetzij ijzer of aluminium in de bodem, wat suggereert dat de opname en gehalten aan beide elementen (koper en zink) *niet* uitsluitend bepaald wordt door inname van grond alleen. Als dat het geval zou zijn, zou er ook een sterk verband tussen koper (of zink) in worm en het gehalte in de grond (of de variatie daarin) moeten zijn.
- De gehalten aan koper in worm zijn gemiddeld *lager* dan die in de bodem (verhouding koper-worm t.o.v. bodem 0.3-0.7), terwijl de gehalten aan zink juist hoger zijn dan die in de bodem (verhouding zink worm t.o.v. bodem 1.9 tot 4). Dit suggereert dat wormen zink preferentieel opnemen, terwijl koper juist buitengesloten wordt.



**Figuur 4** Relatie tussen gehalten aan aluminium en ijzer in regenwormen.

### 3.2.4 Blootstelling van schapen aan koper als gevolg van inname van grond en gras

Een van de doelen van het onderzoek is vast te stellen of er in de onderzoeklocaties sprake is van onaanvaardbare blootstelling aan koper voor schapen. De totale blootstelling wordt daarbij vooral bepaald door de inname van grond en gras, waarbij de aanname is dat dit het merendeel inname van voer betreft. Analooq aan de berekeningen in de rapportage uit 2014 berekenen we de dagelijkse inname door schapen als volgt:

$$\text{Totale inname} = M_{\text{bodem}} * Cu_{\text{bodem}} + M_{\text{gras}} * Cu_{\text{gras}} \quad [1]$$

Hierbij is  $M_{\text{bodem}}$  en  $M_{\text{gras}}$  de inname van de hoeveelheid bodem of gras en  $Cu_{\text{bodem}}$  of  $Cu_{\text{gras}}$  is het gehalte in bodem of gras.

De toelaatbare inname wordt daarbij berekend op basis van de huidige norm in de bodem (LAC-2006: 30 mg kg<sup>-1</sup>) en de norm voor gras (voor schaaq: 15 mg kg<sup>-1</sup> d.s.). Voor schapen is dat een relatief conservatief (streng) criterium, omdat deze grens specifiek geldt voor het ras Texelaar, dat bekendstaat als zeer gevoelig voor koper. Omdat op voorhand niet bekend was welke schapenrassen er in het gebied veel voorkomen, maar ook om een voor alle rassen veilige beoordeling uit te voeren, is gekozen voor de norm van 15 mg kg<sup>-1</sup>. Wanneer we verder geen rekening houden met de chemische beschikbaarheid van koper in de bodem, d.w.z. die stellen we op 100%, dan resulteert dat in een ADI (Acceptable Daily Intake) van 0.51 mg Cu kg<sup>-1</sup> lichaamsgewicht (aanname: M-schaaq is 80 kilo). Deze waarde is ook in 2014 gehanteerd. Een van de factoren die de hoogte van de blootstelling aan koper via de bodem sterk beïnvloedt, is de mate van beschikbaarheid. In deze studie hebben we de beschikking over de HNO<sub>3</sub>-extractiedata die representatief zijn voor dat deel van het koper dat beschikbaar is voor schaaq. De data in bodem en gewas die gehanteerd zijn bij de berekening van de blootstelling staan in tabel 11. In tabel 12 staan daarom twee berekeningen van de inname en de daaruit volgende risico-index gedefinieerd als de inname gedeeld door de ADI. De eerste is op basis van het totaalgehalte in de bodem (Aqua Regia) en de tweede is op basis van de HNO<sub>3</sub>-extractie. Daarbij is wel steeds dezelfde ADI gehanteerd, deze is dus niet gecorrigeerd voor beschikbaarheid (worst case).

**Tabel 11** Gehanteerde gehalten in bodem (mg kg<sup>-1</sup>) en gewas (mg kg<sup>-1</sup> d.s.) voor de berekening van de blootstelling.

Locatie	Gras			Bodem		
	Juni	September	November	Aqua Regia	HNO <sub>3</sub>	Ratio HNO <sub>3</sub> -AR
De Boer-I	5.1	6.7	10.7	79.5	45.2	0.57
De Boer-II	6.7	9.0	12.4	44.5	25.8	0.58
De Boer-III	4.3	5.9	13.2	78.5	45.2	0.58
Locatie 8	9.2	8.3	8.8	106.5	85.9	0.81
Lombok-I	6.1	11.0	12.3	55.5	28.0	0.50
Lombok-II	5.6	10.7	12.3	77.5	39.0	0.50
Lombok-III	6.9	9.9	11.7	54.5	29.4	0.54
REF-I	9.4	7.7	9.5	73.0	31.5	0.43
REF-II	6.2	9.0	9.8	62.5	24.0	0.38
Minimum	4.3	5.9	8.8	44.5	24.0	0.38
Gemiddeld	6.6	8.7	11.2	70.2	39.3	0.54
Maximum	9.4	11.0	13.2	106.5	85.9	0.81

**Tabel 12** Berekende risico-index (dimensieloos) voor de inname van koper.

Locatie	Op basis van Aqua Regia			Op basis van HNO <sub>3</sub>		
	Juni	September	November	Juni	September	November
De Boer-I	0.51	0.61	0.86	0.42	0.53	0.77
De Boer-II	0.52	0.66	0.88	0.47	0.62	0.83
De Boer-III	0.46	0.56	1.01	0.38	0.48	0.93
Locatie 8	0.83	0.77	0.80	0.78	0.72	0.75
Lombok-I	0.51	0.81	0.89	0.44	0.75	0.83
Lombok-II	0.53	0.85	0.95	0.44	0.75	0.85
Lombok-III	0.56	0.74	0.86	0.50	0.68	0.79
REF-I	0.76	0.66	0.77	0.65	0.55	0.66
REF-II	0.53	0.71	0.76	0.44	0.61	0.66
Minimum	0.46	0.56	0.76	0.38	0.48	0.66
Gemiddeld	0.58	0.71	0.86	0.50	0.63	0.79
Maximum	0.83	0.85	1.01	0.78	0.75	0.93

**Conclusies ten aanzien van blootstellingsberekening voor schapen 2015:**

De data in tabel 12 laten zien dat de risico-index door inname van gras en grond varieert van pm. 0.5 tot 1.0. Gedurende het seizoen is te zien dat de inname toeneemt, wat het gevolg is van de stijging van de gehalten in gras. Daarbij zien we dat het verschil tussen de referentielocaties en de onderzoeklocaties iets toeneemt. Dit is het gevolg van de – lichte – stijging van de gehalten in gras die sterker is in de onderzoeklocaties en minder te zien is in de referentielocaties. Wanneer de inname berekend wordt aan de hand van de reactieve metaalgehalten daalt deze licht. De beperkte afname is het gevolg van het grote aandeel van de inname door gras. Gemiddeld varieert het aandeel van de inname van koper via gras tussen 70% en 90% (data niet getoond), waardoor de correctie voor reactiviteit op de inname van bodem niet leidt tot een substantiële daling van de totale inname.

Op basis van deze data blijkt dat de *jaargemiddelde* inname via gewas en bodem niet leidt tot een overschrijding van de ADI. Door de stijging van de gehalten in gras in de winterperiode kan er gedurende deze periode wel sprake zijn van een verhoogde blootstelling. Naar verwachting zal deze blootstelling weer afnemen na de winterperiode. De data uit de volgende bemonsteringsronden zullen dit moeten uitwijzen.

**3.2.5 Risico's voor doorvergiftiging**

De resultaten van de analyse van doorvergiftiging en de effecten van opname van koper door wormen worden in paragraaf 3.4.3 op basis van alle data (2015-2017) samengevat.

**3.2.6 Toetsing doelstellingen**

Bij aanvang van het project zijn de volgende vijf doelen-onderzoeksvragen benoemd. De data uit 2015 gebruiken we hier om een *voorlopig* beeld te schetsen ten aanzien van de doelen. Het project kent juist een driejarige opzet, omdat een deel van de effecten en/of de variatie pas op langere termijn (= tussen jaren) is vast te stellen. Na elke doel-onderzoeksvraag staat een aantal aspecten genoemd die in 2016 aandacht vragen.

**Doelen-onderzoeksvragen m.b.t. natuurontwikkeling en ecologische risico's:**

*Is er een effect op het functioneren van regenwormen als maat voor directe ecologische effecten in de bodem zelf?*

**Resultaten 2015**

In 2015 is er geen significant verschil vastgesteld in het gehalte aan koper in regenwormen tussen de referentiegebieden (gem.: 20 mg kg<sup>-1</sup>) en de onderzoeklocaties (gem. 28 mg kg<sup>-1</sup>). De variatie in de gehalten in de onderzoeksgebieden is wel groter (Cu-worm 19 – 36 mg kg<sup>-1</sup>). Het is dus niet te verwachten dat er verschillen zijn tussen het functioneren van regenwormen in de referentiegebieden

en de onderzoeklocaties. Het zinkgehalte in de worm in de referentiegebieden is wel lager dan dat in de wormen van de onderzoeklocaties (Zn-worm-ond loc.:  $578 \text{ mg kg}^{-1} \pm 132$ ; Zn-worm-ref.:  $416 \pm 1$ ). De gevonden gehalten in de worm, zowel voor koper als zink, liggen in dezelfde orde van grootte als in de literatuur (o.a. Hobbelen et al. 2006). Op basis van berekende LC50-waarden (Qiu et al., 2013) voor een bodem rijk aan organische stof liggen de bodemgehalten in het Ilperveld beneden de risiconiveaus.

#### Aandachtspunten 2016

- vaststellen of gehalten in wormen gelijk blijven (monitoring);
- vergelijken van interne gehalten met (in de literatuur afgeleide) interne kritische gehalten;
- nagaan of interne gehalten in wormen te relateren zijn aan combinaties van bodemeigenschappen.

*Is er sprake is van verhoogde doorvergiftigingsrisico's aan de hand van voedselpatronen van dieren die wormen eten (m.n. weidevogels en roofvogels)?*

#### Resultaten 2015

De inname via wormen door hetzij vogels dan wel bodemorganismen (mollen) verschilt niet tussen de referentiegebieden en de onderzoeklocaties. Ook de totale inname via grond is niet onderscheidend (geen significant verschil in totaal kopergehalte tussen referentie en onderzoeklocaties). De reactiviteit van het koper is in de onderzoeklocaties iets hoger ( $43 \text{ mg kg}^{-1}$  t.o.v.  $28 \text{ mg kg}^{-1}$ ) dan in de referentiegebieden. Blijkbaar leidt dit verschil echter niet tot verschillen in opname door de worm. In 2016 zal nader ingegaan worden op de opname door weidevogels (o.a. vergelijking met andere gebieden in NL, o.a. het Veenweidegebied).

#### Aandachtspunten 2016

- Opname van mollen en vogels vaststellen met model BERISP en vergelijken met kritische inname.

*In welke mate wijken de effecten van de verhoogde gehalten in de bodem in referentiepercelen af van die in percelen met bagger?*

#### Resultaten 2015

De data uit 2015 laten zien dat er gemiddeld geen verschil is tussen de referentie en percelen met bagger. Wel is uiteraard de spreiding binnen de met bagger behandelde percelen groter (koper-totaal varieert van 45 tot 107 t.o.v. de variatie van 63-73 in de referentiepercelen). De afwijking tussen de waarden in de referentiepercelen en de baggerpercelen is echter niet zo groot dat dit tot substantiële verschillen in effecten leidt. Bovendien blijkt uit de resultaten van 2015 dat de zuurgraad in de meeste met bagger behandelde percelen hoger is (gemiddeld 6.8 met 1 perceel met een lage pH, Lombok II) t.o.v. de referentie (gem. pH 4.4), wat leidt tot veel lagere gemiddelde beschikbaarheid (gemeten met  $\text{CaCl}_2$ ) in de met bagger behandelde percelen dan in de referentiepercelen).

#### Aandachtspunten 2016

- nagaan of lage pH-waarden nog van invloed zijn op beschikbaarheid en opname van koper door wormen en gewassen;
- monitoring of hoge pH waarden in bagger percelen constant blijven. Daling van pH kan leiden tot hogere beschikbaarheid-opname.

#### **Doelen-onderzoeksvragen m.b.t. Landbouw:**

*Is er variatie (korte en lange termijn) in de kwaliteit van veevoer die mogelijk aanleiding geeft tot gewijzigd (bagger)beheer?*

#### Resultaten 2015

In 2015 was de kwaliteit van het veevoer in de referentiepercelen in de eerste twee monsternames vrijwel gelijk aan die van de met bagger behandelde percelen. Inname van koper via gras in de periode juni-september is daarom vergelijkbaar. In de winterperiode (data november) zijn de gehalten aan koper in gras hoger dan in de referentiepercelen, maar voldoen nog wel aan de norm voor veevoer voor schapen. De vervolgmonitoring in 2016 en 2017 moet aantonen of dat beeld gehandhaafd blijft en of er in de loop der jaren verschillen in opname van koper gaan ontstaan, mede doordat de bodem rijpt. De

---

mate van rijping is nl. wel verschillend tussen de referentiepercelen en de met bagger behandelde percelen, wat onder andere blijkt uit de hogere zwavelgehalte in het poriewater in de baggerpercelen (gem. 217 mg L<sup>-1</sup>) t.o.v. die in de referentiepercelen (gem. 29 mg L<sup>-1</sup>).

#### Aandachtspunten 2016

- Vaststellen of rijping van bagger leidt tot verandering in de actuele beschikbaarheid van koper door veranderingen in onder meer zwavel en pH en effecten daarvan op de opname van koper door wormen en gras.

*Wijken de bodem- en gewaskwaliteit in Ilperveld generiek af van de gemiddelde waarden in andere landbouwgebieden in Nederland en is er daarom aanleiding tot het afleiden van gebiedsspecifieke (achtergrond) waarden en evt. gebiedsspecifiek beleid t.a.v. acceptatie van afwijkende waarden in bodem en gewas?*

#### Resultaten 2015

De gehalten aan koper en zink liggen gemiddeld gezien hoger dan in niet-belaste veengebieden. Daarbij vallen de gehalten aan zink nog wel ruim binnen de verdeling van waarnemingen, maar liggen de gehalten aan koper in dezelfde orde van grootte of boven de maximaal aangetroffen waarden van het landelijke onderzoek. Vergeleken met andere historisch belaste veengebieden als de Krimpenerwaard (Boels en Zweers, 2001) en andere veengebieden in het Veenweidegebied, liggen de gehalten aan koper en zink in dezelfde orde van grootte. Voor de beoordeling van het bodemgehalte zou er dus reden zijn om gebiedsspecifieke achtergrondwaarden af te leiden. Voor de gehalten in gewas geldt dat deze niet afwijken van landelijke waarden die zowel in veengebieden, maar ook in zand- en kleigebieden aangetroffen worden. Voor gewas geldt dus dat er op basis van de data uit 2015 geen reden is om gebiedsspecifiek beleid te ontwikkelen.

#### Aandachtspunten 2016

- Vergelijken ranges aan gehalten aan koper in Ilperveld met andere belaste en niet-belaste gebieden om te komen tot (een voorstel voor) gebiedsspecifieke waarden.

### 3.2.7 Bespreekpunten en vervolg monitoring 2016

De data uit 2015 tonen aan dat de gemiddelde bodem- en gewaskwaliteit op hoofdlijnen overeenkomen met de kwaliteit van de percelen die in 2014 tijdens het vooronderzoek en nader onderzoek zijn onderzocht.

Ten aanzien van bodem- en graskwaliteit blijkt dat er geen gebruiksbependingen zijn, voor zover bepaald door de gehalten aan koper in gras. Uiteraard dienen de metingen in 2016 en 2017 ertoe om te zien of dat zo blijft of, indien daartoe gekozen wordt, in andere delen van het terrein vast te stellen of dat ook zo is (zie hierna).

Een van de redenen om meerjarig onderzoek te doen, is omdat met name de gewaskwaliteit kan variëren. Juist omdat de bodem in dit gebied deels nog aan rijping onderhevig is, kan dit leiden tot een verandering in bijvoorbeeld het gehalte aan sulfaat in de bovengrond, wat mogelijk van invloed is op de kwaliteit van het gras.

Een van de doelen van het onderzoek is om na te gaan hoe dat varieert in de tijd (2015, 2016 en 2017).

#### **Aanpassen onderzoekopzet 2016?**

Voor het onderzoek in 2016 zijn daarom de volgende opties:

1. *Handhaven van de huidige locaties* en vooral ingaan op temporele variatie (wijzigingen in het gehalte in gras in drie jaar. Dit heeft als voordeel dat de locaties bekend zijn. Een optie daarbij is wel om de monitoringstijdstippen iets aan te passen door bijvoorbeeld de eerste bemonstering aan het einde van de winter te doen (februari-maart), gevolgd door een zomermeting (juni) en in de herfst (medio oktober). Dit heeft onder meer als voordeel dat de laatste serie resultaten vroeger



beschikbaar zijn en de jaarrapportage ook in hetzelfde jaar klaar is. Als de in dit onderzoek opgenomen locaties maatgevend zijn voor de spreiding in bodemkwaliteit, dan is dit wellicht de te prefereren optie. Daarbij zou wel aandacht moeten zijn voor de bemonstering van de wormen zodat deze, bij voorkeur, op één tijdstip volledig bemonsterd kunnen worden. Op basis van de ervaringen van 2015 moeten we nagaan wat dan de beste bemonsteringswijze en -plaats is. Indien het niet te verwachten is dat op de locatie waar in 2015 geen wormen waren ook in de komende jaren geen wormen zijn, dan is dat wellicht een argument om in elk geval deze locatie aan te passen.

2. Uitbreiden (d.w.z. bemonsteren van andere locaties) van (een deel van) de onderzochte locaties om meer inzicht te hebben in de *ruimtelijke spreiding*, aannemende dat de spreiding van het gehalte op één locatie gedurende drie jaar beperkt is. Als naar verwachting de spreiding in andere percelen groter is, of beter, als verwacht wordt dat er afwijkende percelen zijn vergeleken met de data uit 2015, dan bestaat de optie om een aantal locaties nieuw te kiezen. Stel dat we de helft van de locaties uit 2015 vervangen door andere locaties, dan krijgen we daarmee een beter dekkend beeld. Door de andere helft van de locaties te handhaven, kan daarmee toch een idee gekregen worden van de temporele variatie.

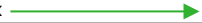
De variatie in de ruimtelijke spreiding is al ondervangen door verschillende percelen in het gebied te onderzoeken en daarnaast binnen deze percelen nog van locatie te variëren bij de verschillende bemonsteringsrondes gedurende het jaar. Op grond hiervan biedt optie 2 op dit moment niet veel meerwaarde. Met optie 1 kan daarnaast een betere tijdreeks opgebouwd worden waarmee de ontwikkeling van de kwaliteit van de afdeklaag gevolgd kan worden.

Geadviseerd werd derhalve om de monitoring in 2016 op dezelfde wijze voort te zetten.

### Planning 2016

De planning voor de werkzaamheden in 2016 is onderstaand schema (tabel 13) aangegeven. De definitieve bemonsteringsdata zijn afgestemd met Landschap Noord-Holland. Vanwege de veldomstandigheden (droogte) is het wellicht beter de wormen in november (of maart) te verzamelen.

**Tabel 13** Werkzaamheden en planning 2016.

Onderdeel	2016											
	j	f	m	a	m	j	j	a	s	o	n	d
Uitvoering monitoring												
- landbouwkundig onderzoek:												
gewas				x			x				x	
bodem							x					
- ecologisch onderzoek:												
regenwormen							x					
- terugkoppeling bijzonderheden				x				x				x
- jaarrapportage (3x)												x
- eindverslag (1x)												
Overleg/terugkoppeling												x

#### Opmerkingen:

- de bemonsteringen in maart vinden plaats voor de start van het broedseizoen (<15 maart).
- de bemonsteringen in juni vinden plaats in de week voorafgaande aan 15 juni.

### 3.3 Resultaten 2016

In deze paragraaf bespreken we de resultaten van het tweede bemonsteringsjaar. In 2016 zijn conform de planning drie bemonsteringsronden voor gras uitgevoerd: in maart, juni en oktober. Daarbij zijn in juni naast grasmonsters ook monsters van bodem (alle negen locaties in duplo) en wormen (alle negen locaties in enkelvoud) genomen. Deze zijn in Wageningen (CBLB) geanalyseerd.

Daarbij zijn in 2016 voor de bodembemonstering andere deelblokken bemonsterd dan in 2015. Van elke locatie zijn nl. drie verschillende deelblokken onderscheiden en in elk jaar (2015, 2016 en 2017) wordt een van deze drie blokken bemonsterd voor bodem. Wel worden elk jaar voor gras alle drie de deelblokken bemonsterd. Dat betekent strikt genomen dat niet alle data van gras met elkaar vergeleken kunnen worden, omdat de grasmonsters genomen in maart, juni of oktober niet uit hetzelfde deelblok komen.

In tabel 14 staat een overzicht van bemonsteringsdata en aantal monsters die genomen zijn (grond, gras en worm) met bijbehorende locatie.

**Tabel 14** Overzicht van bemonsteringsdata en aantallen monsters in 2016.

Datum	Bodem	Gewas	Wormen
7 maart	0	18	0
16-17 juni	18 <sup>1</sup>	18	9 <sup>2</sup>
24 oktober	0	18	0

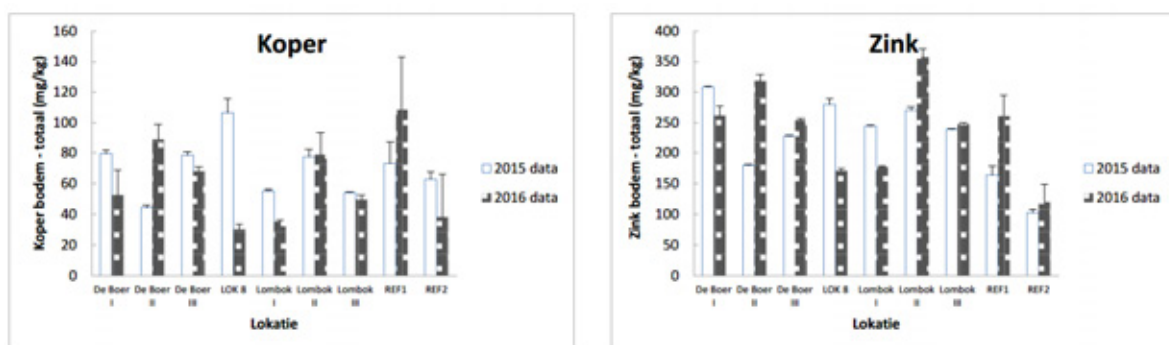
<sup>1</sup> Negen locaties in duplo.

<sup>2</sup> Locaties in enkelvoud bemonsterd, verse monsters gesplitst en in duplo geanalyseerd; in de rapportage staan de gemiddelde waarden van de duplometing.

Bij de bespreking van de resultaten uit 2016 staat een aantal vergelijkende grafieken waar we data uit 2015 vergelijken met die uit 2016, zowel voor bodem als voor gras en worm, waarbij dus de opmerking gemaakt moet worden dat de data voor gras en worm deels uit verschillende blokken komen en pas aan het einde van het project (als alle drie deelblokken ook voor bodem bemonsterd zijn) een koppeling tussen bodem en gewas voor alle monsters mogelijk is.

#### 3.3.1 Overzicht bodemdata 2016

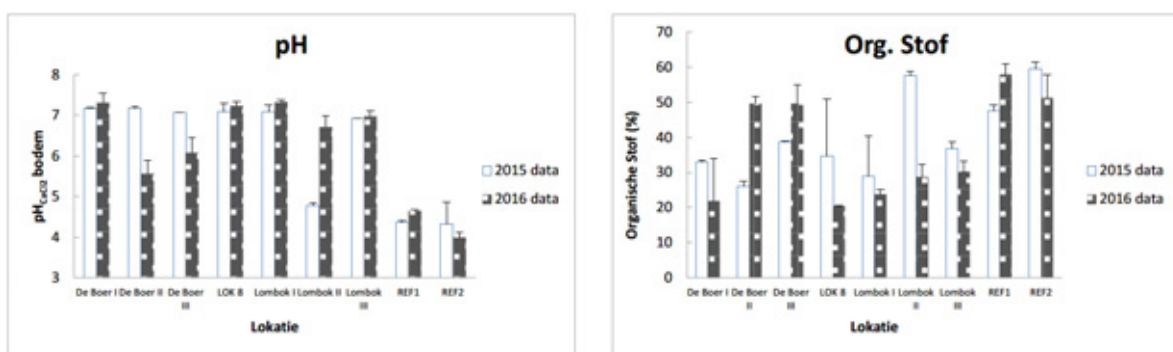
In figuur 5 zijn de gehalten aan koper en zink op de verschillende percelen met elkaar vergeleken.



**Figuur 5** Totaalgehalten aan koper (links) en zink (rechts) in de bodem in 2015 en 2016. De verticale balk geeft de standaardafwijking weer t.o.v. het gemiddelde.

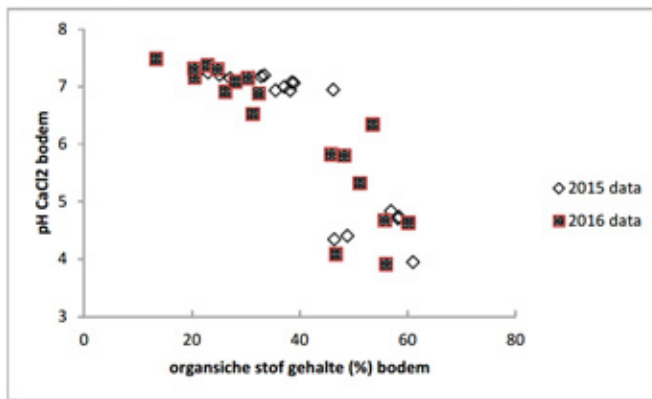
Uit figuur 5 blijkt dat de gehalten aan koper en zink tussen de deelblokken kunnen verschillen; zo is o.a. in locatie 8 het gehalte aan koper in deelblok2 (2016 data, 30 mg kg<sup>-1</sup>) veel lager dan in deelblok 1 (110 mg kg<sup>-1</sup>); dit geldt ook voor zink. Daarentegen zijn de gehalten in REF1 juist hoger in deelblok 2 vergeleken met deelblok 1. Wat echter opvalt, is dat de totale variatie tussen alle monsters niet groter (of kleiner) is in beide jaren. Dit betekent dat de variatie tussen de verschillende percelen en deelblokken min of meer dezelfde is. Voor koper variëren de gehalten daarmee tussen p.m. 30 en 100 mg kg<sup>-1</sup>, terwijl die voor zink variëren tussen 100 en 350 mg kg<sup>-1</sup>. Voor sommige blokken (o.a. Lombok III en De Boer III) blijkt dat de variatie heel klein is, wat duidt op een homogenere verdeling van de gehalten aan metalen in dit deel van het onderzochte gebied. Voor andere delen, inclusief de referentiepercelen, geldt dat de mate van heterogeniteit groter is, maar dat de kans op echte uitschieters (zowel naar boven als beneden) beperkt lijkt te zijn. Dit laatste dient in 2017 uiteraard bevestigd te worden door de metingen in de nog ontbrekende delen van de onderzoeklocaties.

Naast de totaalgehalten zijn ook de bodemeigenschappen en variatie daarin van belang als het gaat om de beschikbaarheid van koper en zink. In figuur 6 staan daarom de data voor pH (links) en organische stof (rechts) van de onderzochte percelen in 2015 en 2016.



**Figuur 6** pH (links) en organische stof (rechts) in de onderzochte percelen in 2015 en 2016.

Voor zowel pH als organische stof geldt dat er een aantal relatief grote verschillen gevonden zijn in de deelblokken voor de Boer II en III, en Lombok II. Deze verschillen lijken overigens consistent, in die zin dat zowel in de Boer als Lombok de verandering in organische stof en pH aan elkaar gerelateerd zijn. Een hoger organischestofgehalte (De Boer II en III in 2016) correspondeert met een lagere pH, terwijl een lager organischestofgehalte (Lombok II) resulteert in een hogere pH in 2016 vergeleken met het deelblok uit 2015. Dit is in die zin normaal dat bij hogere organischestofgehalten de pH vaak op een lager niveau gebufferd is (zie ook figuur 7). Blijkbaar is de verdeling van organische stof in een aantal deelblokken niet homogeen, want het verschil tussen (bijna) 60% in 2015 (Lombok II) en minder dan 30% in 2016 is groter dan wat onder normale omstandigheden gevonden wordt in veengebieden. Het hogere organischestofgehalte in 2016 in de Boer II en III komt niet altijd overeen met een hoger gehalte aan metalen (wat vaak onder natuurlijke omstandigheden wel geldt, zie bijv. de data uit REF1 waar in 2016 een hoger organischestofgehalte correspondeert met een hoger gehalte aan zowel koper als zink). In De Boer II vinden we wel een relatie tussen gehalte aan koper en zink enerzijds en organische stof anderzijds (beide hoger in 2016 t.o.v. 2015), terwijl dat in De Boer III niet gevonden wordt.

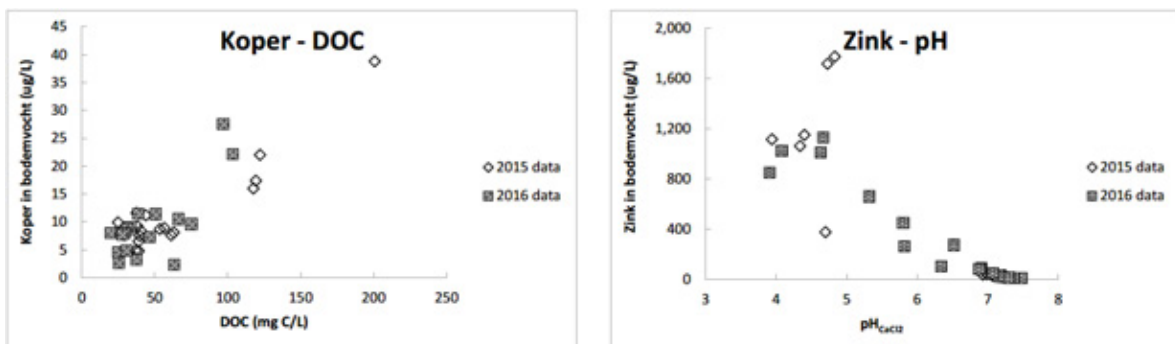


**Figuur 7** Relatie tussen het organischestofgehalte (alle locaties, gemiddelde waarden per locatie) en pH in 2015 en 2016.

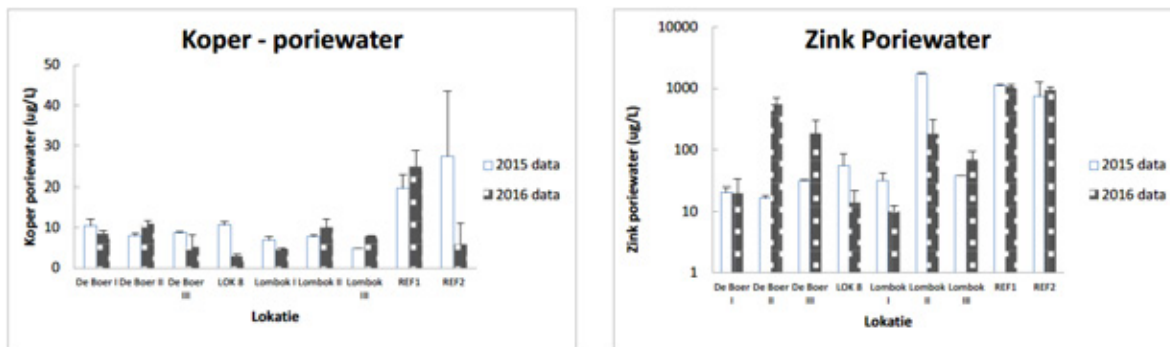
Voor de overige percelen geldt dat de variatie in zowel organische stof als pH veel kleiner is of binnen de grenzen van natuurlijke variatie valt.

De veranderingen in pH en organische stof (wat ook doorwerkt in de gehalten aan opgelost organische koolstof-DOC) hebben een effect op de beschikbaarheid van koper en zink in het poriewater zoals gemeten met een extractie met 0.01 M  $\text{CaCl}_2$  (zie figuur 8). Daarbij blijkt onder meer dat de gehalten aan koper vooral bepaald worden door DOC en veel minder door pH (linkerdeel figuur 8), terwijl voor zink juist het omgekeerde geldt en de beschikbaarheid bijna uitsluitend door de pH gestuurd wordt (rechterdeel) waarbij de gehalten in het poriewater voor zink op een logaritmische schaal staan, omdat de stijging met de concentratie bij lagere pH niet lineair is. Zo stijgen de gehalten aan zink in het poriewater van minder dan  $10 \mu\text{g L}^{-1}$  bij pH 7 of meer tot meer dan  $1500 \mu\text{g L}^{-1}$  bij pH 4 (zoals aangetroffen in onder meer de referentievelden). Uiteindelijk is de pH in het bodemvocht vaak bepalender voor de concentratie aan zink dan het totaalgehalte aan zink in de bodem. Dit blijkt onder meer uit de data voor Lombok II, waar in 2015 in het toen onderzochte deelblok een pH-waarde van 4.7-4.8 gevonden is bij een totaal zinkgehalte van  $250 \text{ mg kg}^{-1}$ . Dit leidde in 2015 tot een concentratie in het poriewater van ruim  $1700 \mu\text{g L}^{-1}$ . In 2016 was het totaalzinkgehalte in het onderzochte deelblok weliswaar nog hoger ( $350\text{-}360 \text{ mg kg}^{-1}$ ), maar lag de pH nu op een waarde van 6.5-6.9, wat uiteindelijk resulteert in een lager gehalte aan zink in het bodemvocht ( $90\text{-}270 \mu\text{g L}^{-1}$ ).

Voor koper is de absolute variatie in de gehalten in het bodemvocht veel kleiner en deze lijken vooral bepaald door de variatie aan de gehalten aan opgelost koolstof (DOC). Doordat echter DOC ook weer (deels) bepaald wordt door zowel het gehalte aan organische stof als pH (waarbij DOC toeneemt bij lagere pH), zien we de hoogste gehalten aan opgelost koper in die gronden met veel organische stof en daaraan gekoppeld een lagere pH. Dat verklaart onder meer waarom de gehalten in de referentieplots aan opgelost koper zowel in 2015 als 2016 hoger zijn (figuur 9) dan in veel van de andere locaties: de referentieplots hebben zowel een hoog organischestofgehalte als een lage pH.



**Figuur 8** Relatie tussen DOC en koper (links) en pH en zink (rechts) voor alle onderzochte locaties (individuele waarden per locatie).

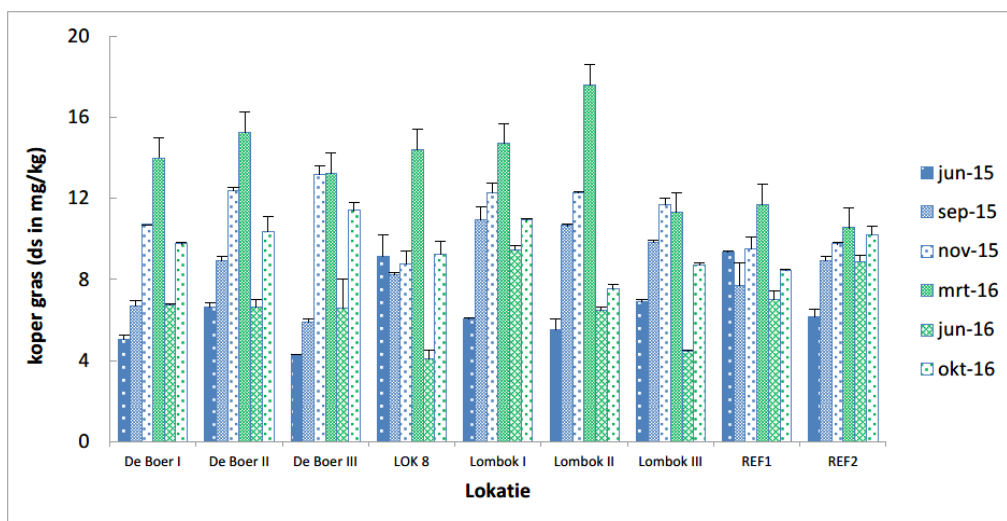


**Figuur 9** Gehalten aan koper (links) en zink (rechts) in de extractie met  $\text{CaCl}_2$  ('bodenvocht') voor alle locaties in 2015 en 2016 (gemiddelde gehalten per locatie met daarbij de standaarddeviatie).

Een van de onderzoeksvragen is of er sprake is van rijping van bodemmateriaal, wat onder meer kan blijken uit verhoogde zwavel (sulfaat) gehalten in het bodenvocht. Uit de data van 2015 en 2016 blijkt echter dat er geen direct verband bestaat tussen de pH in de deellocaties en de hoeveelheid zwavel in de bodem of bodenvocht. Zowel bij een lage als hoge pH worden hoge en lage zwavelgehalten aangetroffen, wat maakt dat zwavel als zodanig geen goede indicator is voor rijping. Vooralsnog lijken de gevonden verschillen in pH, vooral de daling in pH in de locaties de Boer II en III in 2016 t.o.v. 2015 (figuur 6), meer gerelateerd aan verschillen in bodemeigenschappen (m.n. organische stof) dan dat er sprake zou zijn van rijping. Anders dan voor zink leidt deze daling in de pH voor koper overigens niet tot een toename van de beschikbaarheid (zie figuur 9).

### 3.3.2 Overzicht gewasdata 2016

Omdat de gehalten in gras gedurende het jaar kunnen variëren, heeft het weinig zin de data voor 2015 en 2016 te vergelijken per locatie op basis van jaargemiddelde waarden. In figuur 10 staan daarom de gehalten aan koper in gras per locatie gegeven per meetronde.



**Figuur 10** Data voor koper in gras (gemiddelde waarden per meetronde) in 2015 (blauw) en 2016 (groen) incl. standaarddeviatie.

Uit figuur 10 blijkt dat de trend die in 2015 is waargenomen (hogere gehalten in voor- en najaar vergeleken met de zomermeting) ook in 2016 wordt gevonden. De hoogste waarden in gras worden aangetroffen in de monsters genomen in maart wanneer het gras nog weinig groei vertoont en de gehalten deels ook door aanhangende grond worden bepaald. Daarbij liggen de gehalten in maart in de onderzoeklocaties (m.u.v. Lombok III) rond de norm van  $15 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ds}$  in gras die geldt als de norm voor schapen. Wat daarbij opvalt, is dat ondanks de relatief grote spreiding in de gehalten aan

koper in de bodem (28-133 mg kg<sup>-1</sup> bodem) de gehalten in gras vrijwel constant zijn en in de maartbemonstering variëren van 10 tot 19 mg kg<sup>-1</sup>, waarbij de hoogste gehalten in gras (hoogste gehalte gemeten in locatie Lombok II) overigens niet overeenkomen met de gehalten in de bodem (hoogste waarde in locatie Ref I).

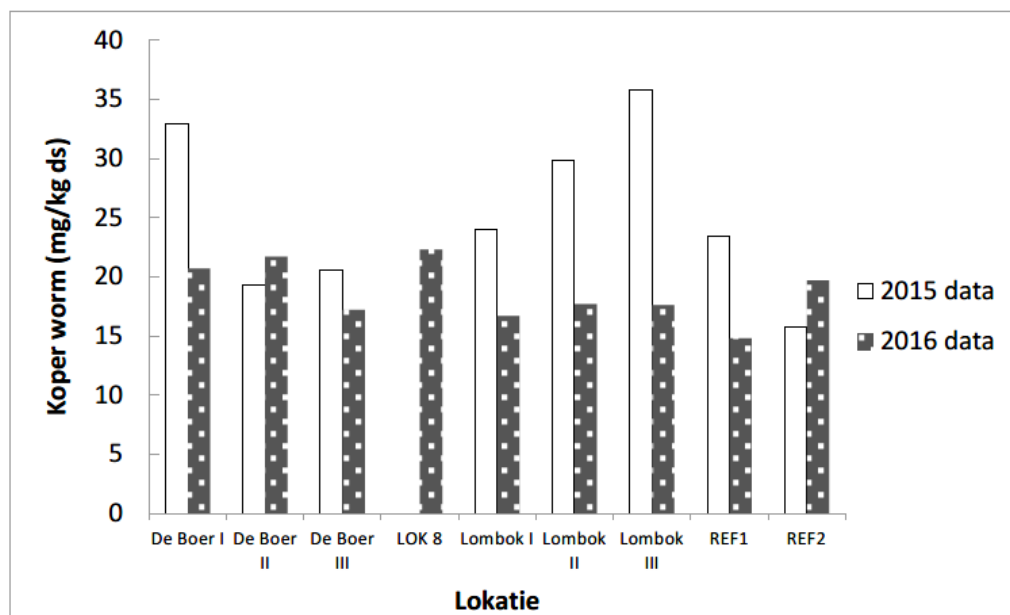
Evenals in 2015 dalen de gehalten in gras vervolgens sterk in de monsters genomen in juni, tot waarden variërend van 3.8 mg kg<sup>-1</sup> tot 9.6 mg kg<sup>-1</sup>. Ondanks de verschillen tussen de gehalten aan koper in de bodem tussen de onderzoeklocaties in 2015 en 2016, blijken de verschillen in de gehalten in gras tussen 2015 en 2016 klein. Zo varieert het gehalte aan koper in de grasmonsters genomen in oktober 2016 van 7.4 mg kg<sup>-1</sup> ds. tot 11.7 mg kg<sup>-1</sup> ds., waarbij er geen directe relatie is met de gehalten in de bodem of de bodemeigenschappen als pH.

Wel lijkt de daling in de gehalten aan koper in o.a. LOK8 in juni 2016 (4.1 mg kg<sup>-1</sup>) t.o.v. juni 2015 (9.1 mg kg<sup>-1</sup>) te relateren aan het lagere totaalgehalte in de bodem. Voordat echter alle deellocaties onderzocht zijn (juni 2017) wat betreft gehalten in de bodem kunnen geen generieke relaties tussen bodem en gewas afgeleid worden.

Wel bevestigen de data hiermee dat, ofschoon de gehalten in de bodem deels ver boven de advieswaarde voor beweide grasland liggen, dit niet altijd correspondeert met sterk verhoogde gehalten aan koper in gras. De opname van koper in deze gronden lijkt daarmee vooral door de plant zelf bepaald te worden, meer dan door de variatie in de gehalten van de bodem. In paragraaf 3.3.4 gaan we nader in op de gevolgen van de seizoensafhankelijke gehalten aan koper in gras op de totale inname door schapen.

### 3.3.3 Overzicht metingen in wormen 2016

In figuur 11 zijn de gemeten gehalten aan koper in wormen weergegeven.



**Figuur 11** Gehalten aan koper in wormen, data 2015 en 2016.

De gehalten aan koper in de worm liggen in dezelfde orde van grootte of zijn lager dan die in 2015. Bovendien vertonen de gehalten aan koper in wormen in 2016 minder variatie dan in 2015. In het algemeen bestaat er geen directe relatie tussen de gehalten aan koper in de bodem en die in de wormen, wat suggereert dat de interne gehalten aan koper niet alleen bepaald worden door de gehalten in de ingenomen grond, maar dat deze op een andere manier gereguleerd worden. Op basis van de data van pH, koper-totaal of reactief en beschikbaar wordt echter ook geen eenduidige relatie tussen deze bodemeigenschappen en het gehalte in de wormen gevonden. Dit suggereert dat, net als

bij gras, de interne gehalten aan koper in wormen vooral door de wormen zelf gereguleerd worden, meer dan dat deze bepaald worden door de (chemische) beschikbaarheid dan wel de gehalten in de bodem zelf. Dit maakt dat bij de uiteindelijk risicobeoordeling (doorvergiftiging) de invloed van de bodem op de inname door onder meer vogels beperkter is dan voorheen werd aangenomen. In 2016 zijn overigens geen aanvullende metingen verricht (o.a. Al, Fe), omdat data uit 2015 lieten zien dat er weliswaar een invloed is van het eten van grond op de interne gehalten aan Al en Fe, maar dat dit niet van invloed was op de gehalten aan koper in de worm. Het aandeel grond dat de worm eet (wat geïllustreerd wordt door de sterke relatie tussen Fe en Al in de worm, zie figuur 4), is daarmee niet rechtstreeks te relateren aan de variatie van de gehalten aan koper in de worm. Analyse van deze metalen (Al en Fe) geeft daarom weinig inzicht in de variatie aan koper in de worm.

### 3.3.4 Blootstelling van schapen aan koper als gevolg van inname van grond en gras

Net als in 2015 gebruiken we de data in bodem en gewas om een – theoretische – inname van koper door schapen te berekenen.

**Tabel 15** Gehanteerde gehalten in bodem ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en gewas ( $\text{mg kg}^{-1}$  d.s.) voor de berekening van de blootstelling (data 2016, vergelijk tabel 10).

Locatie	Gras			Bodem		
	Maart	Juni	Oktober	Aqua Regia	HNO <sub>3</sub>	Ratio HNO <sub>3</sub> -AR
De Boer-I	14.0	6.8	9.8	53	32.0	0.61
De Boer-II	15.3	6.7	10.4	89	45.9	0.52
De Boer-III	13.3	6.6	11.4	68	33.0	0.49
Locatie 8	14.4	9.5	9.3	31	17.2	0.57
Lombok-I	14.7	6.5	11.0	36	19.6	0.55
Lombok-II	17.6	4.5	7.6	79	45.9	0.58
Lombok-III	11.3	4.1	8.7	50	28.4	0.57
REF-I	11.7	7.0	8.5	109	51.6	0.47
REF-II	10.6	8.9	10.2	39	16.0	0.38
Minimum	10.2	3.8	7.4	19	6	0.31
Gemiddeld	13.6	6.7	9.6	61	32	0.53
Maximum	18.7	9.6	11.7	133	64	0.64

**Tabel 16** Berekende risico-index (dimensieloos) voor de inname van koper (data 2016; vergelijk data tabel 12).

Locatie	Op basis van Aqua Regia			Op basis van HNO <sub>3</sub>		
	Maart	Juni	Oktober	Maart	Juni	Oktober
De Boer-I	1.00	0.55	0.74	0.94	0.50	0.68
De Boer-II	1.16	0.63	0.86	1.06	0.53	0.76
De Boer-III	0.99	0.58	0.87	0.90	0.49	0.79
Locatie 8	0.97	0.66	0.65	0.93	0.63	0.62
Lombok-I	1.00	0.49	0.77	0.96	0.45	0.73
Lombok-II	1.28	0.47	0.66	1.20	0.39	0.58
Lombok-III	0.82	0.38	0.66	0.77	0.32	0.61
REF-I	0.99	0.70	0.79	0.85	0.56	0.65
REF-II	0.75	0.65	0.73	0.69	0.59	0.67
Minimum	0.75	0.38	0.65	0.69	0.32	0.58
Gemiddeld	0.99	0.57	0.75	0.92	0.50	0.68
Maximum	1.28	0.70	0.87	1.20	0.63	0.79

---

### Conclusies ten aanzien van blootstellingsberekening voor schapen 2016:

De data in tabel 16 laten zien dat de risico-index door inname van gras en grond varieert van minder dan 0.4 in juni tot bijna 1.3 in maart. Gedurende het seizoen is te zien dat de inname toeneemt in de data van oktober en piekt in maart, wat het gevolg is van de stijging van de gehalten in gras. Daarbij zien we in 2016 dat de blootstelling in die percelen waar in maart sprake is van een overschrijding van de inname (DB-2, LOMB-2), in juni een sterke daling is naar waarden lager dan 0.5 (LOMB-2).

Net als in 2015 daalt de inname licht wanneer de inname berekend wordt aan de hand van de reactieve metaalgehalten. De beperkte afname is het gevolg van het grote aandeel van de inname door gras. Gemiddeld varieert het aandeel van de inname van koper via gras in 2016 tussen 59% en 92% (data niet getoond), waardoor de correctie voor reactiviteit op de inname van bodem niet leidt tot een substantiële daling van de totale inname. Ook voor gras geldt dat de inname in maart hoger is dan in juni en september, wat het gevolg is van de relatief hoge gehalten aan koper in gras in maart.

Op basis van de gecombineerde data uit 2015 en 2016 blijkt dus dat er in de periode oktober-maart sprake is van een duidelijk verhoogde inname aan koper, wat grotendeels te wijten is aan de verhoogde gehalten in gras in deze periode.

De resultaten uit 2015 en 2016 geven daarmee een consistent beeld, waarbij er sprake is van een duidelijke toename van de blootstelling in het winterseizoen gevolgd door een sterke daling vanaf het voorjaar tot en met de herfst. Daarbij is er niet zozeer sprake van overschrijding van de norm voor groenvoer (gras, 15 mg kg<sup>-1</sup>), maar overschrijdt de totale inname de berekende TDI (tolerable daily intake) wanneer we de dagelijkse inname van gras en grond vergelijken met de teruggerekende TDI uit de normwaarden (voor gras en grond). Dat zou betekenen dat er ook bij gehalten in gras lager dan 15 mg kg<sup>-1</sup> sprake kan zijn van een te hoge inname van koper door schapen. Deze vaststelling komt overigens overeen met de berekende maximale inname van koper door 'gevoelige' rassen (CVB, 2005) die op basis van de berekende actuele absorptie (dezelfde berekening als hier gedaan, zie o.a. discussie 2015) een maximaal gehalte van 5 tot 14 mg kg<sup>-1</sup> in voeder berekent als grenswaarde waarboven de dagelijkse inname mogelijk tot effecten leidt. Daarmee wordt feitelijk de normwaarde van 15 mg kg<sup>-1</sup> in voer voor schapen weer deels in twijfel getrokken. Op basis van de data in 2017 zal worden nagegaan of, en zo ja in welke mate, de fluctuaties in de gehalten gedurende het jaar leidt tot een overschrijding van de jaargemiddelde norm. Anderzijds kan de daling in de gewasgehalten gedurende april-oktober zodanig zijn dat de jaargemiddelde inname beneden de norm blijft. Hieraan gekoppeld zullen dan voorstellen gedaan worden voor eventuele beheersmaatregelen, die alleen nodig zijn indien er sprake is van een jaargemiddelde overschrijding.

#### 3.3.5 Risico's op doorvergiftiging

De resultaten van de analyse van doorvergiftiging en de effecten van opname van koper door wormen worden in paragraaf 3.4.3 op basis van alle data (2015-2017) samengevat.

#### 3.3.6 Toetsing doelstellingen

Bij aanvang van het project zijn de volgende vijf doelen-onderzoeksvragen benoemd. In aanvulling op de analyse van de data uit 2015 (zie par. 2.3.6) gaan we hier in op dezelfde vragen, voor zover de uitkomsten in 2016 daarvan afwijken.

#### **Doelen-onderzoeksvragen m.b.t. natuurontwikkeling en ecologische risico's**

*Is er een effect op het functioneren van regenwormen als maat voor directe ecologische effecten in de bodem zelf?*

#### Aandachtspunten 2016

- vaststellen of gehalten in wormen gelijk blijven (monitoring);
- vergelijken van interne gehalten met (in de literatuur afgeleide) interne kritische gehalten;
- nagaan of interne gehalten in wormen te relateren zijn aan combinaties van bodemeigenschappen.



---

### Resultaten 2016

- Data van de gehalten aan koper in wormen, voor zover beschikbaar, laten zien dat de gehalten gemiddeld gezien iets lager liggen dan in 2015.
- Er is geen duidelijke relatie tussen de metingen aan koper in wormen in beide jaren noch een duidelijke relatie tussen het gehalte in de bodem en/of bodemeigenschappen en die in de worm.
- Een vergelijking met literatuurbedata is nog niet uitgevoerd (2017).

*Is er sprake is van verhoogde doorvergiftigingsrisico's aan de hand van voedselpatronen van dieren die wormen eten (m.n. weidevogels en roofvogels)?*

### Aandachtspunten 2016

- Opname van mollen en vogels vaststellen met model BERISP en vergelijken met kritische inname.

### Resultaten 2016

- Doorvergiftiging zal in 2017 bepaald worden wanneer alle data compleet zijn. Data uit 2015 en 2016 lijken aan te geven dat er vooralsnog geen reden is om aan te nemen dat er sprake is van sterk wisselende opname door mollen en vogels wanneer we de gehalten in gras en wormen als maatstaf nemen. Inname van grond (o.a. door mollen) kan enigszins variëren tussen de onderzochte percelen, omdat de kopergehalten variëren. Dit leidt voor zover gemeten in 2015 en 2016 niet tot een hogere blootstelling (of beter, variatie in blootstelling tussen percelen) voor organismen die wormen en gras eten.

*In welke mate wijken de effecten van de verhoogde gehalten in de bodem in referentiepercelen af van die in percelen met bagger?*

### Aandachtspunten 2016

- Nagaan of lage pH waarden nog van invloed zijn op beschikbaarheid en opname van koper door wormen en gewassen.
- Monitoring of hoge pH waarden in bagger percelen constant blijven. Daling van pH kan leiden tot hogere beschikbaarheidsopname.

### Resultaten 2016

- Data uit 2015 en 2016 suggereren dat de gehalten in gras niet of slechts zeer beperkt gestuurd worden door variatie in bodemeigenschappen. Daarbij moet opgemerkt worden dat er geen metingen gedaan zijn aan dynamische bodemeigenschappen als pH en DOC. Omdat parameters als reactief koper en organische stof geen variatie (anders dan ruimtelijke) kennen, is niet de verwachting dat de variatie in pH en DOC zo groot is dat die de hogere gehalten in de winterperiode verklaart. Het is daarom aannemelijker dat deze verhoogde gehalten verklaard worden uit het feit dat er meer grond aan het gras kleeft, mede omdat het gras in het winterseizoen ook niet groeit.
- Bodemdata uit 2016 geven niet aan dat er sprake is van rijping op basis van de data van zwavel. Daarbij moet de kanttekening gemaakt worden dat het bodemonderzoek in de drie jaren verschillende delen van de locaties bestrijkt, dus een een-op-een-vergelijking van de data uit 2015 en 2016 is niet mogelijk. De gemeten variatie in pH is veeleer gekoppeld aan variatie in organischestofgehalte en waarschijnlijk niet aan de eventueel opgetreden rijping. Bovendien zien we dat in sommige gevallen de pH tussen de locaties van hetzelfde object in 2016 hoger is dan in 2015, wat niet overeenkomt met rijping waar vaak sprake is van verzuring door oxidatie van sulfiden.

### **Doelen-onderzoeksvragen m.b.t. landbouw:**

*Is er variatie (korte en lange termijn) in de kwaliteit van veevoer die mogelijk aanleiding geeft tot gewijzigd (bagger)beheer?*

### Aandachtspunten 2016

- Vaststellen of rijping van bagger leidt tot verandering in de actuele beschikbaarheid van koper door veranderingen in onder meer zwavel en pH en effecten daarvan op de opname van koper door wormen en gras.

---

### Resultaten 2016

- De beschikbaarheid van zowel zink als koper is afhankelijk van zowel het gehalte in de bodem alsmede bodemeigenschappen als pH (zink) en DOC (koper). Beide lijken echter niet (althans niet waarneembaar) beïnvloed door rijping wanneer we data uit 2015 en 2016 met elkaar vergelijken. De veranderingen in de beschikbaarheid van zowel koper als zink uit beide jaren zijn volledig verklaarbaar uit verschillen in bodemeigenschappen, die weer het gevolg zijn van de (ruimtelijke) variatie binnen een locatie.

*Wijken de bodem- en gewaskwaliteit in IJperveld generiek af van de gemiddelde waarden in andere landbouwgebieden in Nederland en is er daarom aanleiding tot het afleiden van gebiedsspecifieke (achtergrond)waarden en evt. gebiedsspecifiek beleid t.a.v. acceptatie van afwijkende waarden in bodem en gewas?*

### Aandachtspunten 2016

- Vergelijken ranges aan gehalten aan koper in IJperveld met andere belaste en niet-belaste gebieden om te komen tot een (voorstel voor) gebiedsspecifieke waarden.

### Resultaten 2016

- Regiospecifieke waarden zullen op basis van de volledige set worden afgeleid. Data uit 2015 en 2016 bevestigen dat de gehalten regionaal verhoogd zijn, ook t.o.v. andere veengronden (Mol et al., 2012). Vergeleken met andere belaste veengebieden (o.a. Krimpenerwaard, Ronde Venen) liggen de gehalten in dezelfde orde van grootte. Zo varieert het totaal kopergehalte in de referentiepercelen van het onderzoek in de Krimpenerwaard (Boels et al., 2000) tussen de 50 en 100 mg kg<sup>-1</sup>, wat sterk overeenkomt met de waarden die in de hier onderzochte locaties gevonden worden. In belaste bodems van de Krimpenerwaard zijn echter beduidend hogere gehalten gevonden die gerelateerd konden worden aan de aanwezigheid van verontreinigd dempingsmateriaal (kopergehalten variërend van 200 tot 3800 mg kg<sup>-1</sup>).

## 3.3.7 Conclusies resultaten 2016

De data uit 2016 laten zien dat de variatie in de gehalten in de bodem zoals vastgesteld in 2015 niet toeneemt. De gehalten binnen een locatie kunnen wel uiteenlopen voor de tot op heden onderzochte deellocales, maar dit leidt niet tot een grotere absolute spreiding (verschil tussen minimale tot maximale waarden van alle locaties). Nog te verzamelen data uit 2017 zullen moeten uitwijzen of met deze bemonsteringsstrategie daarmee een betrouwbaar beeld is gegeven van de variatie aan de gehalten binnen een locatie en tussen een locatie. Dit geldt overigens niet alleen voor koper (en zink), maar ook voor de andere bodemparameters waarvoor in 2016 is getoond dat de waarden zich in dezelfde range bevinden als die in 2015. Wel kunnen de verschillen in onder meer pH en organische stof binnen een locatie groot zijn, wat leidt tot forse verschillen in onder meer de beschikbaarheid van zink. Voor koper geldt dat de variatie in de beschikbaarheid (extractie met CaCl<sub>2</sub>) kleiner is en er geen echte uitschieters zijn binnen de onderzochte locaties. De hoogste beschikbaarheid (maar ook totaalgehalte) voor koper wordt overigens aangetroffen in een van de referentielocaties, wat laat zien dat de kwaliteit van de bodem in de onderzoeklocaties in die zin niet in negatieve zin afwijkt.

De gehalten in gras vertonen in 2016 dezelfde jaarlijkse fluctuatie met relatief hoge concentraties in maart, gevolgd door een sterke daling in de gehalten in gras in juni. De gehalten aan koper in gras lijken slechts beperkt gekoppeld aan de gehalten in de bodem; zo liggen de gehalten in gras in de referentieplots in dezelfde orde van grootte als die van de onderzoeklocatie, ondanks de soms forse verschillen in pH en totaalgehalten aan koper in de bodem.

Ook de gehalten in de wormen lijken op basis van de huidige dataset niet direct gekoppeld aan de variatie in bodemeigenschappen en zijn, zeker in 2016, relatief constant te noemen. Ofschoon er nog geen blootstellingsmodellering is uitgevoerd in 2016, betekent dit dat de inname van koper door vogels, indien dat vooral via wormen gebeurt, daarmee niet afhankelijk lijkt te zijn van de variatie van de gehalten aan koper in de bodem. Dit zal verder gevalideerd moeten worden aan de hand van de modelering van de blootstelling van vogels in 2017.

### 3.3.8 Bespreekpunten en vervolg monitoring 2017

De data uit 2016 tonen aan dat de gemiddelde bodem- en gewaskwaliteit op hoofdlijnen overeenkomen met de kwaliteit van de percelen die in 2015 en in 2014 tijdens het vooronderzoek en nader onderzoek zijn onderzocht.

Ten aanzien van bodem- en graskwaliteit blijkt dat er geen gebruiksbeperkingen zijn voor zover bepaald door de gehalten aan koper in gras. Uiteraard dienen de metingen in 2017 ertoe om te zien of dat zo blijft.

Een van de redenen om meerjarig onderzoek te doen, is omdat met name de gewaskwaliteit kan variëren. Juist omdat de bodem in dit gebied deels nog aan rijping onderhevig is, kan dit leiden tot een verandering in bijvoorbeeld het gehalte aan sulfaat in de bovengrond, wat mogelijk van invloed is op kwaliteit van het gras.

Een van de doelen van het onderzoek is om na te gaan hoe dat varieert in de tijd (2015, 2016 en 2017).

#### Aanpassen onderzoeksopzet 2017

De resultaten vormen geen aanleiding om de ingezette onderzoeksstrategie te wijzigen. Geadviseerd wordt derhalve om de monitoring in 2017 op dezelfde wijze voort te zetten.

#### Planning 2017

De planning voor de werkzaamheden in 2017 is tabel 17 weergegeven.

**Tabel 17** Overzicht van geplande werkzaamheden 2017-2018.

Onderdeel		2017										2018			
		j	f	m	a	m	j	j	a	s	o	n	d	j	f
Uitvoering monitoring															
- landbouwkundig onderzoek:	gewas			x			x			x					
	bodem									x					
- ecologisch onderzoek:	regenwormen									x					
- terugkoppeling bijzonderheden						x			x						
- eindverslag													x	x	
Overleg-terugkoppeling															x

#### Opmerkingen:

- De bemonstering in maart heeft plaatsgevonden op 14 maart, voor de start van het broedseizoen (<15 maart).
- De bemonstering van gras heeft plaatsgevonden op 27 juli.
- De bemonstering van bodem en regenwormen heeft plaatsgevonden op 26 oktober 2017.

## 3.4 Resultaten 2017

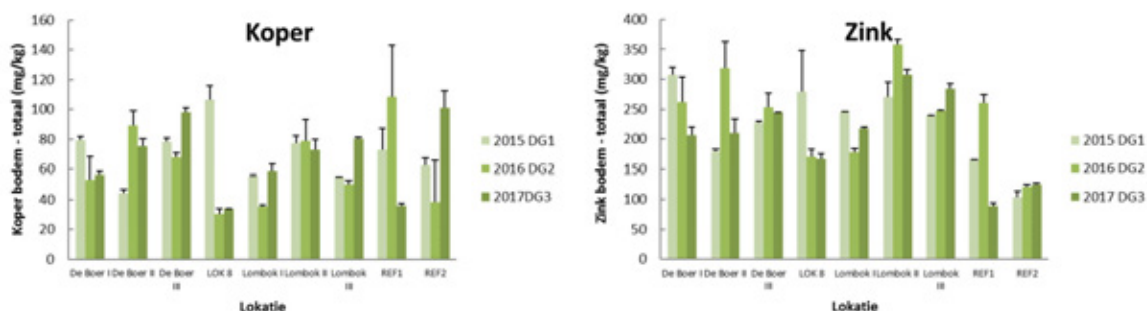
### 3.4.1 Resultaten bodem

De data van de monitoring uit 2017 zijn in onderstaande figuren samengevat, samen met die uit voorgaande jaren. Voor de gehalten aan koper en zink in de bodem (figuur 12) blijkt dat de metingen in 2017 in dezelfde orde van grootte liggen als die uit eerdere jaren. De monitoring is gedurende de drie jaren zodanig uitgevoerd dat per jaar steeds één deelgebied is bemonsterd (aangegeven in de legenda). In totaal is elke locatie daarbij opgedeeld in drie deelgebieden.

Wanneer we de resultaten van drie jaar samenvatten, blijkt voor de gehalten aan koper en zink dat de variatie tussen de deelgebieden voor de meeste locaties beperkt is. Een aantal vertoont wat grotere variatie, zoals het kopergehalte (en in mindere mate ook zink) in DG1 van Locatie-8 en het zinkgehalte in DG2 van Locatie De Boer II. Verder lijkt de variatie in REF-I voor zowel koper als zink iets groter dan in de andere locaties.

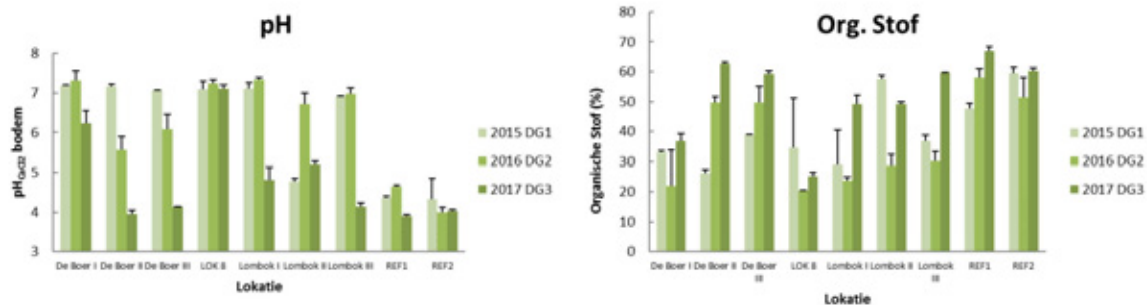
Voor koper kunnen we aan de hand van de gegevens van de drie jaar concluderen dat de range aan gehalten die aangetroffen wordt in de referentiepercelen even groot of groter is dan die in de onderzoeklocaties; er is geen significant verschil tussen de gemiddelde waarden van de locaties t.o.v. die in de referentiegebieden.

Voor zink is dat niet het geval en zijn de gehalten aan zink in de bodem (gemiddeld) significant ( $P < 0.01$ ) hoger in de onderzoeklocaties (gem.  $246 \text{ mg kg}^{-1} \text{ d.s.}$ ) dan in de referentiegebieden (gem.  $144 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ds.}$ ).



**Figuur 12** Gehalten aan koper (links) en zink (rechts) in de deelgebieden per locatie. De foutenmarge is de standaarddeviatie van alle metingen per deelgebied.

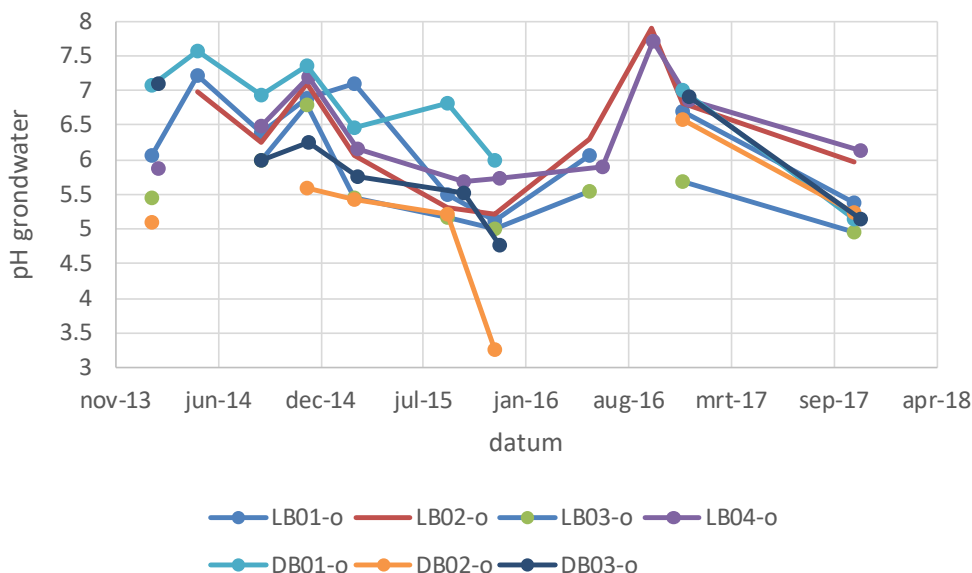
Een opvallende waarneming in de monsters van 2017 was dat de pH-waarden in de meeste van de onderzochte deelgebieden significant lager zijn dan in voorgaande jaren (figuur 13). Hierbij moet uiteraard bedacht worden dat de monsters uit 2015 en 2016 uit andere deelgebieden afkomstig zijn. Alleen in beide referentiepercelen en Locatie-8 was de pH in 2017 vrijwel gelijk aan die gemeten in 2015 en 2016. Deels komt dit overeen met de metingen voor organische stof. Hiervoor geldt dat de gemiddelde gehalten in de in 2017 bemonsterde deelgebieden hoger zijn dan in de deelgebieden bemonsterd in 2015 en 2016.



**Figuur 13** pH (links) en organischestofgehalten (rechts) in 2017 met daarbij ook de waarden in 2015 en 2016.

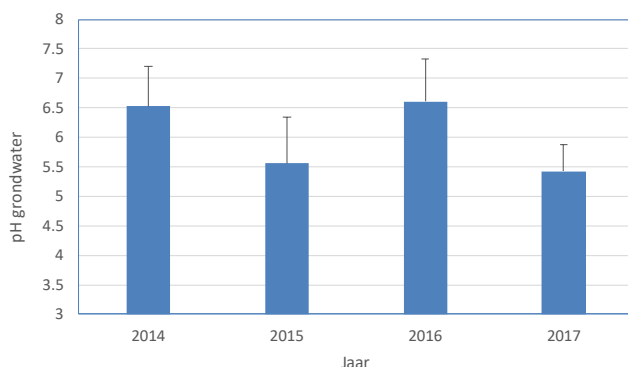
Door Afvalzorg is in de periode 2014-2017 ook onderzoek gedaan naar de veranderingen in de pH van het bovenste grondwater, mede om te bepalen of er sprake kan zijn van rijping, wat mogelijk van invloed kan zijn op de pH. Oxidatie van organisch materiaal en/of sulfiden die oorspronkelijk in de bagger aanwezig zijn, kunnen nl. leiden tot een daling van de pH.

In figuur 14 staan de metingen waarbij de data per locatie voor dezelfde datum gegroepeerd zijn.



**Figuur 14** Metingen van de pH in het bovenste grondwater in de locaties Lombok 1, 2, 3 en 4 en De Boer 1, 2 en 3 (data Afvalzorg).

Uit de data in figuur 14 blijkt dat er sprake is van een generieke trend die feitelijk voor alle onderzochte locaties te zien is. In alle zeven locaties is er in de periode 2014-2015 sprake van een lichte daling van de pH van waarden, waarna die in 2016 weer stijgt om in 2017 weer te dalen. Wanneer we aannemen dat er geen locatieverschillen zijn en de data per jaar groeperen, dan is dat te zien in figuur 15. De verschillen tussen de jaren zijn statistisch significant ( $P < 0.001$ ), ofschoon bedacht moet worden dat er bijvoorbeeld voor 2017 maar op één tijdstip is bemonsterd tegen vier in 2014 en drie in 2015 en 2016.

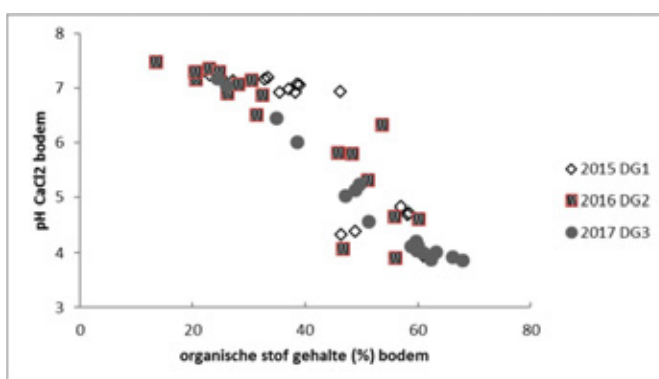


**Figuur 15** Gemiddelde verandering in de pH van het bovenste grondwater per jaar voor alle locaties.

Er blijkt dus geen algemeen verband te zijn tussen de pH in de bodem (figuur 13) en die in grondwater. Alleen voor de locaties Lombok 2 zien we dat de trend in de periode 2015-2017 in de bodem (laag-hoog-laag) overeenkomt met die in het grondwater; voor de overige locaties waarvoor metingen in het grondwater zijn gedaan (DB1,2,3, LB1, 3) wijkt met name de pH in de bodem in 2015 af van die in het grondwater. Wel wordt in alle locaties in 2017 een duidelijk lagere pH in de bodem gemeten (t.o.v. 2016); een trend die ook in het grondwater aangetroffen wordt. Omdat voor de bodem echter verschillende deelgebieden in de loop der jaren zijn bemonsterd, kan niet met zekerheid vastgesteld worden dat er daarmee een een-op-eenrelatie tussen metingen in bodem en grondwater bestaat waardoor deze fluctuaties optreedt. Vooral de stijging van de pH (in het grondwater) is in die zin afwijkend, omdat er in geval van voortgaande rijping eerder verwacht wordt dat de pH blijft dalen. In zoverre zijn de trends in de bodem, die in de meeste gevallen wijzen op een daling van de pH (m.u.v. die in Lombok 1) in 2017 t.o.v. de voorgaande jaren, consistent.

Mogelijk is er in 2016 sprake geweest van inlaat van grondwater uit de omliggende gebieden met een afwijkende zuurgraad, wat de trendbreuk met 2014-2015 en 2017 kan verklaren.

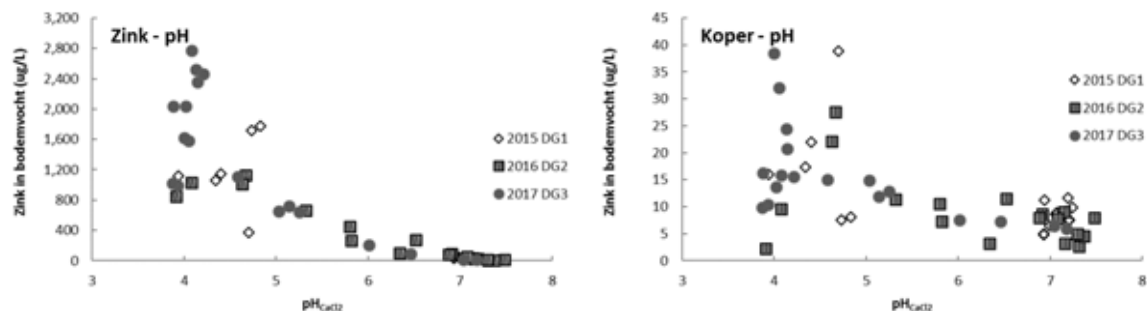
Al eerder (data 2015 en 2016) is aangetoond dat er een (goede) correlatie bestaat tussen het organischestofgehalte en de pH (zie ook figuur 14) en ook de data van 2017 liggen op dezelfde trendlijn als de data uit 2015 en 2016, waarbij een hoger organischestofgehalte overeenkomt met een lagere pH. In die zin wijken de monsters uit 2017 niet af van eerdere monsters, alleen is niet duidelijk waarom de in deze rond bemonsterde deelgebieden dan een hoger organischestofgehalte (en daarmee lagere pH) hebben.



**Figuur 16** Relatie tussen organische stof in de bodem en pH gemeten in  $\text{CaCl}_2$ .

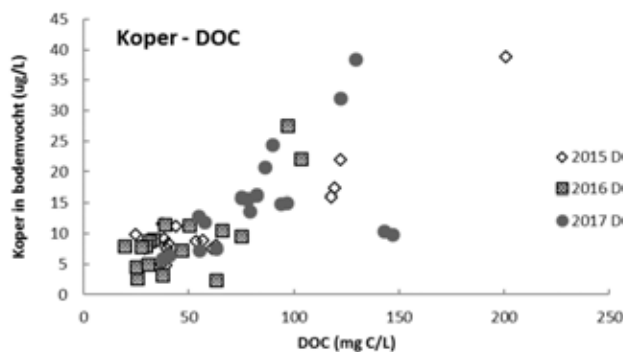
De lagere pH-waarden in de monsters uit 2017 leiden daarmee ook tot hogere gehalten in het bodemvocht ( $\text{CaCl}_2$ -extracten) voor zink, zoals te zien is in figuur 15. De hoogste gehalten aan zink in het bodemvocht worden zonder uitzondering gevonden in de monsters uit 2017. Voor koper is het effect van

de lagere pH-waarden op de concentratie in het bodemvocht wel waarneembaar, maar veel minder extreem (figuur 15, rechts). Deels komt dit omdat koper, meer dan zink, ook zeer sterk bindt aan organische stof wat daarmee het effect van een lagere pH deels compenseert. Zo stijgt het zinkgehalte in oplossing met een factor 250, waar dat voor koper een factor 8 is in hetzelfde pH-traject (7.5 naar 4.5).



**Figuur 17** Relatie tussen pH in het bodemvocht en zink (links) en koper (rechts) voor de monsters uit 2015-2017.

Voor koper geldt bovendien dat, evenals in voorgaande jaren, de concentratie in het bodemvocht veel sterker gereguleerd wordt door het DOC (opgelost koolstof), zoals in figuur 16 is weergegeven voor de data van 2015 t/m 2017.



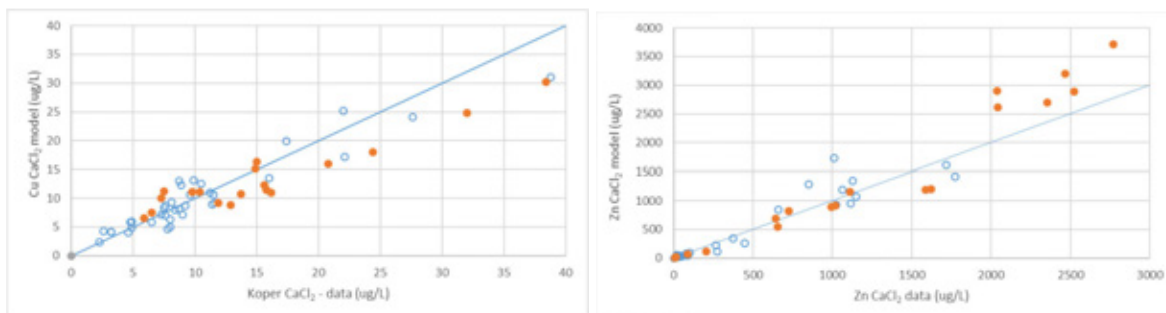
**Figuur 18** Relatie tussen DOC in oplossing en koper in oplossing.

Het lijkt er dus op dat de metingen van de verhoogde zink en, in mindere mate, koper in oplossing te verklaren zijn door de eveneens veranderde waarden in pH, DOC en/of organische stof in de bodem. Dit is getoetst door de data uit 2015 en 2016 te gebruiken om een model af te leiden dat de concentratie in oplossing voor zowel koper als zink voorspelt. Op basis van een statistische analyse blijkt dan dat de concentratie in oplossing voor zink vrijwel uitsluitend voorspeld kan worden met behulp van pH en het zinkgehalte (gemeten met verdund salpeterzuur), terwijl het gehalte aan koper in het bodemvocht voorspeld kan worden met een combinatie van het organischestofgehalte, DOC en het kopergehalte van de bodem (tabel 18).

**Tabel 18** Overzicht van modelcoëfficiënten op basis van de data uit 2015 en 2016 om de gehalten aan koper en zink in het bodemvocht te voorspellen. Data uit 2017 zijn hierin niet verwerkt.

Metaal	Metaalgehalte	Org. Stof	DOC	pH	Constante	R <sup>2</sup>
Koper	0.73	-1.01	1.35	-	-0.85	0.86
Zink	1.39	-	-	-0.66	2.99	0.96

Om te zien of de gemeten waarden in 2017 verklaard kunnen worden op basis van het model afgeleid van de data uit eerdere jaren, is voor elke meting uit 2017 een schatting gemaakt voor koper en zink op basis van deze modellen. In figuur 17 staan daartoe de gemeten en voorspelde waarden, zowel voor de jaren 2015 en 2016 als 2017. Omdat de data uit 2017 niet gebruikt zijn bij de modelafleiding kunnen deze daarom gebruikt worden als onafhankelijke validatie.



**Figuur 19** Vergelijking tussen gemeten en voorspelde gehalten in bodemvocht voor koper (links) en zink (rechts). Open symbolen zijn data uit 2015-2016 en gesloten symbolen zijn data uit 2017.

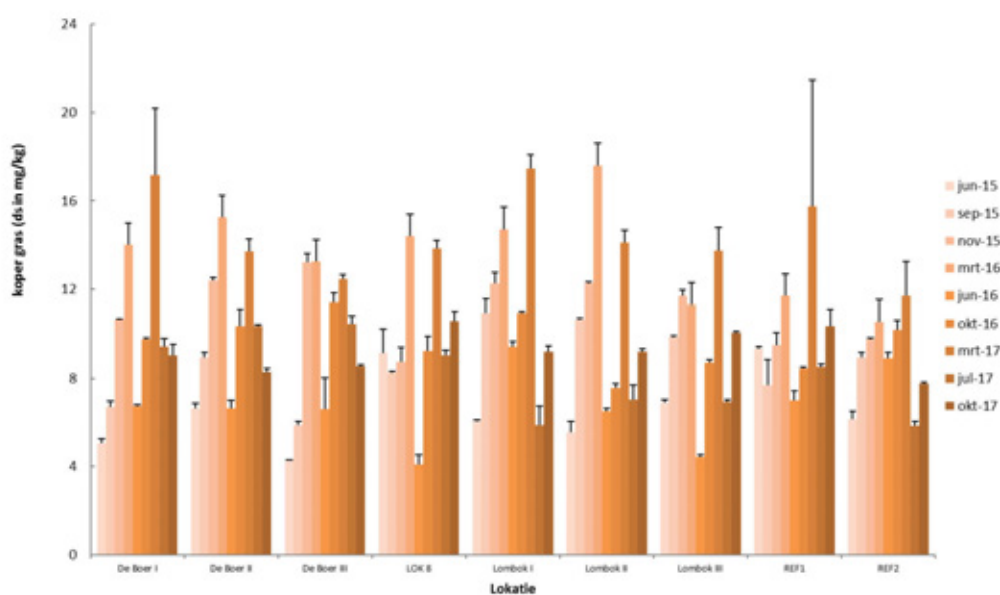
Uit figuur 17 blijkt dat alle waarnemingen uit 2017 zowel voor koper als zink goed verklaard kunnen worden op basis van de bodemeigenschappen.

Daaruit kunnen we concluderen dat de verhoogde gehalten zoals gemeten in het bodemvocht in 2017 vrijwel volledig te verklaren zijn uit de eveneens gewijzigde bodemeigenschappen, waarbij de lagere pH-waarden de verhoogde gehalten aan zink in het bodemvocht verklaren. Waarom de pH in de monsters uit deelgebieden III (2017 data) zo afwijken t.o.v. die in deelgebieden I en II is niet duidelijk.

Een aanvullende monsternamen en analyse van pH in de monsters uit deelgebied I en II kan wellicht antwoord geven op de vraag of de pH-waarden in die deelgebieden eveneens gedaald zijn of dat deze lagere pH-waarden in deelgebied III alleen daar voorkomen en dus afwijken ten opzichte van de pH-waarden in deelgebied I en II.

### 3.4.2 Resultaten gewas

In figuur 18 staan de data van alle monstertijdstippen voor de onderzochte deelgebieden.

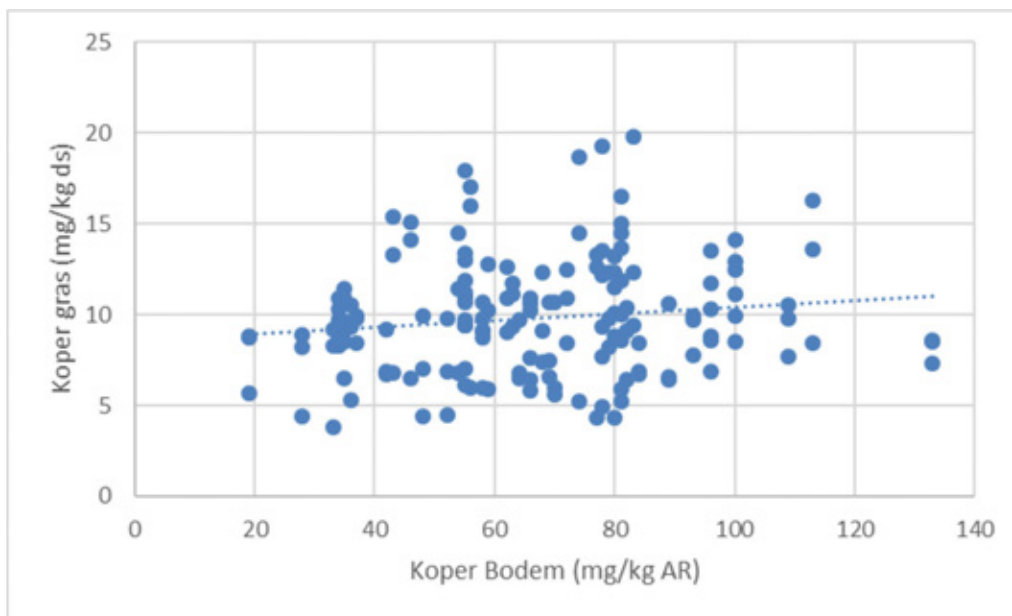


**Figuur 20** Overzicht van de gehalten aan koper in gras van alle locaties.



De gemeten gehalten in oktober 2017 komen daarbij goed overeen met die gemeten in oktober 2016 en september 2015.

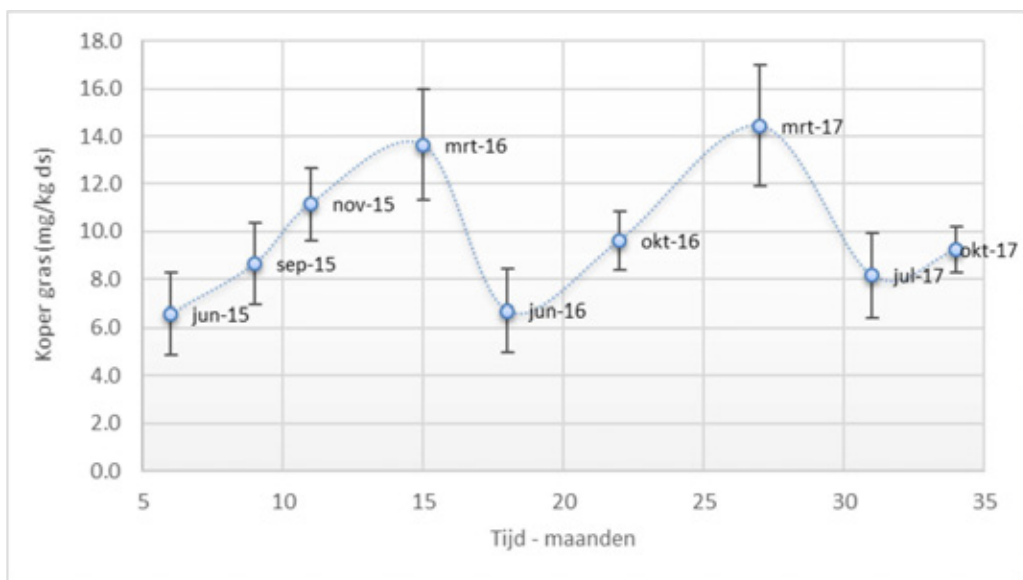
Het feit dat de gehalten aan koper in gras een duidelijke trend vertonen met het seizoen terwijl de gehalten in de bodem gedurende het seizoen (uiteraard) niet variëren, suggereert al dat het verband tussen gehalten in de bodem en die in het gras niet eenduidig is. Dat is ook te zien in figuur 19, waarin het gehalte in de bodem (koper) en dat in gras tegen elkaar uitgezet zijn. Daarbij zijn steeds de waarden voor het betreffende deelgebied genomen waar de grasmonsters uit afkomstig zijn.



**Figuur 21** Relatie tussen het gehalte aan koper in de bodem en in gras, alle monsters uit 2015-2017.

Ofschoon er een zeer zwak verband lijkt te zijn tussen het gehalte in de bodem en dat in gras is de significantie laag ( $R^2$  van de regressielijn is 0.02), wat zoveel betekent dat er geen significant verband bestaat. Ook wanneer andere bodemfactoren meegenomen worden, blijkt dat de variatie in de gemeten gehalten in gras niet te voorspellen zijn aan de hand van de in deze studie bepaalde bodemeigenschappen. De hypothese dat de opname van koper door gras in het Ilperveld samenhangt met de chemische beschikbaarheid in het bodemvocht kan aan de hand van deze data niet bevestigd worden.

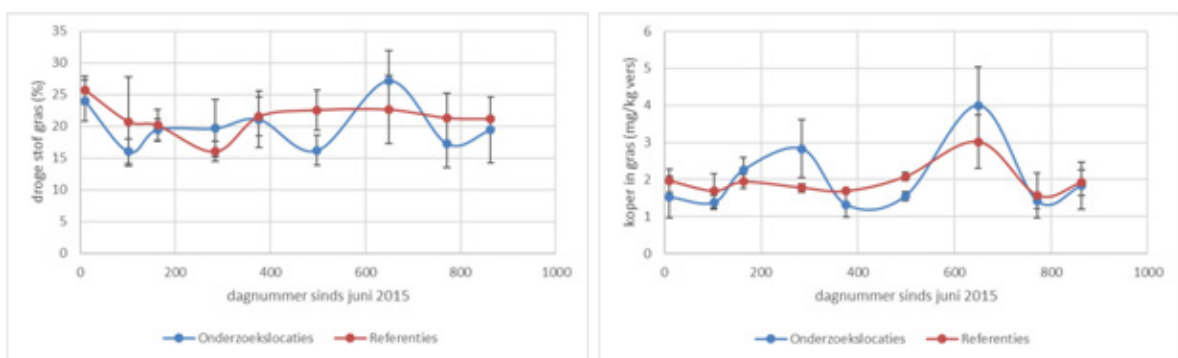
Duidelijk is dat de jaarlijkse variatie in de gehalten van koper in gras, met hogere waarden in de winter en lagere waarden in de zomer, veel belangrijker is als bepalende factor voor het gehalte aan koper in gras. Dit is ook weergegeven in figuur 20, waarbij de data van alle percelen gecombineerd zijn tot een gebiedsgemiddelde waarde voor elk tijdstip. Daarbij zijn de monstertijdstippen omgezet in het aantal maanden dat verstreken is sinds het begin van de monitoring.



**Figuur 22** Fluctuatie in het gemiddelde kopergehalte van alle onderzochte percelen gedurende de periode juni 2015-oktober 2017.

Piekwaarden voor koper in gras worden dus steeds aan het einde van de winter aangetroffen, waarna de gehalten in het voorjaar en zomer sterk dalen. Vanaf september nemen ze dan weer toe. Deze trend is waarschijnlijk een combinatie van langzamere (of geen) groei gedurende het winterseizoen waardoor er wel verdamping en opname plaatsvindt maar geen toename van de biomassa, waardoor het gehalte in de plant stijgt. Daarnaast is ook de kans groter dat er in de periode september-maart opspattende gronddelen op het gras zitten die een verhogend effect hebben op het gemiddelde gehalte in de plant. De gehalten in de grond zijn immers een factor 3 tot 6 hoger dan de interne plantgehalten.

De data in de voorgaande figuren en tabellen zijn steeds op droge stof-basis gegeven. Niet alleen omdat de inname via voer ook op basis van kilogram droge stof wordt gegeven, maar ook om de data met de adviesnorm – die ook op basis van droge stof is – te kunnen vergelijken. Omdat in alle monsters ook het drogestofgehalte is bepaald, kunnen we de gegevens ook op basis van het versgehalte weergeven. In figuur 21 is voor de onderzoeklocaties en de referenties de variatie in het drogestofgehalte en de variatie in het kopergehalte in gras op basis van vers gewicht gegeven.



**Figuur 23** Drogestofgehalte in de onderzoeklocaties (blauw) en referenties (rood, links) en het kopergehalte op basis van versgewicht (rechts).

De data in figuur 21 laten zien dat de variatie in het drogestofgewicht in de referentieplekken iets kleiner is dan die in de onderzoeklocaties. Voor vers gras gemaaid onder goede groeiomstandigheden (mei-juni) geldt dat een drogestofgehalte van 15 tot 17% normaal is. Dergelijke waarden zien we in deze data ook vooral in de data van juli en september. De drogestofgehalten van de monsters uit de

herfst (september-november) en late winter (maart) liggen gemiddeld hoger (20-25%), wat te maken heeft met de mindere groeiomstandigheden. Het drogestofgehalte in gras hangt uiteraard van veel factoren af, zoals weer en lokale bodemomstandigheden. Omdat de monsters steeds op dezelfde dag genomen zijn, zou de invloed van het weer voor zowel onderzoeklocaties als referenties hetzelfde moeten zijn. Ook zijn de verschillen tussen de referenties en onderzoeklocaties niet consistent. Wel blijkt dat op basis van versgewicht (rechterdeel figuur 21) de variatie in de kopergehalten in de referentiepercelen iets kleiner is dan in de onderzoekpercelen (gemiddeld voor alle onderzoekpercelen). Wat de precieze oorzaak voor deze verschillen is, kan op basis van de gemeten bodemeigenschappen echter niet verklaard worden.

Wanneer we de variatie in de gehalten (op basis van droge stof) van alle monsters (onderzoeklocaties en referenties) samen nemen, blijkt dat de seizoensvariatie uiteindelijk groter is dan de verschillende tussen de locaties onderling (zie data in tabel 19).

**Tabel 19** Minimum-, mediaan- en maximumgehalten aan koper in gras (in mg kg<sup>-1</sup> ds) voor alle locaties gemiddeld per bemonsteringstijdstip.

Datum:	2015				2016			2017	
	Juni	September	November	Maart	Juni	Oktober	Maart	Juli	Oktober
Minimum	4.3	5.9	8.8	10.6	4.1	7.6	11.7	5.9	7.8
Mediaan	6.2	9.0	11.7	14.0	6.7	9.8	13.9	8.5	9.2
Maximum	9.4	11.0	13.2	17.6	9.5	11.4	17.5	10.5	10.6

Uit de data in tabel 19 blijkt dat de mediane waarden in alle tijdstippen onder de gehanteerde norm voor koper in gras (15 mg kg<sup>-1</sup>ds) blijft. De getallen in tabel 19 zijn daarbij gebaseerd op de individuele metingen in alle deelgebieden. Alleen in de monsters uit maart overschrijdt een klein deel van de monsters deze advieswaarde, waarbij overigens blijkt dat dit niet steeds in dezelfde locaties voorkomt. Sterker nog, in geen van de onderzochte percelen waar een gehalte van meer dan 15 mg kg<sup>-1</sup> ds in gras gemeten wordt, ligt het kopergehalte in beide jaren boven deze waarde (in de overige meetperioden wordt in geen enkele locatie de grenswaarde overschreden) zoals in tabel 20 te zien is.

**Tabel 20** Overzicht van locaties waarin de advieswaarde van 15 mg kg<sup>-1</sup> in maart overschreden is en gemiddelde gehalten aan koper in gras in die locaties.

Locatie	Maart 2016	Maart 2017
De Boer-I	14.0	17.2
De Boer-II	15.3	13.7
Lombok-I	14.7	17.5
Lombok-II	17.6	14.1
REF-I	11.7	15.8

In de in dit onderzoek meegenomen percelen is dus in geen enkel perceel sprake van een overschrijding van de advieswaarden in beide jaren. Bovendien worden ook in de referentiepercelen (REF1) dergelijke waarden aangetroffen. Dit wijst erop dat de hogere waarden aan koper in gras niet noodzakelijk gerelateerd zijn aan de hogere gehalten aan koper in de grond. Dit wordt geïllustreerd door het kopergehalte in de bodem van locatie REF1, waar in maart 2016 een grasmonster is genomen. Dit bedraagt 108 mg kg<sup>-1</sup> (deelgebied 2), terwijl het bodemgehalte van de plek waar in maart 2017 een monster is genomen slechts 37 mg kg<sup>-1</sup> bedraagt. De gehalten in het gras zijn echter hoger in 2016 dan in 2017 (voor REF1). Het is dus mogelijk dat een zeer groot deel van de variatie van de gehalten aan koper in gras voornamelijk bepaald worden door 'toevalsfactoren', zoals het opspatten van grond, meer dan dat er echt sprake is van veel hogere opname uit de bodem via de wortels. Dat betekent daarmee ook dat het voorspellen van een gehalte aan koper in gras op basis van bodemeigenschappen of het gehalte aan koper in de bodem zelf vrijwel niet mogelijk is anders dan het aangeven van een te verwachten bandbreedte waarbinnen de gehalten zich zullen bevinden.

Ten aanzien van de gewaskwaliteit kan dus geconcludeerd worden dat:

1. Er in de periode juni-november in geen enkel onderzocht perceel sprake is van een verhoogd kopergehalte in gras in die zin dat een gewas-adviesnorm wordt overschreden.
2. In de periode december-maart is er steeds in drie van de negen onderzochte percelen sprake van een (lichte) overschrijding van een gewas-adviesnorm. Dit betreft in 2016 echter andere percelen dan in 2017. De overschrijdingen komen dus niet voor in dezelfde percelen.
3. Er is in alle percelen (locaties) sprake van een duidelijke jaarlijkse fluctuatie met een piek in de data van maart en een minimum in de data van juni.
4. Er bestaat geen significante relatie tussen het kopergehalte van de grond noch een van de andere gemeten bodemfactoren en de gehalten in gras.
5. De variatie in het gehalte wordt derhalve deels door groeifactoren bepaald (snelle grasgroei = lagere gehalten) en toevalsfactoren als het opspatten van grond.
6. De variatie in de gehalten aan koper in gras zijn in de referentiepercelen bijna net zo groot als die van de onderzoeklocaties.

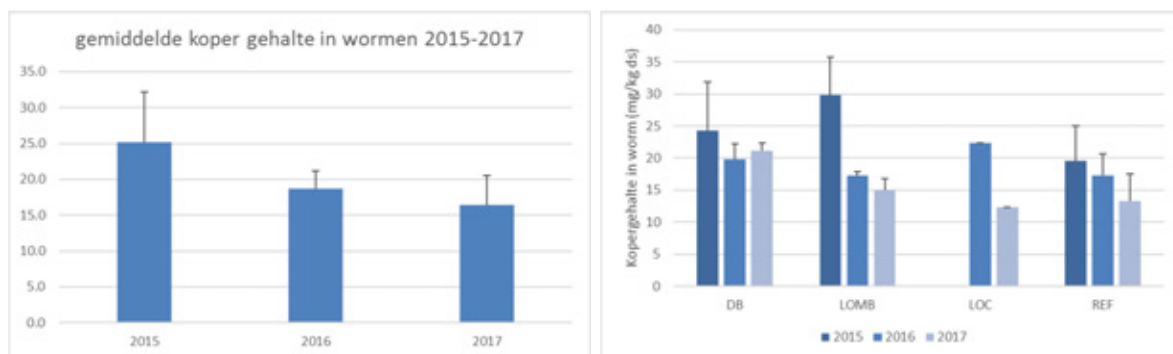
### 3.4.3 Resultaten wormen

In het onderzoek in Ilperveld zijn gedurende drie jaar de gehalten aan koper in regenwormen gemeten. Daartoe zijn jaarlijks (1x per jaar) monsters genomen van alle negen vakken. Omdat regenwormen een cruciale schakel vormen in het bodemecosysteem, zowel als organisme maar ook in de voedselketen voor bijvoorbeeld mollen en foeragerende vogels, zijn ze in deze studie als testorganisme gebruikt. De vragen die daarbij centraal staan, zijn tweeledig:

1. Wat zijn de gehalten in de regenworm in de drie opeenvolgende jaren en hoe verhouden die zich met de gehalten zoals elders aangetroffen (literatuurdata)?
2. Is er bij die gehalten dan sprake van ecologische risico's, zowel voor de regenworm zelf als voor foeragerende vogels?

#### Gehalten aan koper in regenwormen 2015-2017

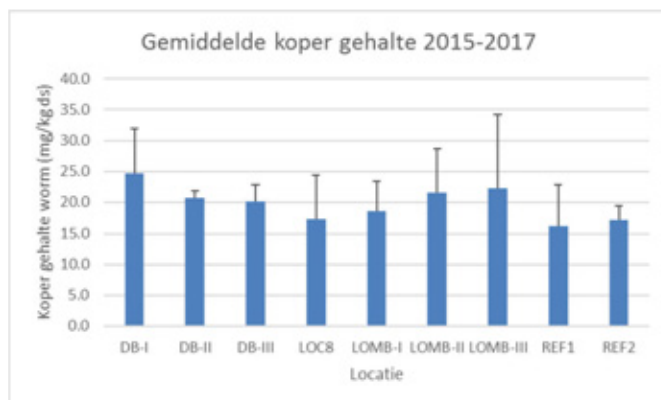
De gemeten gehalten van wormen in de periode 2015-2017 variëren van 10.3 tot 35.8 mg kg<sup>-1</sup> voor alle onderzochte plekken, inclusief de referentieplekken (figuur 22). Over de hele periode is het gemiddeld in alle metingen 19.9 ± 5.9 mg kg<sup>-1</sup>, maar dit varieert licht in de tijd (gemiddelde van de locaties per jaar voor de drie jaren in het onderzoek, figuur 22) als tussen locaties (gemiddelde per locatie voor drie jaar).



**Figuur 24** Gemiddeld kopergehalte in wormen per jaar voor alle locaties (links) en uitgesplitst naar locatie (gemiddelde voor alle deelgebieden per locatie, rechts).

De data laten zien dat er op basis van deze metingen sprake zou zijn van een lichte daling in 2016 en 2017 t.o.v. 2015. Het aantal metingen is echter beperkt, waardoor de significantie van deze verschillen laag is voor de afzonderlijke locaties. De verschillen op jaarbasis voor alle locaties (linkerdeel figuur 22) zijn significant voor 2015 t.o.v. 2016 en 2017, d.w.z. de gehalten in 2015 zijn lager dan die in 2016 en 2017. De verschillen tussen 2016 en 2017 zijn echter niet significant. Ongeacht de grootte van de verschillen kan in elk geval geconcludeerd worden dat de gehalten in de

wormen gedurende de onderzoeksperiode niet gestegen zijn als gevolg van eventuele rijping of verandering in bodemcondities.



**Figuur 25** Variatie in kopergehalte per locatie gedurende de periode 2015-2017.

Tussen de locaties zijn kleine verschillen, waarbij echter de variatie toeneemt naarmate er hogere waarden gevonden worden (o.a. in De Boer-I). Bovendien zijn de verschillen klein: de laagste waarde per locatie bedraagt 17.3 mg kg<sup>-1</sup> en de hoogste 24.7 mg kg<sup>-1</sup>. De waarden in de referentieplekken zijn iets lager dan in de onderzoeklocaties, gemiddeld 16.7 (voor de referenties) tegen 20.9 mg kg<sup>-1</sup> in de locaties. Dit verschil is weliswaar significant ( $P < 0.05$ ), maar deze significantie is minimaal en leunt sterk op de waarden uit DBI (zonder deze locatie is het verschil niet significant). De invloed van de kwaliteit van de afdekklagen of het materiaal in de ondergrond is daarmee dus niet of ten hoogste zeer beperkt van invloed op de gehalten aan koper in de wormen.

De hier aangetroffen gehalten in wormen wijken ook niet af van wat in vergelijkbare gronden gevonden wordt. Zo rapporteren Nanonni et al. (2014) dat kopergehalten in wormen in bodems uit Sienna met normale tot licht verhoogde gehalten (21-101 mg kg<sup>-1</sup>) variëren van 8.1 tot 35 mg kg<sup>-1</sup>. Ook in deels schone, deels verontreinigde bodems uit Kosovo (Nanonni, 2011) met kopergehalten tussen 18 en 128 mg kg<sup>-1</sup> liggen de gehalten in de worm tussen 11.9 en 25.4 mg kg<sup>-1</sup>. Daarbij werd geen relatie tussen het gehalte in de bodem en die in de worm gevonden. Werk van Ma (2005) rapporteert gehalten aan koper in worm tussen 8 en 58 mg kg<sup>-1</sup> in bodems met gehalten tussen 2.4 en 174 mg kg<sup>-1</sup>. Veldonderzoek van Hobbelen et al. (2006) in de Biesbosch, met deels verhoogde kopergehalten tussen 60 en 300 mg kg<sup>-1</sup>, rapporteert kopergehalten tussen 22 en 73 mg kg<sup>-1</sup>, waarden die net iets hoger zijn dan de gevonden gehalten in de wormen in het IJperveld. Daarbij werd ook een relatie tussen het kopergehalte in de bodem en die in de worm aangetoond ( $R^2$  Cu-bodem en Cu-worm 0.62). In de studie van Hobbelen et al. (2006) staat ook een overzicht van gerapporteerde referentiegehalten zowel in de bodem als in de worm. Voor wormen liggen de referentiegehalten daarbij tussen 4.6 en 40 mg kg<sup>-1</sup> in bodems met gehalten tussen 5.1 en 44 mg kg<sup>-1</sup>. De variatie in gehalte in de bodem is daarbij ongeveer dezelfde als die in de worm. Dit laatste is recentelijk ook weer door Wang et al. (2018) gerapporteerd: in een veldstudie in Hunan (China) vinden zij een bio-accumulatiefactor (gehalte worm-gehalte bodem) van 1 à 1.5, wat daarmee ook neerkomt op een vergelijkbaar gehalte in zowel de bodem als in de worm.

Voor een deel zijn deze studies uitgevoerd met gronden die veelal lagere organischestofgehalten kennen. De studie van Giska et al. (2014) is echter uitgevoerd in gronden met een organischestofgehalte variërend van 36 tot 54% en kopergehalten tussen 27 en 67 mg kg<sup>-1</sup>. De interne gehalten van de worm in deze studie variëren van 10 tot 20 mg kg<sup>-1</sup> en zijn daarmee grotendeels vergelijkbaar. Afwijkend van een deel van de resultaten uit andere studies was dat in de studie van Giska et al. (2014) geen verband kon worden aangetoond tussen de variatie in de gehalten aan koper in de bodem en die in de worm. Dit gold ook voor zink, maar niet voor cadmium en lood, waaruit de auteurs concluderen dat koper- en zinkgehalten door de wormen gereguleerd worden.

Deze data tonen in elk geval aan dat de gehalten in de wormen zoals gevonden in het Ilperveld niet afwijken van die welke normaal aangetroffen worden, zowel in natuurlijke als deels verontreinigde bodems.

Belangrijker nog echter is de vraag of deze gehalten in de worm schadelijk zijn, in eerste instantie voor de worm zelf en in de voedselketen richting dieren die wormen eten (o.a. mollen en vogels). Het vaststellen van effecten van metalen op organismen is experimenteel lastig, onder andere vanwege de complexe chemie van stoffen in de bodem in relatie tot de herkomst. Zo worden bodems vaak kunstmatig verrijkt (spiking) met het metaal dat onderzocht wordt, maar daarmee wordt vaak de chemische beschikbaarheid in de bodem beïnvloed, of beter, deze is dan niet hetzelfde als die van metalen die al in de bodem waren.

De resultaten van studies die risicogrenzen voor wormen bepalen, kunnen gegeven worden als kritische gehalten in de worm zelf of als kritisch gehalte in de bodem. Hier vergelijken we de resultaten van een aantal van deze studies om een indruk te krijgen van de kwaliteit van de bodem en de mogelijke ecologische risico's. Dat is samengevat in tabel 21.

**Tabel 21** Overzicht van enkele studies naar kritische gehalten aan koper in worm en bodem.

Studie	Jaar	Kritisch gehalte		Noot
		bodem	worm	
<b>Ma</b>	2005		Effecten waargenomen in de range van 6-60 mg kg <sup>-1</sup> (gespikete gronden). Effecten in de veld studie aangetoond bij gehalten van 24 tot 40 mg kg <sup>-1</sup> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deels met gespikete gronden, deels metingen in grond behandeld met slib.</li> <li>Goede relatie tussen gehalte in de grond (HNO<sub>3</sub>) en worm.</li> </ul>
<b>Duan et al.</b>	2016	EC <sub>10</sub> <sup>1</sup> 10 – 270 mg kg <sup>-1</sup> EC <sub>50</sub> <sup>2</sup> 30 – 380 mg kg <sup>-1</sup>	EC <sub>10</sub> : 10-45 mg kg <sup>-1</sup> EC <sub>50</sub> : 16-63 mg kg <sup>-1</sup>  Relatie tussen EC en samenstelling bodem, lage EC vooral in gronden met (zeer) laag OC.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gronden met laag organische stof (OC &lt; 3%), brede pH range (4-8).</li> <li>EC waarden gerelateerd aan organische stof in de bodem.</li> </ul>
<b>Criel et al.</b>	2008	NOEC <sup>3</sup> : 54 - > 900 mg kg <sup>-1</sup> LOEC <sup>4</sup> 52 - > 1500 mg kg <sup>-1</sup>  Voor een veengrond (Zegveld): NOEC: 119 – 162 mg kg <sup>-1</sup>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Relatie tussen effectniveaus en organische stof-CEC van de bodem.</li> </ul>

<sup>1</sup> Concentratie waarbij 10% van de soort een effect vertoont.

<sup>2</sup> Concentratie waarbij 50% van de soort een effect vertoont.

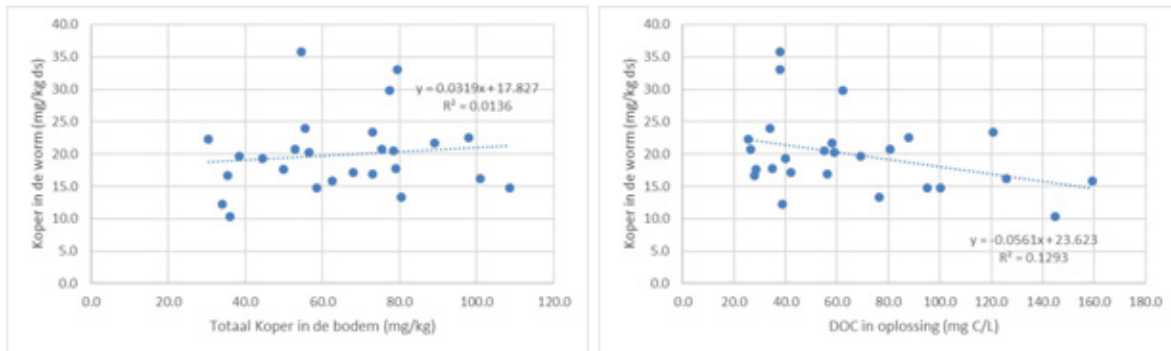
<sup>3</sup> Concentratie waarbij geen effect wordt aangetoond (No Observed Effect Concentration).

<sup>4</sup> Laagste concentratie waarbij een effect wordt aangetoond (Lowest Observed Effect Concentration).

Ofschoon een deel van de kritische waarden in de worm en bodem in de tabel in dezelfde orde van grootte ligt als gehalten in worm en bodem gemeten in het Ilperveld, moet daarbij wel bedacht worden dat de vermelde ranges ook betrekking hebben op gronden met lage organischestofgehalten. In bijna alle studies wordt namelijk een verband gevonden tussen het organischestofgehalte (of de CEC van de bodem) en het kritische gehalte waarbij effecten optreden. In zowel de studie van Criel (2008) als die van Duan et al. (2016) staan relaties tussen het organischestofgehalte van de bodem en de kritische gehalten aan koper in de bodem wat betreft effecten op wormen. Op basis van een organischestofgehalte tussen 20 en 60% zoals gemeten in de onderzochte percelen levert dit een kritisch gehalte aan koper in de bodem op tussen 200 en 500 mg kg<sup>-1</sup>.

### Relatie tussen de gehalten aan koper in de worm en bodemeigenschappen

In de onderzochte locaties is er maar zeer beperkt sprake van een duidelijke relatie tussen de gemeten bodemeigenschappen enerzijds en het kopergehalte in de wormen anderzijds. Alleen voor het totale kopergehalte in de bodem (figuur 24, links) en DOC (figuur 24, rechts) kan een zwak verband met de gehalten aan koper in de worm aangetoond worden. De kopergehalten in wormen nemen daarbij iets toe met de kopergehalten in de bodem, maar de relatie is zwak. Bij hoge gehalten aan DOC nemen de kopergehalten in de worm juist af ondanks het feit dat bij hoge DOC-gehalten de totale hoeveelheid opgelost koper toeneemt. Dit zo op het oog tegenstrijdige feit duidt erop dat de biobeschikbaarheid van het koper in oplossing voor wormen bij hoge DOC-gehalten afneemt.



**Figuur 26** Relaties tussen kopergehalten in de worm en de bodem (links) en tussen het kopergehalte in de worm en DOC (rechts).

Daarmee lijkt de opname van de worm in de gronden van het IJperveld dus zowel door inname van koper met grond (opname via het darmsysteem) alsook via de huid (opname van beschikbaar koper) gereguleerd te worden. De eerste, darmopname, is daarbij vooral gerelateerd aan de totale hoeveelheid koper in bodemdelen die door de worm gegeten worden, terwijl de tweede, opname via de huid, vooral bepaald wordt door de beschikbaarheid van koper in het bodemvocht. Zoals gezegd, is de relatie op basis van koper in de bodem en DOC aan de ene kant en de gehalten in de worm aan de andere kant zwak. De hoogste gehalten aan koper in de worm worden ook niet aangetroffen bij de hoogste gehalten in de bodem. Dit komt overeen met o.a. resultaten van Giska et al. (2014), die stellen dat kopergehalten in de worm grotendeels actief gereguleerd worden door de worm zelf en niet zozeer door de omgevingsfactoren. Sterke relaties tussen gehalten aan koper in wormen en grond worden dan ook vooral gevonden in studies waarbij koper aan de grond is toegevoegd (o.a. Ma, 2005), waardoor de chemische en biologische beschikbaarheid duidelijk afwijken (lees: hoger zijn) van die in gronden waar het koper van nature aanwezig is of al gedurende langere (> jaar) tijd in de bodem gebonden is. Resultaten van dit veldonderzoek laten daarmee ook zien dat relaties op basis van laboratoriumonderzoek maar beperkt of niet van toepassing zijn op veldsituaties. Concluderend geldt dan ook dat er in de onderzochte locaties in het IJperveld geen aanwijzing is dat de gehalten aan koper in wormen sterk bepaald worden door de in het gerijpte materiaal aanwezige koper.

### Samenvattend kan op basis van de velddata en de beschikbare literatuur gesteld worden dat:

- De gehalten in de wormen in het IJperveld niet afwijken van die uit andere studies in deels vergelijkbare bodems.
- Er dus geen afwijkende opname van koper door wormen is vastgesteld door de aanwezigheid van bagger en/of afdekkingen.
- De gehalten in de wormen lager zijn dan gerapporteerde kritische grenzen in wormen waarbij effecten zijn waargenomen.
- De op basis van de literatuur berekende kritische kopergehalten voor de typische bodem in het IJperveld 2 tot 5 keer hoger ligt dan de maximaal aangetroffen gehalten in het IJperveld zelf.
- Er dus geen reden is om aan te nemen dat de bagger of de rijping van de bagger of de kwaliteit van de afdeklaag tot een ecologisch effect voor de worm heeft geleid.

- De gehalten in met name De Boer 1 en Lombok 1 lijken daarbij wat hoger dan die in de andere deelgebieden, ofschoon de variatie tussen jaren en locaties klein is en deels niet significant.

### 3.4.4 Absorptie van koper uit gras

Net als in 2015 en 2016 gebruiken we de data in bodem en gewas om een – theoretische – inname van koper door schapen te berekenen, zie tabel 22. Daarbij is ook nu weer de totale inname via grond en gewas berekend volgens de aannames in par 3.2.4.

**Tabel 22** Gehanteerde gehalten in bodem ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en gewas ( $\text{mg kg}^{-1}$  ds) voor de berekening van de blootstelling (data 2017, vergelijk tabel 11).

Locatie	Gras			Bodem		
	Maart	Juni	Oktober	Aqua Regia	HNO <sub>3</sub>	Ratio HNO <sub>3</sub> -AR
De Boer-I	17.2	9.5	9.1	56.5	29.1	0.52
De Boer-II	13.7	10.4	8.3	75.5	35.3	0.47
De Boer-III	12.5	10.5	8.6	98.0	51.4	0.52
Locatie 8	13.9	9.1	10.6	34.0	21.1	0.62
Lombok-I	17.5	5.9	9.2	58.5	31.0	0.53
Lombok-II	14.1	7.1	9.2	73.0	37.9	0.52
Lombok-III	13.8	7.0	10.1	80.5	40.9	0.51
REF-I	15.8	8.5	10.4	36.0	13.6	0.38
REF-II	11.7	5.9	7.8	101.0	52.7	0.52
Minimum	11.7	5.9	7.8	34.0	13.6	0.38
Gemiddelde	14.4	8.2	9.2	68.1	34.7	0.51
Maximum	17.5	10.5	10.6	101.0	52.7	0.62

**Tabel 23** Berekende risico-index voor de inname van koper op basis van Aqua Regia (links) en HNO<sub>3</sub> (rechts), data 2017; vergelijk data tabel 12; waarden hoger dan 1 zijn schreefgedrukt.

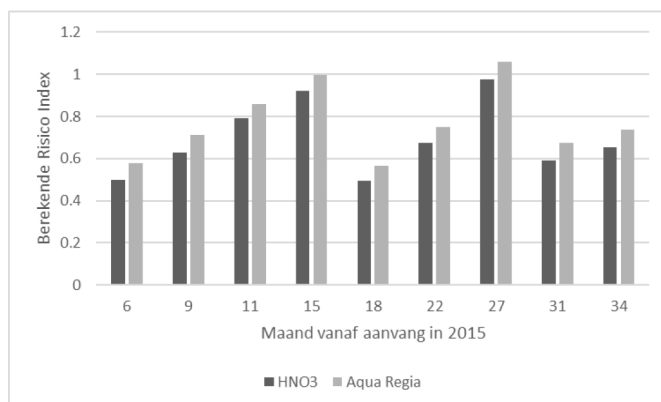
Locatie	Op basis van Aqua Regia			Op basis van HNO <sub>3</sub>		
	Maart	Juni	Oktober	Maart	Juni	Oktober
De Boer-I	1.20	0.72	0.70	1.13	0.66	0.63
De Boer-II	1.03	0.83	0.70	0.93	0.73	0.60
De Boer-III	1.01	0.89	0.77	0.90	0.77	0.65
Locatie 8	0.94	0.64	0.74	0.91	0.61	0.71
Lombok-I	1.22	0.51	0.71	1.15	0.44	0.64
Lombok-II	1.05	0.62	0.75	0.96	0.53	0.66
Lombok-III	1.05	0.63	0.82	0.95	0.53	0.72
REF-I	1.06	0.61	0.73	1.01	0.56	0.67
REF-II	0.97	0.61	0.73	0.85	0.49	0.61
Minimum	0.94	0.51	0.70	0.85	0.44	0.60
Gemiddelde	1.06	0.67	0.74	0.98	0.59	0.66
Maximum	1.22	0.89	0.82	1.15	0.77	0.72

### Conclusies ten aanzien van blootstellingsberekening voor schapen 2017:

De data in tabel 23 laten zien dat de totale blootstelling door inname van gras en grond varieert van 0.5 in juni tot 1.2 in maart. Gedurende het seizoen is te zien dat de inname toeneemt in de data van oktober en piekt in maart, wat het gevolg is van de stijging van de gehalten in gras. Daarbij zien we in 2017, net als in voorgaande jaren, dat de blootstelling in die percelen waar, in maart, sprake is van een overschrijding van de inname (DB-1, LOMB-1), in juni een sterke daling is naar waarden tussen 0.5 en 0.7. Overigens worden in 2017 de maximale waarden voor de inname van koper voor andere locaties berekend dan in 2016. Dit is het gevolg van zowel de variatie in de gehalten in gras als bodem, de maxima worden in de drie jaren niet steeds in dezelfde percelen aangetroffen.



Omdat ook in 2017 het reactieve gehalte ( $\text{HNO}_3$ -extractie) lager is dan het totaalgehalte (Aqua Regia), daalt de inname en daarmee de berekende risico-index licht wanneer de inname berekend wordt aan de hand van de reactieve metaalgehalten. Omdat gras nog steeds de belangrijkste bron voor de inname van koper is (gemiddeld 75 tot 85% van de inname), maakt het voor de risico index niet heel veel uit of die op basis van Aqua Regia of  $\text{HNO}_3$  berekend wordt, zoals te zien is in figuur 25 voor alle tijdstippen (gemiddelde waarden voor alle monsters per bemonsteringsronde).



**Figuur 27** Variatie in de gemiddelde berekende risico index voor alle percelen per monsterronde op basis van Aqua Regia of  $\text{HNO}_3$  (inclusief de inname van gras).

Ook voor gras geldt dat de inname in maart hoger is dan in juni en september, wat het gevolg is van de relatief hoge gehalten aan koper in gras in maart.

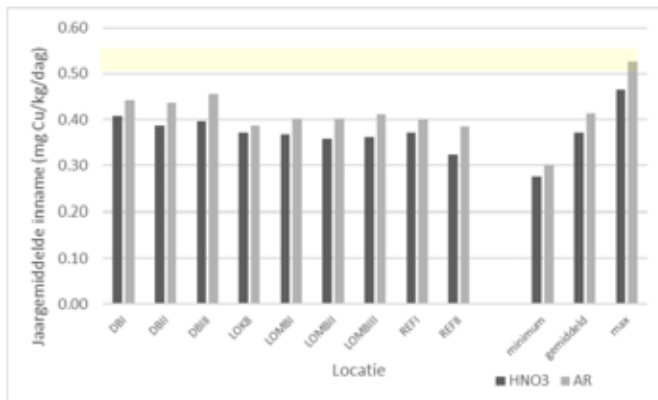
Op basis van de gecombineerde data uit 2015, 2016 en 2017 blijkt dus dat er in de periode oktober-maart sprake is van een duidelijk verhoogde inname aan koper, wat grotendeels te wijten is aan de verhoogde gehalten in gras in deze periode.

De resultaten voor de hele looptijd van het onderzoek geven daarmee een consistent beeld, waarbij er sprake is van een duidelijke toename van de blootstelling in het winterseizoen, gevolgd door een sterke daling vanaf het voorjaar tot en met de herfst. Daarbij is er niet zozeer sprake van overschrijding van de norm voor groenvoer (gras,  $15 \text{ mg kg}^{-1}$ ), maar overschrijdt de totale inname de berekende TDI (tolerable daily intake) wanneer we de dagelijkse inname van gras en grond vergelijken met de teruggerekende TDI uit de normwaarden (voor gras en grond). Dat zou betekenen dat er ook bij gehalten in gras lager dan  $15 \text{ mg kg}^{-1}$  sprake kan zijn van een te hoge inname van koper door schapen.

Deze vaststelling komt overigens overeen met de berekende maximale inname van koper door 'gevoelige' rassen (CVB, 2005), die op basis van de berekende actuele absorptie (dezelfde berekening als hier gedaan, zie o.a. discussie 2015) een maximaalgehalte van 5 tot  $14 \text{ mg kg}^{-1}$  in voeder berekent als grenswaarde, waarboven de dagelijkse inname mogelijk tot effecten leidt. Daarmee wordt feitelijk de normwaarde van  $15 \text{ mg kg}^{-1}$  in voer voor schapen weer deels in twijfel getrokken.

Op basis van de data in 2017 is daarom berekend wat de jaargemiddelde inname van koper is op basis van de gehalten gemeten in gras en bodem. Daarbij is aangenomen dat de gehalten in gras geldig zijn voor een aantal maanden (figuur 26). Hier nemen we aan dat de data van maart gelden voor de periode december-maart (121 dagen), de data van juni voor de periode april-augustus (153 dagen) en de data van oktober voor de periode september t/m november (91 dagen). De gehalten in grond en de dagelijkse inname daarvan worden het hele jaar constant verondersteld en zijn gelijk aan de gemeten waarde voor de onderzoeklocaties (en referenties). Door de gehalten in gras en grond te vermenigvuldigen met het aantal dagen per periode en die totale inname weer te delen door 365, is een jaargemiddelde dagelijkse inname berekend. Deze is gegeven voor alle afzonderlijke locaties en als minimum, gemiddelde en maximum voor alle locaties tezamen. Het minimum en maximum zijn daarbij berekend op basis van de laagste en hoogste waarde voor de betreffende periode van alle percelen. Het geel gearceerde gebied geeft de bandbreedte van de

gehanteerde normen aan ( $0.51\text{--}0.55\text{ mg Cu kg}^{-1}\text{ dag}^{-1}$ ) zoals gerapporteerd in de literatuur of berekend op basis van de toegestane gehalten in bodem (LAC voor schapen) en de advieswaarde voor koper in gras ( $15\text{ mg kg}^{-1}$ ).



**Figuur 28** Jaargemiddelde dagelijkse inname van koper door schapen op basis van de gemeten gehalten in gras en grond en de variatie over alle percelen (min., gemiddeld, max.).

De data in figuur 26 tonen dat de dagelijkse inname in geen enkele locatie boven de berekende risicogrens uitkomt. Voor Referentie I geldt bovendien dat de inname in dezelfde orde van grootte ligt als die van de locaties Lombok en Locatie 8. De inname in de percelen van locatie De Boer liggen gemiddeld iets hoger, maar op jaarbasis nog steeds lager dan de risicogrens. Alleen de inname op basis van een worstcasescenario, gebruikmakend van de maximaal gemeten gehalten in maart ( $15.5\text{ mg kg}^{-1}$ ), juni ( $10.5\text{ mg kg}^{-1}$ ) en oktober ( $10.6\text{ mg kg}^{-1}$ ), in combinatie met het hoogst gemeten kopergehalten uit alle percelen in 2017 ( $101\text{ mg kg}^{-1}$ ), zou leiden tot een jaargemiddelde inname van  $0.53\text{ mg Cu kg}^{-1}\text{ dag}^{-1}$ , wat daarmee in het bereik ligt van de risicogrens zoals hier gehanteerd. De kans dat een schaap gras en grond inneemt volgens dit scenario is echter nihil. De gemiddelde inname op dagbasis varieert dan ook van  $0.37\text{ mg Cu kg}^{-1}\text{ dag}^{-1}$  ( $\text{HNO}_3$ ) tot  $0.41\text{ mg Cu kg}^{-1}\text{ dag}^{-1}$  (AR) en blijft daarmee onder de risicogrens.

## 4 Regiospecifieke waarden voor bodem en gras en ruimtelijke beelden van de metingen 2015-2017

Een van de doelen van het project was om voor het IJperveld na te gaan wat karakteristieke waarden zijn die representatief zijn voor de samenstelling van bodem en gewas. In tabel 24 (gras) en tabel 25 (bodem) staan daartoe de gebiedsgemiddelde waarden (P5-P50-Gemiddelde-P95) voor alle locaties en bemonsteringstijdstippen. Zowel voor bodem als voor gras is in de drie jaar die de monitoring heeft geduurd, vastgesteld dat de variatie in de meeste parameters niet wezenlijk verschilt wanneer we de referentiesites en de verschillende locaties bekijken. In aanvulling op de tabellen staan daarom in figuur 27 de gemiddelde waarden per deellocatie gegeven in kaartvorm.

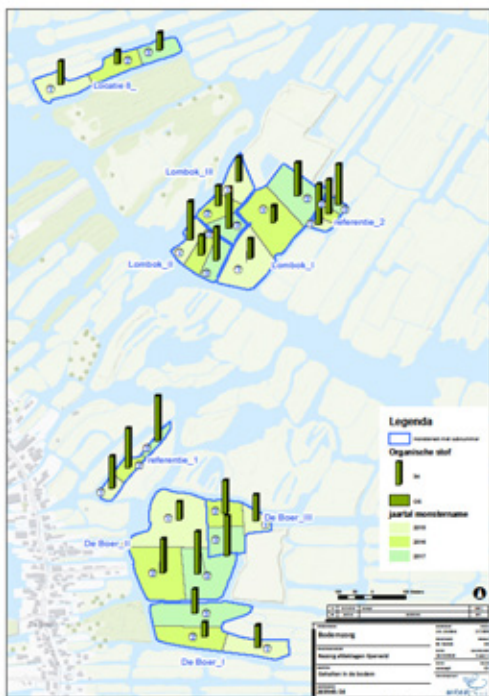
**Tabel 24** Kentallen gras (alle data 2015-2017).

Percentiel	Cu mg kg <sup>-1</sup> ds	S mg kg <sup>-1</sup> ds	Mo mg kg <sup>-1</sup> ds	Vocht %	Ds %	Cu-Mo ratio
5%	5.2	2.3	1.2	71.4	13.1	1.2
50%	9.5	3.5	2.8	80.3	19.7	3.3
Gemiddelde	9.8	3.9	3.3	79.7	20.3	4.0
95%	15.4	6.0	6.8	86.9	28.6	8.6

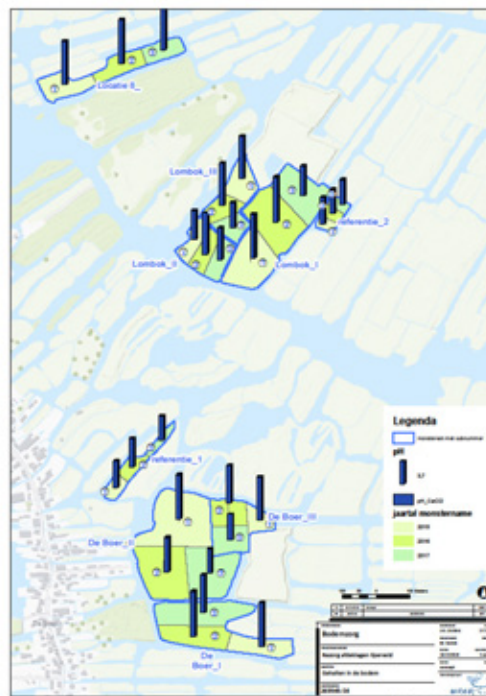
**Tabel 25** Kentallen bodem (alle data 2015-2017).

Percentiel	SOM %	pH CaCl <sub>2</sub>	DOC mgC L <sup>-1</sup>	AR-extractie (Totaal)			
				Cu	S	Zn	Mo
				mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
5%	20.5	3.9	25	33	4.8	97	1.2
50%	46.3	5.9	55	66	9.2	232	2.1
Gemiddelde	43.2	5.8	65	67	9.7	224	2.4
95%	63.1	7.3	142	109	20.2	349	4.7

Percentiel	HNO <sub>3</sub> -extractie (Reactief)			CaCl <sub>2</sub> -extratie (bodemvocht)			
	Cu	Zn	Mo	S	Cu	Mo	Zn
	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	µg L <sup>-1</sup>	µg L <sup>-1</sup>	µg L <sup>-1</sup>
5%	13.8	72.8	0.0	10.8	3.2	0.2	11.2
50%	33.8	187.0	0.1	34.4	9.4	1.5	268.0
Gemiddelde	35.4	176.0	0.1	141.4	12.0	2.1	676.4
95%	63.5	270.2	0.1	416.6	31.8	5.6	2462.4



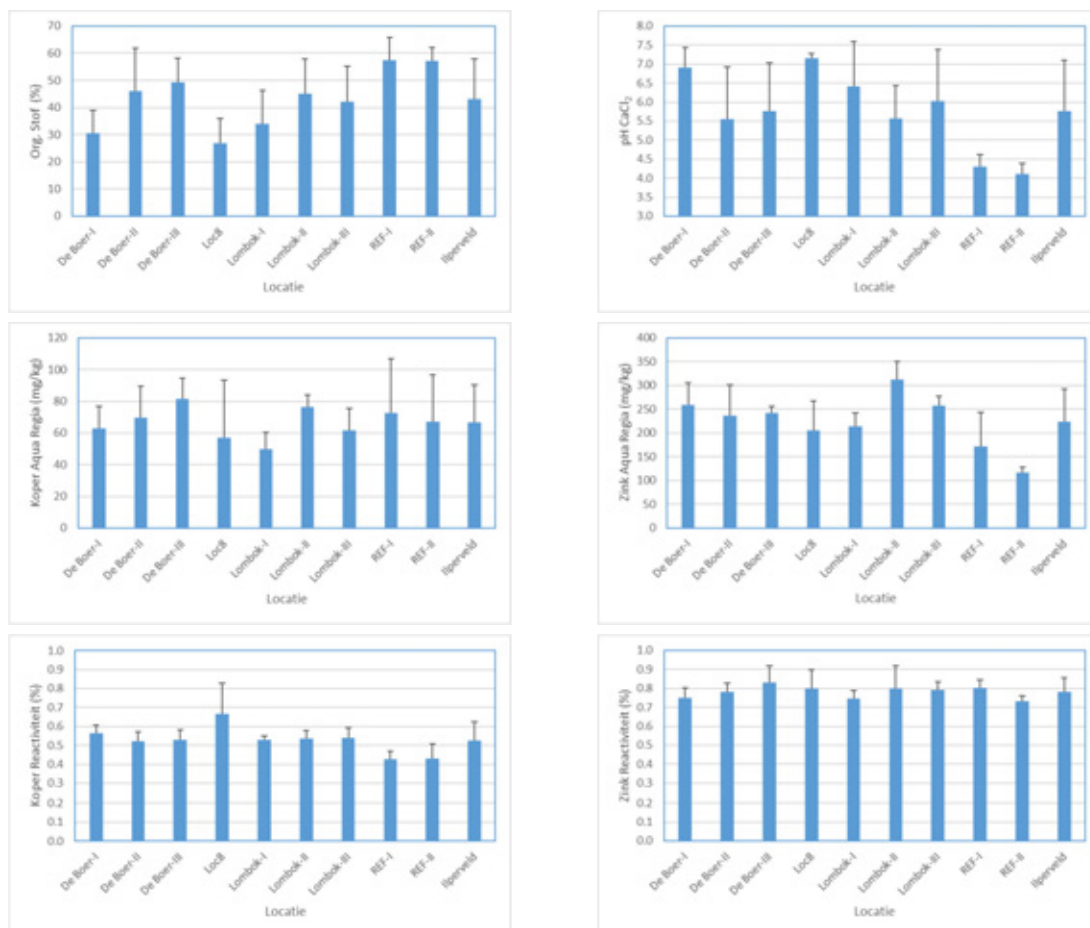
Organische stof



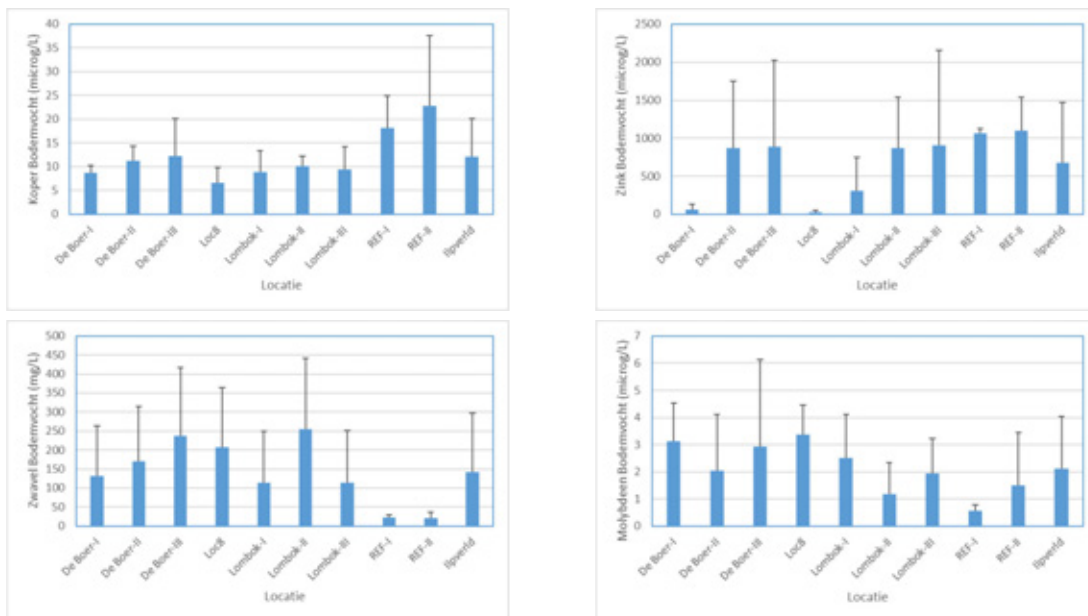
daarbij wel van invloed op het gehalte aan koper in de bodem, waarbij het kopergehalte in de bodem toeneemt met het organischestofgehalte.

3. De variatie in het kopergehalte in gras is ruimtelijk gezien beperkt en wordt voornamelijk bepaald door het monsternametijdstip: de hoogste waarden worden gemeten in de herfst-winter, de laagste in het voorjaar-de zomer. Verschillen tussen de verschillende deellocaties zijn daarbij ook kleiner dan de variatie binnen een jaar per deellocatie.

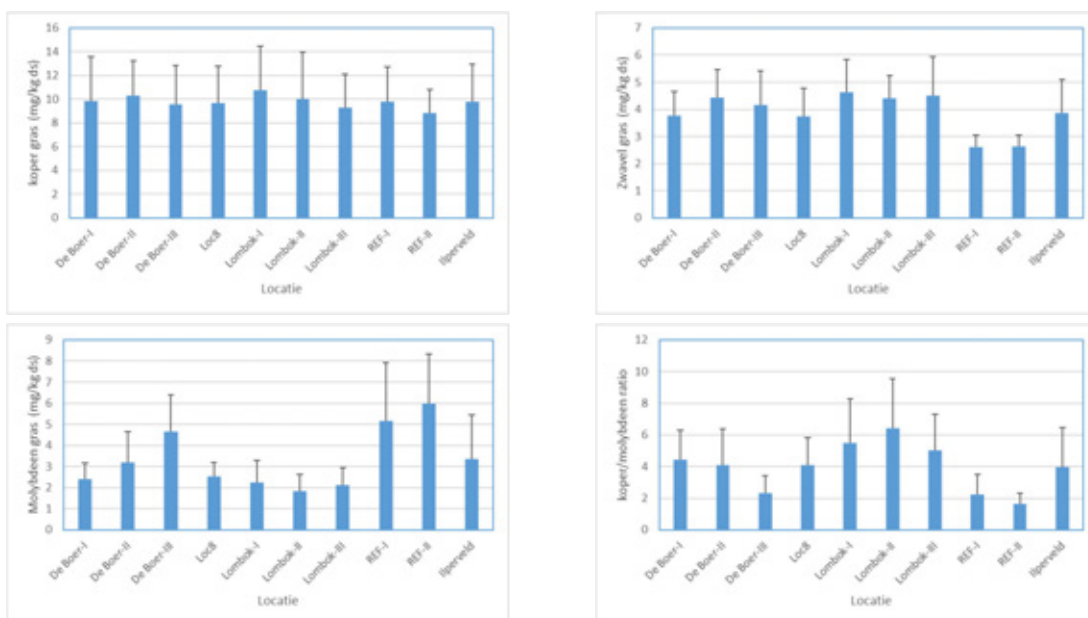
Op basis van alle data van de drie jaren staan in onderstaande figuren de gemiddelde (plus standaarddeviatie) waarden van bodem (figuur 28), bodemvocht (CaCl<sub>2</sub>-extract, figuur 29) en gras (figuur 30). Daarbij is voor gras geen onderscheid meer gemaakt tussen de verschillende seizoenen, ofschoon dat met name voor gras van invloed is.



**Figuur 30** Gemiddelde waarden van organische stof, pH en totaalgehalte koper en zink in de onderzoekslocaties en IJperveld als geheel.



**Figuur 31** Gemiddelde waarden van koper, zink, zwavel en molybdeen in het  $\text{CaCl}_2$ -extract.



**Figuur 32** Gemiddelde waarden van koper, zink, zwavel, en molybdeen in gras.

Een aantal kenmerkende aspecten wat betreft bodem, bodemvocht en gewasdata staan ook samengevat in tabel 26, tabel 27 en, voor gewas, tabel 28:

#### *Bodem en bodemvocht*

- Het organischestofgehalte, en daaraan gekoppeld ook opgelost organisch koolstof in de referentiegebieden (org. stof: 57,3%), is gemiddeld iets hoger dan in de meeste onderzoeklocaties (org. stof: 39,2%). Daarbij is ook de variatie tussen de onderzoeklocaties groter dan tussen de twee referentiegebieden.
- De pH is gemiddeld in de referentiegebieden (4.2) duidelijk lager dan in de onderzoeklocaties (6.2); ook hier valt op dat de variatie in pH, met name in de metingen in 2017 in de onderzoeklocaties, soms zeer groot is (o.a. in De Boer II, Lombok I en III).
- De koperhalten (totaal) zijn niet onderscheidend tussen referentie- ( $69.9 \text{ mg kg}^{-1}$ ) en onderzoeklocaties ( $65.6 \text{ mg kg}^{-1}$ ), de zinkgehalten zijn in de onderzoeklocaties ( $246.3 \text{ mg kg}^{-1}$ ) wel hoger dan in de referentiegebieden ( $143.8 \text{ mg kg}^{-1}$ ); de herkomst van de hogere zinkgehalten in de meeste onderzoeklocaties is niet duidelijk.

- De chemische reactiviteit voor zink (gemiddeld 0.78) is ondanks de verschillen in absolute gehalten tussen referentie- en onderzoeklocaties gelijk. Dat wijst erop dat de vorm van het zink dat in de bodem zit niet verschilt. De waarde van 0.78 is overigens wel hoger dan de gemiddelde waarde voor Nederlandse bodems (< 0.5), wat erop duidt dat het zink relatief beschikbaar is.
- Voor de gehalten in het bodemvocht valt op dat de kopergehalten, maar veel meer nog de zinkgehalten, veel hoger zijn in de referentiegebieden vergeleken met de onderzoeklocaties. Dat is vooral het gevolg van de lage pH in de referentiegebieden die vooral de oplosbaarheid van zink sterk doet stijgen. De kopergehalten stijgen minder sterk, omdat in de referentiegebieden juist ook meer organische stof zit waar koper – meer dan zink – bij voorkeur aan gebonden zit.
- Doordat in sommige onderzoeklocaties, met name in 2017, de pH veel lager was dan in 2015 en 2016, is de variatie aan de concentratie aan zink in de onderzoeklocaties ook groot.
- De zwavelgehalten in oplossing zijn juist in de onderzoeklocaties veelal hoger dan in de referentiegebieden. Er bestaat echter geen duidelijk verband tussen de pH of het totaal zwavelgehalten en de concentratie in het bodemvocht en de hoge zwavelgehalten in het bodemvocht komen zowel bij hoge als lage pH voor. Het feit dat de zwavelgehalten in de referentiegebieden zonder uitzondering laag zijn, geeft wel aan dat de zwavelgehalten in bodem en bodemvocht toch gekoppeld zijn aan ofwel het materiaal van de deklagen of aan de processen die zich in de bodem afspelen. Op basis van deze dataset kan hierover echter geen uitsluitsel gegeven worden.
- Voor de in dit onderzoek opgenomen locaties geldt dat in geen van de monsters de interventiewaarde voor koper of zink overschreden wordt (rekening houdend met bodemtypecorrectie). De achtergrondwaarde wordt daarentegen in een groot deel van de onderzoeklocaties (m.u.v. de referentiegebieden) wel overschreden (p.m. 80% van de monsters zowel voor koper als voor zink). Daarbij moet echter meteen vermeld worden dat de achtergrondwaarde (AW) voor veengronden en de bijbehorende bodemtypecorrectie slecht onderbouwd is en een overschrijding van de AW niet heel veel betekenis heeft m.b.t. risico's.

**Tabel 26** Bodemkentalen van referentiegebieden en onderzoeklocaties.

Locatie	SOM %	pH CaCl <sub>2</sub> 0.01 M	DOC mgC L <sup>-1</sup>	Cu Ar mg kg <sup>-1</sup>	S Ar mg kg <sup>-1</sup>	Zn Ar mg kg <sup>-1</sup>	Mo Ar mg kg <sup>-1</sup>	Cu HNO <sub>3</sub> mg kg <sup>-1</sup>	Zn HNO <sub>3</sub> mg kg <sup>-1</sup>	Mo HNO <sub>3</sub> mg kg <sup>-1</sup>
<i>Referentie</i>										
<i>I en II</i>										
Minimum	46.4	3.9	63	19	6.0	85	0.9	5.9	65.5	0.0
Mediaan	59.0	4.1	121	65	7.2	124	3.7	26.1	89.4	0.1
Gemiddelde	57.3	4.2	120	70	7.2	144	3.4	31.5	112.4	0.2
Maximum	67.9	4.7	201	133	9.0	270	5.1	63.8	236.0	0.6
<i>Locaties</i>										
Minimum	13.4	3.9	20	28	4.4	160	1.1	17.1	114.0	0.0
Mediaan	37.7	6.9	40	67	10.1	242	1.9	34.5	196.0	0.1
Gemiddelde	39.2	6.2	49	66	10.5	246	2.1	36.5	194.2	0.2
Maximum	63.1	7.5	97	113	22.7	364	4.7	99.9	311.0	0.9

**Tabel 27** Kentallen Bodemvocht (CaCl<sub>2</sub>-extract) van referentiegebieden en onderzoeklocaties.

Locatie	S mg L <sup>-1</sup>	Cu µg L <sup>-1</sup>	Mo µg L <sup>-1</sup>	Zn µg L <sup>-1</sup>
<i>Referentie I en II</i>				
Minimum	11.6	2.3	0.1	375
Mediaan	17.4	19.7	0.6	1044
Gemiddelde	21.4	20.5	1.0	1078
Maximum	52.6	38.8	5.6	1621
<i>Locaties</i>				
Minimum	9.5	2.6	0.2	8.2
Mediaan	128.8	8.6	2.5	81
Gemiddelde	175.6	9.6	2.4	562
Maximum	444.4	24.4	7.5	2773

**Tabel 28** Kentallen gewas van referentiegebieden en onderzoeklocaties (alle data 2015-2017).

Locatie		Cu	S	Mo	vocht	ds	Cu vers	Cu:Mo ratio
	Percentiel	mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	%	%	mg kg <sup>-1</sup>	-
Referentie	Minimum	5.7	1.9	2.9	71.7	12.9	1.0	0.7
N=126	5%	6.0	2.0	3.1	72.6	14.8	1.1	0.8
	Mediaan	9.1	2.5	4.6	78.9	21.1	1.9	1.8
	Gemiddelde	9.3	2.6	5.6	78.7	21.3	2.0	2.0
	95%	12.4	3.4	11.9	85.2	27.5	3.0	3.5
	Maximum	19.8	3.5	12.8	87.1	28.3	3.6	6.4
Locaties	Minimum	3.8	2.0	0.5	66.0	10.9	0.7	0.7
N=36	5%	5.0	2.6	1.0	71.2	13.0	1.0	1.5
	Mediaan	9.7	4.2	2.3	80.6	19.4	1.6	4.3
	Gemiddelde	9.9	4.2	2.7	79.9	20.1	2.0	4.6
	95%	15.9	6.1	5.3	87.0	28.8	4.1	9.0
	Maximum	19.3	6.5	8.8	89.1	34.0	5.8	12.6

#### Gewas

- Kopergehalten in gras verschillen niet tussen referentie- en onderzoeklocaties. De overall gebiedsgemiddelde waarde ligt tussen 9 en 10 mg kg<sup>-1</sup> op basis van droge stof.
- Zwavelgehalten in gras in de referentiepercelen zijn significant lager, molybdeengehalten juist significant hoger dan in de onderzoeklocaties. De gemiddeld hogere molybdeengehalten leiden ook tot een lagere Cu:Mo-verhouding gras in referentiepercelen (gem 2.0) wat, voor runderen althans, op kopergebrek kan duiden. Voor schapen betekent het daarentegen dat de (tijdelijk) hogere kopergehalten in gras in de winterperiode in de referentiegebieden daardoor nog minder een risico vormen, omdat de beschikbaarheid van het koper verlaagd wordt door de hogere molybdeengehalten. De gemiddeld hogere zwavelgehalten in de onderzoeklocaties dragen ook bij aan een verlaagde beschikbaarheid van koper voor grazers.
- De hogere zwavel- en molybdeengehalten in een deel van de hier onderzochte veengronden wijken overigens niet af van eerdere landelijke inventarisaties (o.a. Ouweltjes et al., 2002) waarin in het westelijk Veenweidegebied zowel voor koper, zwavel als voor molybdeen in gras de hoogste waarden van NL zijn aangetroffen (zie bijlage 2A) voor de periode 1996-1998.



---

## 5 Conclusies en Aanbevelingen

Het project 'Monitoring Bodem, Gewas en Ecologische kwaliteit IJperveld' is uitgevoerd om na te gaan wat de chemische en biologische condities zijn in een aantal saneringslocaties en, voor zover bekend, ongestoorde locaties (referenties). Hieronder volgen de belangrijkste hoofdvragen van het onderzoek, gevolgd door een samenvatting (per hoofdvraag) van de belangrijkste conclusies.

### Hoofdvragen met betrekking tot landbouw, vee-gezondheid en kwaliteit bodem en gewas

**Onderzoeksvraag 1.** Het vaststellen van de langetermijntontwikkeling van de kwaliteit van het veevoer aan de hand van metingen aan metalen en zwavel in bodem en gras, rekening houdend met de variatie in een jaar (seizoensvariatie).

#### *Conclusies uit het onderzoek:*

- Gedurende de drie jaar dat de monitoring geduurd heeft, is er geen sprake van een significante trend in de gehalten aan koper in bodem noch in gras. De rijping van de deklaag, zo die heeft plaatsgevonden, lijkt daarom geen invloed te hebben op de kwaliteit van het veevoer voor grazers.
- Er is wel sprake van een duidelijke seizoensvariatie van de kopergehalten in gras met gemiddeld hogere waarden (10-15 mg kg<sup>-1</sup> ds) in de late herfst en winter en lagere gehalten (6-10 mg kg<sup>-1</sup> ds) in de zomer en het najaar; deze variatie wijkt niet af van de landelijke jaarlijkse variatie en treedt zowel op in de referentiegebieden als in de onderzoeklocaties.
- Wel is er in 2017 in een aantal deelgebieden (deelgebied 3) vastgesteld dat de zuurgraad (pH) hoger (= lagere pH) is dan in de omliggende deelgebieden van dezelfde onderzoeklocaties. Significante lagere waarden voor pH (t.o.v. data uit 2015 en 2016) zijn onder meer gemeten in de locaties de Boer (II, III) en Lombok (I, III). De lagere pH-waarden waren niet van invloed op de opname van koper door gras. Deze daling in pH komt, voor 2017, overeen met een generieke daling van de pH in het bovenste grondwater zoals gemeten in de deelgebieden LB1,2,3,4 en DB1,2 en 3. Of dit wijst op een voortgaande oxidatie van veen en/of sulfiden uit de oorspronkelijke bagger kan op basis van deze data niet met zekerheid vastgesteld worden.
- Deels komt deze variatie in pH namelijk overeen met de variatie in organische stof, wat erop wijst dat er een invloed is van het soort materiaal dat in de verschillende deelgebieden is toegepast. In het algemeen is de pH van de deelgebieden lager naarmate het organischestofgehalte hoger is. Of er in deze deelgebieden uit 2017 sprake is van een daling als gevolg van rijping kan echter niet worden vastgesteld.
- Er kon geen relatie tussen de aanwezigheid van zwavel in bodem, bodemvocht en de zuurgraad worden vastgesteld; het is daarom niet duidelijk of de dynamiek in de zwavelhuishouding van de bodem nog te koppelen is aan de ontwikkeling van de zuurgraad in de verschillende deelgebieden.

**Onderzoeksvraag 2.** Vaststellen in welke mate effecten van de gehalten aan koper in de bodem en de bodemsamenstelling in referentiepercelen afwijken van die in percelen met bagger.

#### *Conclusies uit het onderzoek:*

- De gehalten aan koper in de bodem in de referentiegebieden liggen in dezelfde orde van grootte als die in de onderzoeklocaties. Blijkbaar heeft de bagger niet significant bijgedragen aan de gehalten aan koper in de bodem.
- De kopergehalten in gras uit de referentiegebieden liggen in dezelfde orde van grootte als die in de onderzoeklocaties (geen significant verschil).
- Voor zink liggen de gehalten in de bodem in de onderzoeklocaties wel significant hoger dan in de referentiegebieden, wat erop wijst dat de bagger en de andere toegepaste afdekmaterialen specifiek meer zink bevatten dan de van nature aanwezige (veen)bodem.
- De zuurgraad en organischestofgehalten in de referentiegebieden zijn gemiddeld lager (pH) of juist hoger (organische stof) dan in de onderzoeklocaties. Dit bevestigt de vorige conclusie in die zin dat de samenstelling van het gebruikte materiaal anders is dan de van nature aanwezige bodem.

- De gehalten aan zwavel zijn in de meeste onderzoeklocaties in bodem en in gras hoger dan in de referentiegebieden. Dit toont aan dat het bodemmateriaal wel anders is in de onderzoeklocaties in vergelijking met de referentiegebieden, maar dit leidt niet tot significant hogere gehalten aan koper in gras.

**Onderzoeksvraag 3.** Vaststellen in hoeverre de bodem- en gewaskwaliteit in IJperveld generiek afwijken van gemiddelde waarden in andere landbouwgebieden in Nederland. Dit maakt het mogelijk uitspraken te doen over gebiedsspecifieke waarden en evt. gebiedsspecifiek beleid t.a.v. acceptatie van afwijkende waarden in bodem en gewas.

*Conclusies uit het onderzoek:*

- De gebiedsgemiddelde gehalten aan koper in de bodem en in gras (zowel voor referentie- en onderzoeklocaties) liggen binnen de gemeten range zoals vastgesteld voor andere Nederlandse veengebieden die niet specifiek belast zijn met bodemverontreiniging door het aanbrengen van bagger.
- De maximale waarden in de bodem, zowel in referentie- als in onderzoeklocaties, zijn typerend voor veengebieden waarbij de mens gedurende langere tijd de bodem heeft bewerkt en opgehoogd.
- Ook de jaarlijkse variatie in de gehalten aan koper in gras wordt in de reguliere landbouw aangetroffen. Dit is dus niet specifiek een fenomeen dat in het IJperveld (of andere veengronden) voorkomt.
- De (licht) verhoogde gehalten aan koper in de bodem ten opzichte van andere gronden hoeft voor zover het de kwaliteit van voer betreft niet te leiden tot specifiek gebiedsgericht beleid.
- De overschrijding van de LAC-waarde voor landbouw, waarbij specifiek de risico's voor schaaap centraal staan, leidt in dezen niet tot risico's voor de gezondheid van schapen op basis van de gehanteerde blootstellingsberekening en risicogrenzen.

**Onderzoeksvraag 4.** Vaststellen of er sprake is van effecten op het functioneren van regenwormen als maat voor directe ecologische effecten in de bodem zelf; vaststellen of er sprake is van verhoogde doorvergiftigingsrisico's aan de hand van voedselpatronen van dieren die wormen eten.

*Conclusies uit het onderzoek:*

- De gehalten aan koper in regenwormen vertonen geen duidelijke trend, noch gedurende de drie jaar dat de monitoring heeft geduurd, noch wat betreft de verschillen tussen de referentiegebieden en de onderzoeklocaties. Er is daarbij geen relatie tussen het gehalte in de bodem (totaal of beschikbaar) en dat in de worm vastgesteld.
- Aan de hand van een literatuuronderzoek kan worden geconcludeerd dat de hier gemeten variatie aan gehalten aan koper in regenwormen niet leidt tot ecologische effecten op de worm zelf noch op de reproductiecapaciteit.
- De gehalten in regenwormen wijken niet af van die gemeten in andere, al dan niet verontreinigde locaties in Nederland en daarbuiten. Het is daarom niet aannemelijk dat er risico's bestaan ten aanzien van foeragerende vogels en/of andere dieren die wormen eten.
- Specifieke blootstellingsberekeningen voor vogels zijn niet uitgevoerd, omdat er geen specifieke risicogrenzen voor koper voorhanden bleken te zijn.

**Onderzoeksvraag 5.** Is het noodzakelijk om op basis van de data van bodem en gewas maatregelen ten aanzien van het beheer te nemen? Dit betreft zowel het gebruik (beweiding) als het opbrengen van bagger.

*Conclusies uit het onderzoek:*

- Incidenteel overschrijdt het kopergehalte in gras de generieke norm van 15 mg kg<sup>-1</sup> ds. Dit is echter niet gekoppeld aan het kopergehalte in de bodem en lijkt deels veroorzaakt te worden door aanhangende grond die in de winterperiode van invloed is op de gehalten in gras. Deze verhoogde gehalten worden zowel in de onderzoeklocaties als de referentiegebieden aangetroffen en zijn niet specifiek voor de percelen die met bagger zijn behandeld.
- De berekende inname van koper door schapen via grond en gras blijft op jaarbasis gemiddeld beneden de berekende risicogrenzen (tolerable daily intake) voor de gezondheid van schapen; er is daarom geen reden om het gras niet te gebruiken als veevoer. Het gras dat in de lente-zomer

gemaaid wordt (indien van toepassing) is van goede kwaliteit in die zin dat de kopergehalten ruim onder de norm voor schaaap blijft.

- Daarnaast leiden de gemiddeld hogere molybdeen en zwavelgehalten in gras (vergeleken met landelijke waarden) tot een lagere beschikbaarheid van koper in het gras. Voor runderen zou er in de lente- en zomerperiode daarom zelfs sprake kunnen zijn van een te laag kopergehalte in gras. Voor schapen, die gevoeliger zijn voor hoge koperinname, betekent dit dat ook bij de wat hogere gehalten aan koper in gras gedurende de herfst-winterperiode de actuele opneembaarheid (en daarmee de risico's) van koper laag zijn.
- De resultaten van het onderzoek duiden erop dat er geen aanvullende maatregelen ten aanzien van het beweidingsregime nodig zijn voor zover dat risico's met betrekking tot koper betreft.
- Ten aanzien van het opbrengen van bagger kunnen weinig conclusies getrokken worden, in die zin dat de generieke kwaliteit van de bodem voldoende tot goed is wat betreft gehalten aan koper en dat dit geen negatieve invloed heeft op de kwaliteit van veevoer voor zover gebruikt door schapen.

### Aanbevelingen

De resultaten van het onderzoek tonen aan dat de kwaliteit van het gras m.b.t. koper voor gebruik door schapen gedurende de drie jaar niet wezenlijk is veranderd. Vooralsnog is er daarom geen reden om de monitoring voort te zetten.

- Er bestaat een opvallend verschil in de bodemkwaliteit die aan de hand van de huidige data niet te duiden is. Dat betreft vooral de lage bodem-pH zoals gemeten in de deelgebieden 3 van een aantal onderzoeklocaties. Aan de hand van de nu beschikbare data valt niet af te leiden of de zuurgraad in de deelgebieden voorheen (lees: 2015 en 2016) al laag was of dat er sprake is van een verandering als gevolg van rijping in 2017. Juist omdat de zuurgraad heel bepalend is voor onder meer de uitloging van metalen naar het oppervlaktewater, verdient het aanbeveling om in 2018 een herhaling uit te voeren van de pH-metingen in de bodem in alle deelgebieden. Dit moet antwoord geven op de vraag of de lagere pH in deelgebied 3 nu ook aangetroffen wordt in deelgebieden 1 en 2 (die in 2015 en 2016 zijn bemonsterd en die veelal een hogere pH hadden) of dat er sprake is van een grote, deels natuurlijke variatie in pH binnen de onderzoeklocaties (op deelgebied-niveau). Juist vanwege de verhoogde zinkgehalten in de bodem draagt een daling van de pH zeer sterk bij aan de uitloging van zink zoals is aangetoond in onder meer de referentiegebieden die van nature een lagere pH hebben. In de hier onderzochte deellocaties waarbij de pH varieert van 3.9 tot 7.5 (gemiddelde 6.2; zonder de referentie gebieden) stijgt het zinkgehalte in het bodemvocht sterk met een daling in de pH. Feitelijk wordt de hele variatie aan het gehalte in het bodemvocht verklaard door de combinatie van pH en (reactief) zinkgehalte zoals aangegeven in par. 3.4.1. Daaruit bleek ook dat als gevolg van de gemiddeld lage pH-waarden in de referentiegebieden er nu al sprake is van sterk verhoogde concentraties aan zink in het bodemvocht die ruim boven de huidige interventiewaarde van grondwater liggen ( $IW_{\text{grondwater}} = 800 \mu\text{g L}^{-1}$ ;  $AW_{\text{grondwater}} = 65 \mu\text{g L}^{-1}$ ), ofschoon geen van de metingen in de bodem de huidige IW voor bodem ( $720 \text{ mg kg}^{-1}$ ) overschrijdt. Dit is voor een groot deel te verklaren uit de lage pH-waarden, waardoor de oplosbaarheid van zink, ook bij veel lagere gehalten in de bodem, sterk toeneemt; iets wat ook in bodemvocht onder landbouw- en bosgronden is aangetoond (Römkens en Salomons, 1998). Zo bedraagt het gemiddelde zinkgehalte in de  $\text{CaCl}_2$ -extracten in de referentiegebieden ongeveer  $1000 \mu\text{g L}^{-1}$  bij een gehalte in de bodem van  $140 \text{ mg kg}^{-1}$ . Voor deze organische-stof-rijke gronden met pH-waarden lager dan 5 zijn dergelijk hoge waarden voor zink daarom als 'natuurlijk' te beschouwen. In de onderzochte deellocaties zijn de zinkgehalten in de bodem gemiddeld iets hoger dan in de referentiegebieden (gemiddelde locaties:  $246 \text{ mg kg}^{-1}$ ), maar liggen bij pH-waarden tussen 5.5 en 7.5 de gehalten in het bodemvocht gemiddeld tussen de 20 en  $500 \mu\text{g L}^{-1}$  zoals in onderstaande samenvattende tabel 29 is te zien (data berekend met het model zoals afgeleid in par. 3.4.1). Hieruit blijkt dat bij (gemiddelde) pH-waarden van 5.5 of hoger het gehalte in het bodemvocht, ook in de deellocaties (niet zijnde de referenties), beneden de IW zullen blijven, en ook lager zijn dan die aangetroffen in de referentiegebieden. Bij voortgaande verzuring bestaat de kans dat bij pH-waarden van 4.5 of lager en zinkgehalten zoals aangetroffen in de deellocaties ( $250\text{-}350 \text{ mg kg}^{-1}$ ) er wel sprake zal zijn van een substantiële uitspoeling van zink naar het grondwater, waarbij gehalten in de orde van grootte van 2000 tot  $4000 \mu\text{g L}^{-1}$  verwacht mogen worden.

**Tabel 29**    *Berekende gemiddelde zinkgehalten in het bodemvocht bij verschillende combinatie van pH en (totaal) zink in de bodem.*

Zink bodem (mg kg <sup>-1</sup> )	Berekend zink gehalte in bodemvocht			
	pH bodem			
	4.5	5.5	6.5	7.5
50	243	53	12	3
100	637	139	30	7
150	1120	245	53	12
200	1672	365	80	17
250	2282	499	109	24
300	2942	643	140	31
350	3646	797	174	38

Op grond van deze resultaten bestaan er geen bezwaren tegen het toekomstige onderhoud van de afdeklagen met ingedroogde bagger uit het gebied, mits deze een vergelijkbare samenstelling heeft als de eerder toegepaste bagger (klasse 01-1-2-materiaal) en er geen aanwijzingen zijn dat de pH van de bodem verder zal dalen. Dit laatste niet zozeer met het oog op risico's van koper voor schapen, maar met het oog op uitloging van zink uit de bodem.

---

# Literatuur

- Antea Group-Alterra. 2014. Geschiktheid van percelen in het IJperveld voor gebruik als beweide grasland. Rapportage Gewasonderzoek IJperveld. Project 267340. 12pp.
- Bodemzorg. 2014. M. Rozing. Evaluatierapporten deelsaneringen DS1 t-m DS5 voormalige stortplaatsen in het IJperveld (5 afzonderlijke rapportages). februari-maart 2014.
- Boels, D., A.J. Zweers, J.G. te Beest, P.F.A.M. Römkens en J. Bril. 2000. Evaluatie actief bodembeheer Krimpenerwaard - Een methode voor de verificatie van landbouwkundige risico's - Tussenrapport fase 1 - Wageningen: Rapporten Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek; deel 34 - 72 p., 4 bijl. - ISBN 90-73270-50-2.
- CVB. 2005. Handleiding Mineralenvoorziening Rundvee, Schapen, Geiten. Commissie Onderzoek Minerale Voeding; ISBN-10:9072839439; Lelystad, 228pp.
- Giska, I., C.A.M. van Gestel, B. Skip, and R. Laskowski. 2014. Toxicokinetics of metals in the earthworm *Lumbricus rubellus* exposed to natural polluted soils – relevance of laboratory tests to the field situation. *Environmental Pollution*, Volume 190: 123-132.
- Groenenberg, J.E., P.F.A.M. Römkens, A. Van Zomeren, S.M. Rodrigues, and Rob N.J. Comans. 2017. Evaluation of the Single Dilute (0.43 M) Nitric Acid Extraction to Determine Geochemically Reactive Elements in Soil. *Environmental Science and Technology* 51(4), pp. 2246-2253.
- Harmsen, J., Naidu, R. Bioavailability as a tool in site management (2013) *Journal of Hazardous Materials*, 261, pp. 840-846.
- Hobbelen, P.H.F., J.E. Koolhaas, C.A.M. van Gestel. 2006. Bioaccumulation of heavy metals in the earthworms *Lumbricus rubellus* and *Aporrectodea caliginosa* in relation to total and available metal concentrations in field soils. *Environmental Pollution* 144:639-646.
- Houba, V.J.G., J.J.G. Van der Lee, and I. Novozamsky. 1997. Soil and Plant Analysis Part 1: Soil Analysis Procedures. Wageningen University, vol. 1-06175208, Wageningen the Netherlands.
- Houba, V.J.G., E.J.M. Temminghoff, G.A. Gaikhorst, and W. van Vark. 1999. Soil Analysis Procedures: Extraction with 0.01M  $\text{CaCl}_2$ , Wageningen University, vol. 2-06173011, Wageningen, the Netherlands.
- Lijzen, J., A. Verschoor, M. Mesman, P. de Boer, L. Osté en P. Römkens. 2016. Visiedocument gebruik van biobeschikbaarheid in bodembeoordeling. Mogelijkheden voor metalen in bodem en waterbod. RIVM Briefrapport 2015-0215.
- Ma, W.C. 2005. Critical body residues (CBRs) for ecotoxicological soil quality assessment: copper in earthworms. *Soil Biology & Biochemistry* 37:561–568.
- Mol, G. P. van Gaans, J. Spijker & P. Römkens. 2012. Bodemgeochemische Atlas van Nederland. Wageningen Academic Publishers. 275 pp.
- Nannoni, F., G. Protano, and F. Riccobono. 2011. Uptake and bioaccumulation of heavy elements by two earthworm species from a smelter contaminated area in northern Kosovo. *Soil Biology & Biochemistry* 43:2359-2367.

- 
- Nannoni, F., S. Rossi, and G. Protano. 2014. Soil properties and metal accumulation by earthworms in the Siena urban area (Italy). *Applied Soil Ecology*, 77:9-17.
- Ouweltjes, W., G. Counotte en P. Dobbelaar. 2002. Kopervoorziening bij melkvee in West-Nederland. Praktijkrapport 4. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad.
- Römkens, P.F.A.M., Salomons, W. 1998. Cd, Cu and Zn solubility in arable and forest soils: Consequences of land use changes for metal mobility and risk assessment. *Soil Science*, 163 (11), pp. 859-871.
- Smolders, E.E.A. 2003. Koper, zink en cadmium in voeding. Nieuwsbrief Koeien & Kansen 2003 (2003)13. - p. 3 – 3.
- Smolders, E.E.A., J.C. van Middelkoop, en J.C. Verkaik. 2008. Beperking koper en zink op melkveebedrijven in Zuid-Nederland. Balansen en aanbevelingen. Rapport 48. Animal Sciences Group Postbus 65, 8200 AB Lelystad.
- Wang, K., Y. Qiao, H. Zhang, S. Yue, H. Li, X. Ji, L. Liu. 2018. Bioaccumulation of heavy metals in earthworms from field contaminated soil in a subtropical area of China, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148: 876-883.

# Bijlage 1 Resultaten vooronderzoek 2014

## Bodemonderzoek

De onderzochte percelen (gewas) zijn zo gekozen dat ze representatief moeten zijn voor het hele terrein. In tabel A1 staan de ranges (minimum, mediaan, 90 percentielwaarde en maximum) van de 9 onderzochte percelen en alle (54, m.u.v. DS4) percelen. De vergelijking tussen de ranges toont dat voor de algemene bodemeigenschappen (droge stof (ds), klei en organische stof) vooral de zeer organische-stof-rijke percelen iets minder vertegenwoordigd zijn: zowel de P90 als de maximale waarde voor organische stof liggen wat lager dan in alle percelen.

Dit is relevant, omdat gebleken is dat in deze gronden de gehalten in de bodem zeer sterk aan organische stof gecorreleerd zijn (zie figuur A1). Daarbij valt de uitschieter van de zeer hoge waarde voor zink (5300 mg kg<sup>-1</sup> in een deelvak) duidelijk buiten de range van de gemeten waarden. Bij heranalyse bleek dit deelvak overigens beduidend lagere gehalten aan zink te bevatten.

Voor de meeste metalen blijkt dat de 9 onderzochte percelen op basis van de P90 representatief zijn voor alle vakken (figuur A1). Uit de relatie tussen organische stof en het metaalgehalte blijkt ook dat een groot deel van de monsters een eenduidig verband kent, maar dat sommige monsters duidelijk afwijken van de trendlijn. Dit is een indicatie dat er in dat geval sprake is van een aanrijking die niet verklaard kan worden door de hoeveelheid organische stof in de bodem. De algemene trend die ook in deze monsters aanwezig is, is kenmerkend voor organische-stof-rijke gronden en toont dat een groot deel van de in de bodem aanwezige metalen direct gekoppeld is aan de aanvoer van organische stof. Om in te schatten in hoeverre de aangetroffen metaalgehalten in de bodem afwijkend zijn voor veengronden in NL staan in tabel A2 de mediane en P95-waarden voor de hier onderzochte metalen in de bodem. De data voor veengronden zijn afkomstig uit het landelijk onderzoek naar metalen in niet specifiek belaste bodems (Mol et al., 2013).

**Tabel A1** Overzicht van ranges aan bodemeigenschappen en metaalgehalten in de onderzochte percelen en alle overige deelvakken.

	Percelen in gewasonderzoek (n=9) excl. referentie				Alle percelen in bodemonderzoek (n=54)			
	min	mediaan	P90	max	min	mediaan	P90	max
Drogestofgehalte	16	39	53	66	12	37	64	76
Organische stof	8	38	53	63	8	39	63	79
Lutum	12	18	23	25	2	16	23	29
Arseen (As)	10	15	27	28	8	17	29	41
Cadmium (Cd)	0.1	1.1	1.7	1.9	0.1	1.0	1.7	3.1
Chroom (Cr)	11	24	39	61	8	22	36.1	63
Koper (Cu)	11	69	162	210	11	60	97.2	370
Kwik (Hg)	0.22	0.74	1.16	1.40	0.13	0.61	1.20	3.00
Lood (Pb)	89	210	340	420	40	150	261	420
Nikkel (Ni)	14	23	35	52	10	22	30	79
Zink (Zn)	29	310	600	1000	29	280	420	5300

**Tabel A2** Gehalten aan zware metalen (in mg kg<sup>-1</sup>ds) in veenbodems in Nederland (bron: Geochemische Bodematlas Nederland, Mol et al., 2013).

Metaal	P5	mediaan	P95	maximum
Arseen	2.4	10.9	22.6	25.9
Cadmium	0.22	0.61	1.85	3.10
Chroom	0.31	2.4	5.3	6.3
Koper	3.9	16.3	50.0	79.2
Kwik	0.05	0.16	0.48	0.61
Nikkel	2.6	17.2	50.5	62
Lood	20.8	62.2	169	192
Zink	19.1	67.4	303	501

Een vergelijking met de data in tabel A1 laat zien dat voor arseen, cadmium en nikkel de gevonden gehalten in de bodem van het Ilperveld in grote lijnen overeenkomen met wat in niet specifiek verontreinigde veenbodems aan genoemde metalen aanwezig is. Voor chroom, koper, kwik, lood en in mindere mate zink is er duidelijk sprake van een verhoging ten opzichte van de normale range, zowel de mediane als maximale waarden van deze elementen ligt duidelijk boven de waarde zoals gerapporteerd in de Geochemische Bodematlas van Nederland. De maximale waarden in de complete set van locaties (vermeld onder 'alle percelen' in tabel A1) liggen ook voor arseen, cadmium en nikkel boven de maximale waarden in de Atlas, ofschoon de verschillen tussen de maxima uit het onderzoek in het Ilperveld en de gegevens in de Atlas voor deze drie elementen kleiner zijn dan voor de meeste andere. Dat duidt erop dat vooral bij chroom, koper, kwik, lood en zink er sprake is van verhoogde gehalten in de bodem als gevolg van het aanbrengen van de deklaag.

De mediane waarden voor koper en lood komen goed overeen met resultaten van een heringericht perceel dat met lokaal slib is opgehoogd (Harmsen et al., 2013).

Op basis van de data van alle percelen liggen de maximaal aangetroffen waarden – m.u.v. arseen en chroom – boven de LAC-waarde. Voor koper en lood is de verhoging echter zodanig dat ook de mediane waarde van de percelen boven de LAC-waarde voor beweide grasland ligt (LAC<sub>Cu</sub> 30 mg kg<sup>-1</sup>; LAC<sub>Pb</sub> 150 mg kg<sup>-1</sup>). Dat suggereert dat de kans dat grazend vee (m.n. schap) blootgesteld wordt aan gehalten in de bodem die op of boven de risicogrenswaarde ligt, in elk willekeurig perceel 50% bedraagt. De meest kritische LAC-waarde voor koper (30 mg kg<sup>-1</sup>) geldt daarbij vooral voor schapen (met name het ras Texelaar), de LAC-waarde voor rundvee bedraagt 80 mg kg<sup>-1</sup>. Deze laatste LAC-waarde (80 mg kg<sup>-1</sup>) wordt in geval van de P90 ook overschreden.

Uit de relatie tussen organische stof en de metalen in de bodem (figuur A1) blijkt ook dat de maximale waarden voor de meeste elementen buiten de trendlijn vallen. Er is in een aantal deelpercelen daarom ook sprake van (sterk) verhoogde gehalten die niet te verklaren zijn uit een hoog organischestofgehalte, maar te wijten zijn aan externe bronnen (slib).

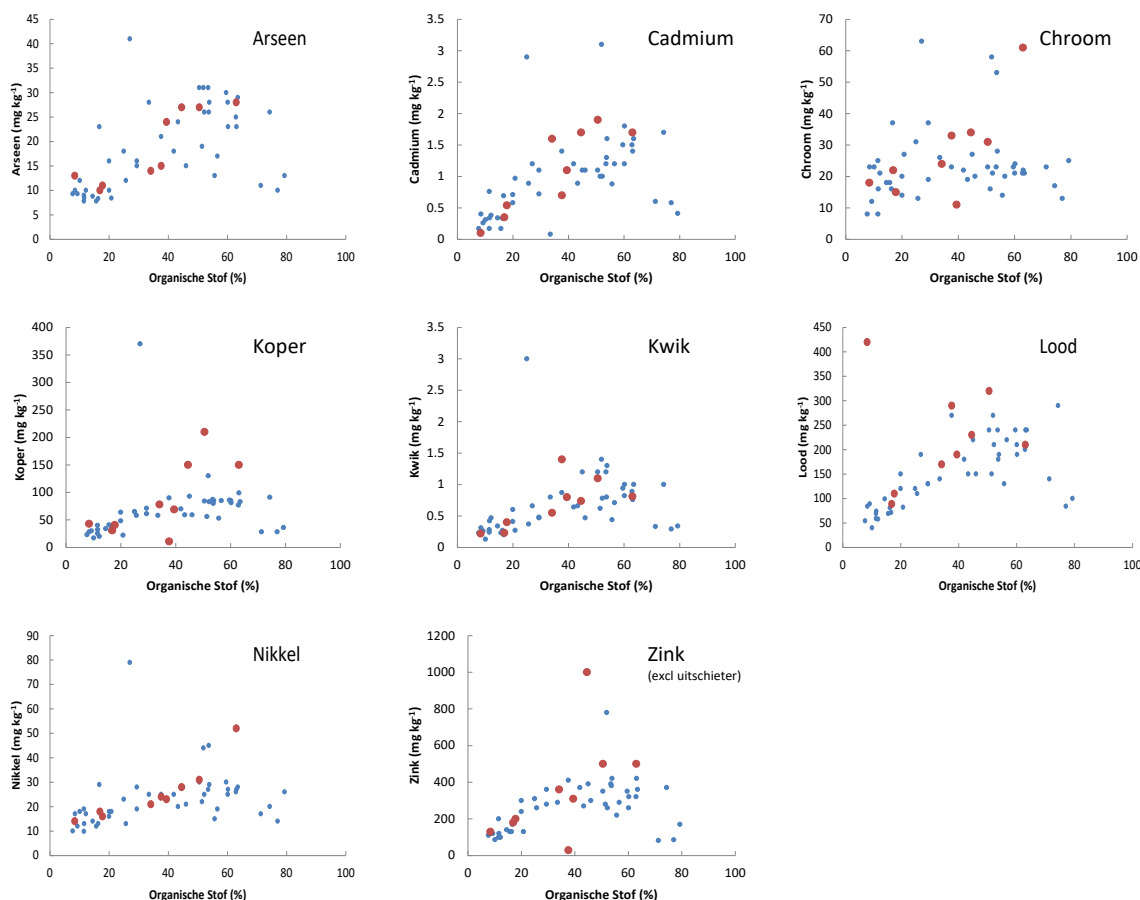
Wanneer de relatie tussen het organischestofgehalte en het metaalgehalte in de bodem vergeleken wordt met die uit de Geochemische Bodem Atlas, blijkt dat de relaties voor arseen, cadmium, chroom en nikkel vrijwel volledig overeenkomen, met andere woorden de gehalten in de bodem van het Ilperveld zijn vergelijkbaar met die in andere veengebieden. Voor kwik, lood, zink en koper ligt de trendlijn boven die in de Bodem Geochemische Atlas, wat er wel op wijst dat er sprake is van verhoogde gehalten maar, m.u.v. de P90 of maximale waarden, dat deze niet extreem afwijken van veengronden waar sprake is van al dan niet historische menselijke invloed.

Dat wordt bevestigd wanneer de resultaten uit het Ilperveld vergeleken worden met vergelijkbaar onderzoek uitgevoerd in het Hollands-Utrechts veenweidegebied (Rietra en Römkens, 2009). In het veenweidegebied komen grote gebieden voor met deels sterk verhoogde gehalten aan metalen als gevolg van het aanbrengen van toemaak sinds de Middeleeuwen. In de onderzochte percelen leidde dat tot koper- en loodgehalten die vele malen hoger liggen dan de waarden aangetroffen in het onderhavige onderzoek. Zo variëren de gehalten aan lood in het onderzochte Veenweidegebied tussen 40 mg kg<sup>-1</sup> in de referentiepercelen tot 1200 mg kg<sup>-1</sup> in percelen met toemaak. Voor koper liggen de waarden tussen 30 mg kg<sup>-1</sup> en ruim 500 mg kg<sup>-1</sup>. Het historisch gebruik van opvulmateriaal kan daarmee aantoonbaar leiden tot dergelijk verhoogde waarden (Bosveld et al., 2000).

Ook in gebieden als de Krimpenerwaard en overige veenweidegebieden in Zuid-Holland zijn vergelijkbare gehalten aan koper in de bodem aangetroffen (mediaan: 62, P90: 330 mg kg<sup>-1</sup>), wat



erop wijst dat dergelijke gehalten in veengebieden weliswaar verhoogd zijn, maar op regionale schaal vaker voorkomen.



**Figuur A1** Relatie tussen organische stof en metaalgehalten in de verschillende deelvakken. De blauwe symbolen betreffen alle deelvakken en de rode de vakken waar gewasmonsters genomen zijn.

#### Conclusies t.a.v. het bodemonderzoek in relatie tot diergezondheid

- In de deelpercelen van het Ilperveld komen verhoogde gehalten aan metalen voor.
- De gehalten aan cadmium, chroom, arseen, nikkel zijn daarbij echter vergelijkbaar met waarden in niet specifiek belaste gebieden (voor veengronden).
- De waarden voor koper en lood en in mindere mate zink liggen wel hoger dan in niet specifiek belaste gebieden, maar zijn vergelijkbaar of zelfs lager dan gehalten in andere belaste gebieden zoals het Zuid-Hollands Veenweidegebied en de Krimpenerwaard.
- Alleen voor koper – en in mindere mate lood – wordt de LAC-waarde voor landbouw overschreden. Dat geldt met name voor de functie beweide grasland en specifiek voor schapenteelt.
- De overschrijding van de LAC-waarde voor lood heeft daarbij waarschijnlijk geen consequentie voor diergezondheid en/of productkwaliteit, vergelijkend onderzoek in andere belaste locaties toont dat er geen effecten op gezondheid of productkwaliteit waarneembaar waren of alleen bij veel hogere (lood > 1000 mg kg<sup>-1</sup>) gehalten in de bodem.
- Voor koper blijft de beoordeling op basis van bodemonderzoek voor de functie beweide grasland lastig. Enerzijds liggen de gemeten gehalten hoger dan de LAC-waarde en is er duidelijk sprake van een afwijking t.o.v. andere locaties, maar anderzijds is te weinig informatie over die parameters bekend (o.a. pH, Molybdeen, zwavel) om betrouwbare uitspraken te doen op basis van de bodemkwaliteit.

#### Resultaten gewasonderzoek

In tabel A3 staan de gemiddelde (n=2) waarden voor de gemeten gehalten aan metalen in ongewassen grasmonsters. Tevens zijn daarin de geldende gewasnormen voor veevoer opgenomen.

---

Deze zijn deels gebaseerd op toegestane toevoegingen aan voer (voor koper en zink, Council Directive 70-524-EEC), op richtlijnen voor contaminanten in diervoeding (Directive 2002-32-EC) en deels gebaseerd op diergezondheid (NRC, 2005). In geel gemarkeerd staan de waarden die de genoemde normen overschrijden. Dit is in de onderzochte monsters alleen het geval voor vijf monsters voor koper die de norm van  $15 \text{ mg kg}^{-1}$  in lichte mate overschrijden, zes monsters voor lood die de NRC aanbevolen maximale waarde overschrijden (maar ruim beneden de ruwvoer norm in de EU liggen). Voor cadmium wordt de veevoedernorm in slechts één monster overschreden. De norm voor cadmium en de norm van  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  voor lood zijn in eerste instantie beschermend voor de kwaliteit van dierlijke producten, waarbij dit met name geldt voor de gehalten aan cadmium en lood in nieren en levers. De overdracht naar andere dierlijke producten (spier, melk) is zeer laag. Voor de overige metalen (arseen, chroom, nikkel en zink) liggen de gemeten gehalten ruim beneden de toegestane gehalten.

De resultaten uit dit onderzoek laten zien dat vooral voor koper en lood de gehalten in gras rond of boven de normen voor veevoer zitten. Strikt genomen geldt dat alleen voor koper, want voor lood geldt in de EU een norm voor  $30 \text{ mg kg}^{-1}$  voor ruwvoer. Dit wordt echter niet in alle landen gehanteerd; zo geldt in Duitsland een norm van  $10 \text{ mg kg}^{-1}$ . Voor lood is deze norm echter ook gebaseerd op de kwaliteit van orgaanvlees en niet direct gerelateerd aan diergezondheid.

Voor koper liggen de waarden rond of net boven de norm voor ruwvoer voor schapen en liggen in een aantal deelvakken ook hoger dan de gemiddelde gehalten aan koper op basis van data uit heel Nederland (data opgenomen in tabel A3). Onderzoek naar de gehalten aan koper in onder meer de Krimpenerwaard en de Ronde Venen laat zien dat ook daar de gehalten in gras variëren tussen 5 en  $22 \text{ mg kg}^{-1}$  (mediaan  $13 \text{ mg kg}^{-1}$ , Boels en Zweers, 2002).

Opvallend is overigens dat de hoogst gemeten waarde voor lood aangetroffen wordt in het referentiemonster. Ook voor koper ligt de waarde in het referentiemonster op  $16.3 \text{ mg kg}^{-1}$  en daarmee boven de gewasnorm. Voor de andere metalen liggen de metingen in gras uit het referentievak ook in dezelfde orde van grootte als die van de onderzochte vakken. Voor deze referentie zijn op dit moment geen bodemgegevens bekend, maar als dit perceel niet beïnvloed is door het opbrengen van bagger, dan suggereren de data van het referentieperceel dat de waarden in het gras van de deelsaneringsvakken niet afwijken van 'schone' percelen en daarmee regionaal representatief zijn. Dat zou betekenen dat er geen of zeer beperkt een invloed is van het aanbrengen van de bagger. Om dit te verifiëren, is echter een betere karakterisering van de achtergrondkwaliteit van de schone percelen nodig.

**Tabel A3** Gemiddelde waarde ( $n=2$  per locatie) aan metalen in ongewassen gras ( $\text{mg kg}^{-1}$  ds) en geldende gewasnormen volgens de EU of NRC.

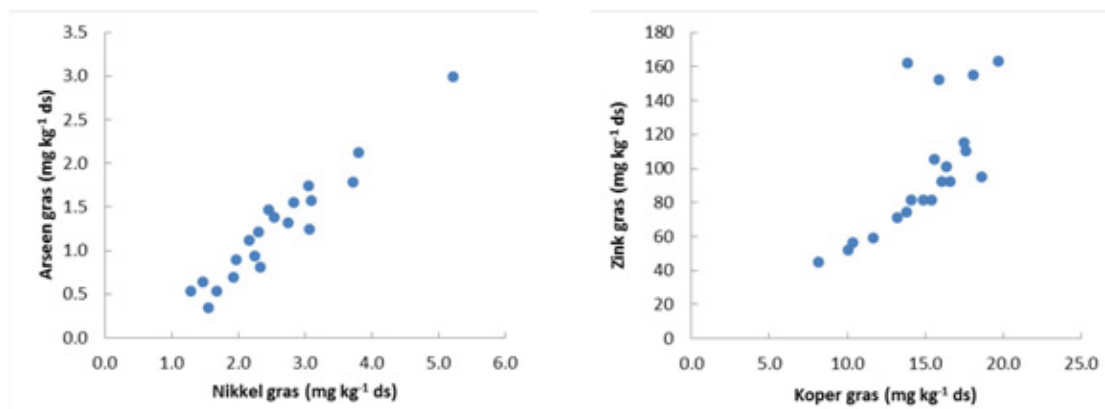
Norm veevoer	Gemiddelde NL	Norm:	Cu	Zn	As	Cd	Cr	Ni	Pb
			$\text{mg kg}^{-1}$	$\text{mg kg}^{-1}$	$\text{mg kg}^{-1}$	$\text{mg kg}^{-1}$	$\text{mg kg}^{-1}$	$\text{mg kg}^{-1}$	$\text{mg kg}^{-1}$
			NRC	NRC	NRC	EU- (NRC)	NRC	NRC	NRC- (EU)
			15	250	30	1-(10)	100	50	10 (30)
			8.9 <sup>1</sup>	43 <sup>1</sup>		0.15 <sup>3</sup>		0.1 – 1.1 <sup>2</sup>	2.6 <sup>3</sup>
	P95 Nederland		> 13	87		0.39			5.3
Locatie	eindcode	vak							
De Boer DS1	696	1	14.0	78	0.6	0.22	1.6	1.4	5.1
		Stdev:	0.21	5	0.1	0.01	0.1	0.1	0.8
De Boer DS1	695	6	18.9	159	1.8	1.20	3.2	3.5	15.6
		Stdev:	1.13	6	0.4	0.15	0.7	0.5	4.7
De Boer DS1	694	13	16.0	87	0.6	0.52	1.7	1.8	7.3
		Stdev:	0.85	8	0.4	0.15	0.6	0.3	3.6
Lombok DS3	693	2	14.9	157	0.7	0.82	2.0	2.0	6.8
		Stdev:	1.41	7	0.2	0.12	0.3	0.5	2.0
Lombok DS3	692	8	14.1	76	1.5	0.16	5.5	3.4	16.4
		Stdev:	1.20	7	0.4	0.02	0.5	0.5	3.5
Lombok DS3	691	11	18.1	105	2.1	0.20	5.6	4.0	17.0
		Stdev:	0.78	14	1.2	0.07	3.0	1.7	10.3
Locatie VIII DS5	687	8.1a	16.6	108	1.6	0.20	3.9	2.8	14.7
		Stdev:	1.41	4	0.2	0.02	0.5	0.4	2.1
Locatie VIII DS5	689	8.1b	9.2	49	1.3	0.08	3.7	2.5	8.3
		Stdev:	1.34	5	0.3	0.01	0.9	0.5	2.6
Locatie VIII DS5	688	8.2	11.1	58	1.3	0.12	4.1	2.4	10.3
		Stdev:	0.92	2	0.1	0.01	0.1	0.2	0.2
REF n.v.t.	697	1	16.3	97	0.8	0.60	3.9	2.1	20.9
		Stdev:	0.21	6	0.2	0.08	0.5	0.2	7.3

<sup>1</sup> CVB op basis van data 2005.

<sup>2</sup> CVB op basis van literatuur.

<sup>3</sup> Wiersma et al., 1985.

Uit de analyse van de onderlinge relaties tussen de metalen in gras blijkt dat er twee groepen onderscheiden kunnen worden. Enerzijds is dat een groep met de metalen koper, cadmium en zink en anderzijds de groep met arseen, chroom, nikkel, lood. Voor beide groepen geldt dat de gewasgehalten onderling redelijk tot goed gecorreleerd zijn, maar niet met de gehalten van metalen uit de andere groep. Deze indeling komt daarmee overeen met die metalen die opgenomen worden uit de grond (koper, zink en cadmium) tegenover die metalen waarvan de opname gering is en grotendeels bepaald worden door aanhangende grond (m.n. chroom, lood, arseen en in mindere mate nikkel). Dit is geïllustreerd in figuur A2 voor de relatie tussen arseen en nikkel in gras (links) en koper en zink (rechts). Wel valt uit figuur A2 af te leiden dat de hoge waarden voor zink afwijken van de algemene trendlijn. Twee van deze afwijkende punten zijn afkomstig van het deelveld met afwijkend hoge zinkgehalten (DS-1 vak 6), wat de hoge opname van zink mogelijk verklaart.



**Figuur A2** Relatie tussen het gehalte aan nikkel en arseen in gras (links) en koper en zink (rechts).

Voor koper, evenals voor zink en cadmium, geldt dat de gehalten in gras deels bepaald worden door opname (Römkens et al., 2007), alhoewel de directe relatie tussen graskwaliteit en bodem niet duidelijk aanwezig is. Omdat de data voor de andere metalen laten zien dat er sprake is van een deel aanhangende grond zal dit ook voor koper het geval zijn, wat deels de verhoogde gehalten verklaart, en mogelijk de afwijking tussen de hier gerapporteerde waarden en gehalten uit niet specifiek belaste gebieden.

Een schatting van het percentage aanhangende grond aan gras kan gemaakt worden met de volgende vergelijking (Rietra en Römkens, 2009), zeker voor metalen die beperkt opgenomen worden:

$$\% \text{ aanhangende grond} = (\text{metaal}_{\text{gras}} - \text{referentiegehalte}_{\text{gras}}) / \text{gehalte}_{\text{grond}}$$

Op basis van het referentiegehalte<sub>gras</sub> voor arseen (0.5 mg kg<sup>-1</sup>), lood (3 mg kg<sup>-1</sup>) en chroom (0.5 mg kg<sup>-1</sup>) levert dit redelijk constante waarden voor aanhangende grond op van 2 tot 5% voor de meerderheid van de grasmonsters. Uitzonderingen hierop zijn de monsters van vak DS3 (11) en, voor koper, vak DS1 (13) waarin de hoge gehalten aan koper niet verklaard kunnen worden uit een basisopname en een realistisch (2-6%) percentage aanhangende grond. Omdat verder niet bekend is wat de andere sturende factoren zijn voor de opname van koper (o.a. molybdeen, pH en zwavel), blijft onduidelijk waarom de gehalten aan koper in dit gebied relatief hoog zijn. Een gericht onderzoek naar de samenhang tussen deze genoemde factoren kan uitsluitsel bieden en geeft ook inzicht in welke mate deze hoge kopergehalten acceptabel zijn voor vooral schapen.

Ook voor zink geldt dat de hoge aangetroffen waarden, die overigens binnen de norm vallen, niet verklaard kunnen worden door een percentage aanhangende grond. In dat geval zou er theoretisch tussen 30 en 80% aanhangende grond in het gewas moeten zitten, wat aangeeft dat het merendeel van het zink in de plant afkomstig moet zijn uit de grond of uit andere bronnen. In sommige gevallen zou depositie vanuit de lucht een rol kunnen spelen, maar lettend op de waarden voor de overige metalen lijkt dit niet aan de orde.

Voor lood betekent dit dat de overschrijding van de gewasnorm het gevolg is van aanhangende grond, ook weer met uitzondering van vak DS3 (8 en 11). De inname van grond heeft echter zelfs bij veel hogere gehalten in de bodem (Rietra en Römkens, 2009) geen waarneembare effecten op diergezondheid. Bij de bodemgehalten die in deze onderzochte percelen zijn aangetroffen, is de kans dat de norm voor lood in orgaanvlees overschreden wordt ook gering. Daarbij geldt ook dat de bemonstering zoals nu is uitgevoerd als een redelijke 'worst case' geldt, omdat de verwachting is dat door het seizoen (nat) er sneller sprake is van aanhangende grond en het gras bovendien niet groeit, waardoor de grond aan een relatief weinig biomassa 'hangt'.

#### *Conclusies t.a.v. het gewasonderzoek in relatie tot diergezondheid en productkwaliteit*

- De aangetroffen gehalten aan metalen voor koper, lood en in één geval voor cadmium overschrijden de gewasnorm voor ruwvoer en liggen (voor koper en lood) boven de normale range aan gehalten in niet-belaste gebieden. Vergelijken met gras uit andere belaste gebieden zijn de verschillen in koper en lood minder groot, hoewel ze nog steeds aan de bovengrens liggen van metingen elders.
- Voor lood is dit merendeels te verklaren door aanhangende grond, maar voor koper en cadmium zijn de gehalten waarschijnlijk ook gerelateerd aan opname uit de grond.

- Voor koper resulteert dat in gehalten die afwijken van gras uit andere gebieden. Zeker in combinatie met de deels sterk verhoogde kopergehalten in de bodem verdient het aanbeveling nader onderzoek te doen naar de herkomst van het koper in het gras en de invloed van andere bodemfactoren (zwavel, molybdeen en pH), ook in niet-belaste percelen, om vast te stellen of deze gehalten regionaal afwijkend zijn of dat ze toch te relateren zijn aan het opbrengen van bagger.
- Voor lood geldt in NL ook een hogere ruwvoernorm die niet overschreden wordt en in combinatie met de verhoogde, maar zeker niet extreme gehalten in de bodem zijn er voor lood geen risico's te verwachten voor grazend vee (incl. schapen).
- Voor cadmium resulteert de inname van grond en gras weliswaar in een verhoogde blootstelling vergeleken met die niet-belaste gebieden, maar zal dit niet leiden tot gezondheidseffecten voor dieren. Bij dergelijke gehalten in bodem en gewas is het wel waarschijnlijk dat de warenwetnorm voor cadmium in orgaanvlees van oudere dieren overschreden wordt. Dit is echter veelvoorkomend in Nederland in zowel belaste als niet-belaste gebieden (Rietra en Römken, 2007; Römken et al., 2007). In het algemeen geldt het advies om orgaanvlees afkomstig van vee uit diffuus verontreinigde gronden niet voor consumptie te gebruiken.

### Risico's voor schapen gebaseerd op blootstelling

Naast normen voor groenvoer en bodem kan het risico voor schapen ook bepaald worden aan de hand van de totale inname van grond en voer. Daarbij kan dan de totale inname vergeleken worden met experimenteel bepaalde maximaal aanvaardbare inname (TDI, Tolerable Daily Intake). Een knelpunt bij deze benadering is dat de vastgestelde TDI sterk varieert tussen dieren, maar ook als gevolg van de proefopzet. Zo wordt in dierproeven de dosering vaak bepaald aan de hand van toegevoegd metaal waarbij vaak zouten gebruikt worden om de dosering te stellen. Dat betekent dat de beschikbaarheid voor het dier van dergelijke metalen hoog is, bij benadering 100%. Voor metalen in grond en voer echter kan de beschikbaarheid lager zijn. Zeker voor metalen in grond is vastgesteld dat de beschikbaarheid van metalen kan variëren tussen 10 en 90% (in geval van humane inname), omdat niet alle metalen uit de voeding (of grond, in geval van kinderen) in de maag en darmen beschikbaar komen. Algemene correctiefactoren zijn echter niet of zeer beperkt beschikbaar en de huidige TDI's zijn daarom relatief streng.

Een algemene rekenregel om de totale dagelijkse inname van metalen te berekenen is:

$$\text{Dagelijkse Inname (Me}_{\text{inname}}) = M_{\text{grond}} * \text{gehalte}_{\text{grond}} + M_{\text{gewas}} * \text{gehalte}_{\text{gewas}} + M_{\text{water}} * \text{concentratie}_{\text{water}}$$

Waarbij M staat voor hoeveelheid in kg dag<sup>-1</sup> en het gehalte in het voer is in mg kg<sup>-1</sup> ds. Vaak wordt de bijdrage van water verwaarloosd, omdat deze in absolute zin minder dan 1% bijdraagt aan de totale inname.

Uiteindelijk resulteert dit in een inname in mg dag<sup>-1</sup> en door deze te delen door het gewicht van dier (M<sub>schaap</sub>) en de geldende TDI (in mg kg<sup>-1</sup>lg dag<sup>-1</sup>), kan op die manier een risico-index (RI) berekend worden:

$$RI = [Me_{\text{inname}} - M_{\text{schaap}}] - TDI$$

Een RI van 1 betekent in dat geval dat de dagelijkse inname boven de TDI uitkomt.

Voor een aantal metalen is een redelijk betrouwbare TDI afgeleid, maar o.a. voor koper is deze sterk variabel. Een alternatieve methode is om de TDI af te leiden van bestaande normen in gewas en bodem. Op basis van de dagelijkse gemiddelde inname kan dan ook een maximale inname berekend worden:

$$TDI = (M_{\text{gras}} * \text{norm}_{\text{voer}} + M_{\text{bodem}} * \text{LAC}_{\text{bodem}} + V_{\text{water}} * \text{norm}_{\text{drinkwater}}) - M_{\text{schaap}}$$

Hier houden we geen rekening met de inname via drinkwater, omdat dit in de berekening van de dagelijkse inname ook niet is gedaan. In tabel A4 staan de aldus berekende of gegeven TDI-waarden alsmede de normen in grond en gewas waarop de berekening is gebaseerd. Naast deze waarden staat er ook een gemiddelde waarde voor de chemische beschikbaarheid van metalen in bodem, zoals bepaald met verdund HNO<sub>3</sub> (Römken et al., 2009; Rodrigues et al., 2013). Deze laatste extractie is voor cadmium, lood en zink aantoonbaar een-op-een gerelateerd aan de humane biobeschikbaarheid (Rodrigues et al., 2013)

**Tabel A4** TDI-waarden uit literatuur of berekend uit normen in voer en bodem.

	LAC bodem (mg kg <sup>-1</sup> )	Gewasnorm (mg kg <sup>-1</sup> DS)	TDI literatuur <sup>1</sup> (mg kg <sup>-1</sup> lg dag <sup>-1</sup> )	TDI Schaaap (mg kg <sup>-1</sup> lg dag <sup>-1</sup> )	Beschikbaarheid
As	50	30	5	1	1 <sup>2</sup>
Cd	3	1-10	0.035	0.035	0.7
Cu	30	15	0.16	0.51	0.55
Pb	150	10-30	0.3	0.5	0.65
Zn	720	250	44	8.7	0.3

<sup>1</sup> Van der Pol et al., 2004.<sup>2</sup> Geen data, daarom factor gelijkgesteld aan 1.

Voor al voor arseen en zink verschillen de aldus berekende waarden voor de TDI. De overeenkomst voor cadmium suggereert dat de literatuurwaarde eveneens op de inname gelijk aan de norm in grond en voer is gebaseerd.

Aan de hand van de gegevens van bodem en gewas kan nu per onderzochte locatie de dagelijkse inname (DI, Daily Intake) en de bijbehorende RI berekend worden. Uiteraard levert de combinatie van verschillen in normen en daaruit volgende TDI's in combinatie met het al dan niet corrigeren voor beschikbaarheid allerlei mogelijke varianten op.

In tabel A5 beperken we deze analyse tot de volgende twee scenario's

1. Scenario op basis van diergezondheid (Cd<sub>norm</sub> 10 in plaats van 1, Pb<sub>norm</sub> 30 i.p.v. 10) en correctie voor beschikbaarheid. Voor koper is er geen andere norm gehanteerd, omdat 15 de generieke norm is voor alle vormen van diervoeders.
2. Worst case, gebruik van de strengste norm en bijbehorende TDI, geen correctie voor beschikbaarheid.

**Tabel A5** Berekende RI voor arseen, cadmium, koper, lood en zink voor twee scenario's:

I: diergezondheid en beschikbaarheidscorrectie, II = worst case. In vet waarden die hoger zijn dan 1.0 en schuin waarden van meer dan 0.5 als indicatie voor verhoogde kans op effecten.

Locatie	As		Cd		Cu		Pb		Zn	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
De Boer DS1-1	0.01	0.05	0.02	0.23	0.57	<b>3.26</b>	0.23	<b>1.33</b>	0.02	0.32
De Boer DS1-6	0.02	0.09	0.09	<b>1.14</b>	0.93	<b>5.33</b>	0.51	<b>2.96</b>	0.04	0.64
De Boer DS1-13	0.01	0.04	0.04	0.49	0.56	<b>3.21</b>	0.34	<b>1.97</b>	0.02	0.31
Lombok DS3-2	0.01	0.03	0.06	0.74	0.56	<b>3.23</b>	0.17	<b>1.00</b>	0.03	0.58
Lombok DS3-8	0.01	0.06	0.01	0.15	0.52	<b>2.98</b>	0.35	<b>2.04</b>	0.02	0.29
Lombok DS3-11	0.02	0.08	0.02	0.22	0.64	<b>3.70</b>	0.37	<b>2.11</b>	0.02	0.40
Locatie 8 DS5-8.1a	0.01	0.07	0.01	0.18	0.62	<b>3.58</b>	0.57	<b>3.29</b>	0.02	0.40
Locatie 8 DS5-8.1b	0.01	0.06	0.01	0.08	0.37	<b>2.12</b>	0.45	<b>2.61</b>	0.01	0.19
Locatie 8 DS5-8.2	0.01	0.05	0.01	0.12	0.42	<b>2.40</b>	0.25	<b>1.45</b>	0.01	0.23

Uit tabel A5 kan geconcludeerd worden dat er voor arseen en zink nooit een probleem te verwachten is. Voor cadmium ligt de meest kritische RI in één locatie boven de 1. Dit betreft de locatie met het verhoogde cadmiumgehalte in voer (1.2 mg kg<sup>-1</sup>). Dit betekent overigens alleen dat er een kans bestaat dat de gehalten in orgaanvlees (nier en lever) niet aan de warenwet voldoen. Effecten op diergezondheid zijn niet te verwachten.

Voor koper en lood levert scenario 2 een resultaat op dat overeenstemt met de uitgangspunten van de generieke risicobeoordeling. Indien de gehalten in gras boven of rond een norm liggen in combinatie met bodemgehalten die boven de LAC-waarde liggen, dan moet dat resulteren in een RI van meer dan 1. Wanneer echter op een reële manier gecorrigeerd wordt voor de beschikbaarheid van metalen in grond en gewas, dan leidt dat voor lood tot een resultaat waarbij de combinatie van gehalte in voer en gewas niet tot gezondheidseffecten voor schaaap (en rund) zal leiden. Dit bevestigt daarmee eerdere waarnemingen van metingen in dierlijke organen.

Voor koper blijft de kans op effecten op diergezondheid echter aanwezig. Voor koper geldt ook in hogere mate dan voor lood en cadmium dat de aangetroffen waarden in de bodem en gewas verder boven de normen lagen. Zoals eerder gesteld, is het niet zo dat deze effecten ook daadwerkelijk op zullen treden, want dit is onder meer afhankelijk van de samenstelling van de bodem. Vooral de aanwezigheid van zwavel en molybdeen speelt daarbij een grote rol: bij voldoende molybdeen en zwavel in het dieet worden de effecten van koper minder. Zo zijn bij een gemiddeld molybdeengehalte van  $3 \text{ mg kg}^{-1}$  in het dieet effecten van koper niet te verwachten tot gehalten in voer van ongeveer  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ . Of dat in dit geval aan de orde is, is niet bekend. Overigens moet hieraan toegevoegd worden dat hoge zwavelgehalten in voer in combinatie met molybdeen voor runderen juist tot kopergebrek kunnen leiden. Juist in geval van het aanbrengen van bagger zijn herhaaldelijk verhoogde gehalten aan zwavel geconstateerd, wat in enkele gevallen leidde tot suboptimale kopervoorziening (Counotte, 2010).

Voor koper zijn in 2005 indicatieve regiospecifieke grenswaarden berekend (Straetmans et al., 2005) voor schapen. Ook deze berekening is destijds gebeurd door gebruik te maken van de toegestane hoeveelheden aan koper in voer en bodem. De uiteindelijk berekende grenswaarde variëren van 45 tot  $75 \text{ mg kg}^{-1}$ ; deze variatie was vooral het gevolg van de onzekerheid in het percentage aanhangende grond. Ofschoon deze waarden hoger liggen dan de generieke LAC ( $30 \text{ mg kg}^{-1}$ ) wordt ook de waarde van  $75 \text{ mg kg}^{-1}$  in de onderzochte velden regelmatig overschreden. Factoren die in de studie van Straetmans et al. (2005) niet zijn meegenomen, zijn onder andere de beschikbaarheid van koper in de bodem en de invloed van molybdeen en zwavel op de opname.

#### *Bijdrage van grond en gewas aan de totale inname van koper*

Om na te gaan wat de verhouding is tussen de bijdrage van grond en gras aan de totale inname is voor elk van de onderzochte locaties de ratio tussen beide berekend. Uiteraard hangt die ratio af van de aanname van het percentage aanhangende grond. Standaard is hiervoor 4% gehanteerd, maar daarnaast is ook een extreme waarde van 10% gebruikt.

Uit de berekeningen volgt dat de bijdrage van inname via gras vrijwel altijd dominant is en varieert van 69% tot 95% (gemiddelde: 88%) in geval van 4% aanhangende grond. In het extreme geval waarbij gerekend is met 10% aanhangende grond is de bijdrage van gras nog steeds bepalend voor de blootstelling en varieert van 47% (voor de grond met  $> 200 \text{ mg kg}^{-1}$  koper) tot 94% (gemiddelde: 76%).

Deze hoge bijdrage van inname via voer aan de totale blootstelling is relevant, omdat in dat geval de kwaliteit van het voer bepalend is voor de inname en daarmee effecten op diergezondheid. Juist omdat deze hoge gehalten in het gras ook voorkomen op locatie met lage gehalten in de bodem maakt dit de beoordeling op grond van bodemkwaliteit alleen niet mogelijk.

#### *Conclusies m.b.t. blootstelling in relatie tot diergezondheid en productkwaliteit*

- Op basis van de TDI is er voor zink en arseen in geen van de onderzochte percelen kans op effecten op diergezondheid of productkwaliteit.
- Voor cadmium kan het hoge aangetroffen gehalte in gras in locatie DS1-6 leiden tot overschrijding van warenwetnormen voor orgaanvlees. De kans op effecten op diergezondheid is echter gering.
- Voor lood zijn de kansen op effecten op diergezondheid gering of afwezig, ondanks de verhoogde gehalten in bodem en/of gras.
- Voor koper leiden de verhoogde gehalten in bodem en voer tot overschrijding van de risico-index, wat in geval van schapen vooral gerelateerd is aan effecten op gezondheid. Ook na correctie voor de beschikbaarheid van koper in bodem en gewas blijft, onder meer in locatie DS1-6, deze kans aanwezig. Of dit inderdaad aan de orde is, hangt sterk af van de samenstelling van de bodem en gras voor onder meer zwavel en molybdeen. Het feit dat de gehalten in gras generiek hoger zijn dan gemiddeld, ook in de referentiesite (deze is in de blootstellingsanalyse niet meegenomen omdat er geen bodemgegevens beschikbaar zijn), maakt dat niet eenduidig vastgesteld kan worden of deze verhoogde gehalten veroorzaakt worden door het aanbrengen van bagger of dat dit een regiospecifiek fenomeen is.
- Omdat de bijdrage van de inname via voer dominant is t.o.v. die in grond, zijn er geen eenduidige grenswaarden voor grond aan te geven.

---

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### *Conclusies op basis van beschikbare data*

- De gehalten aan koper en lood in de bodem en gras van de onderzochte percelen in het Ilperveld zijn verhoogd ten opzichte van die in vergelijkbare veengronden. Voor cadmium, zink, nikkel, chroom en arseen zijn de gehalten minder afwijkend van die in veengronden.
- Het gehalte in gras voor de metalen arseen, nikkel, chroom en lood wordt in hoge mate bepaald door aanhangende grond, wat met name de verhoogde loodgehalten in gras verklaart.
- Voor koper, zink en in mindere mate cadmium zijn de verhoogde gehalten deels ook het gevolg van opname uit de bodem en liggen de aangetroffen gehalten van m.n. koper en zink boven die welke normaal in veengronden gevonden worden.
- De gehalten aan koper overschrijden daarmee ook regelmatig de norm voor ruwvoer voor schapen, niet alleen in gronden met verhoogd koper, maar ook in gronden met normale gehalten aan koper.
- Omdat de verhoogde gehalten in gras aan zowel koper als lood ook in een referentieveld aangetroffen zijn waarvan nu geen bodemdata voorhanden zijn, kan niet uitgesloten worden dat deze verhoogde gehalten deels regiospecifiek zijn.
- De combinatie van verhoogde gehalten in de bodem en in gras leidt tot verhoogde inname door schapen. Voor de metalen arseen, chroom, nikkel, zink, lood en cadmium leidt dat echter niet tot effecten op diergezondheid. Voor cadmium en lood bestaat de kans dat de norm voor lood in orgaanvlees overschreden wordt, maar metingen in andere locaties met veel hogere gehalten aan lood tonen aan dat die kans gering is. Voor cadmium geldt dat het overschrijden van normen in orgaanvlees niet specifiek is en op meerdere locaties in Nederland regionaal voorkomt.
- Voor koper kan op basis van deze data geen eenduidige conclusie getrokken worden. Indien correctie van de beschikbaarheid van metalen wordt toegepast, is de kans op effecten voor diergezondheid klein en beperkt tot een aantal velden met verhoogde kopergehalten (indicatief: koper > 100 mg kg<sup>-1</sup>). Of deze correctie gerechtvaardigd is, moet blijken uit specifiek onderzoek in de grond van de locaties en kan op grond van deze data niet vastgesteld worden.
- In deze studie zijn geen metingen verricht aan die factoren die de opname van koper kunnen beïnvloeden, nl. molybdeen en zwavel in bodem en gras. Hoge gehalten aan molybdeen en zwavel onderdrukken op de opname van koper en verlagen de kans op effecten op diergezondheid. Het feit dat de verhoogde gehalten aan koper in gras ook in locaties met lage tot normale kopergehalten in de bodem aangetroffen zijn, suggereert dat de beschikbaarheid van koper in deze gronden hoger is dan normaal in veengronden.
- Cruciaal in deze beoordeling is de vraag wat de reden is voor de verhoogde kopergehalten in gras. Op basis van de huidige data kan *niet* vastgesteld worden wat de reden hiervoor is. Indien men de kansen op effecten voor diergezondheid voor schapen wil minimaliseren, is eerst verder onderzoek nodig naar deze verhoogde gehalten. Omdat er *geen* duidelijke relatie bestaat tussen het gehalte in de grond en in het gras, is er geen eenduidige grens aan te geven (voor het gehalte in de bodem) waarboven het gebruik voor schapen gegarandeerd veilig is. Na correctie voor beschikbaarheid zal in percelen met gehalten van meer dan 100-150 mg kg<sup>-1</sup> in elk geval de RI van 1 overschreden worden. Zonder correctie voor beschikbaarheid ligt als gevolg van de hoge gehalten aan koper in gras de RI in vrijwel alle percelen boven de 1, wat aangeeft dat risico's voor diergezondheid aanwezig zijn.
- Op dit moment kan daarom niet met zekerheid gesteld worden dat er geen effecten voor diergezondheid (schapen) ontstaan in die percelen waar de gehalten aan koper in gras meer dan 15 mg kg<sup>-1</sup> bedragen.

Alles overziend, kan worden geconcludeerd dat de geconstateerde normoverschrijdingen in de gewassen niet eenduidig zijn te herleiden naar de kwaliteit van de aangebrachte afdeklaag in het kader van de sanering. Er is mogelijk sprake van een meer regiospecifieke combinatie van bodemeigenschappen die de verhoogde gehalten in gewas veroorzaken. Dit neemt niet weg dat de nu geconstateerde situatie kan leiden tot effecten op de diergezondheid.

### *Aanbevelingen*

- Uitsluitel over de geschiktheid van de percelen voor schapenteelt die nu beperkt wordt door de hoge gehalten aan koper in gras is mogelijk indien ook de gehalten aan molybdeen en zwavel bepaald worden in gras en bodem.



- Daarnaast zijn meer bodem- en gewasmetingen in referentiepercelen nodig om na te gaan of in dit gebied sprake is van een regionale afwijking in bodem die de verhoogde gehalten in gras verklaart.
- Op dit moment geldt het advies de graslandpercelen niet te gebruiken voor schapen totdat is vastgesteld dat de kwaliteit van het ruwvoer (gras) voldoende molybdeen en of zwavel bevat.

NOOT: in een aanvullende bijlage wordt nader ingegaan op de resultaten van de aanvullende analyse van de grasmonsters voor molybdeen en zwavel. Deze analyse geeft antwoord op de vraag in hoeverre de verhoogde gehalten aan koper daadwerkelijk beschikbaar zijn voor schapen. Deze analyse is verder niet in de tekst van deze notitie verwerkt.

## REFERENTIES

- Boels, D. en A.J. Zweers. 2002. Evaluatie actief bodembeheer Krimpenerwaard; fase I, verkennend onderzoek landbouwkundige risico's. Alterra rapport 145, 57 pp.
- Bosveld, A.T.C., T.C. Klok, J.M. Bodt & M. Rutgers. 2000. Ecologische risico's van bodem-verontreinigingen in toemaakdek in de gemeente De Ronde Venen. Alterra rapport 151. 92 pp.
- Counotte, G.H.M. 2010. ZWAVEL ALS OORZAAK VAN PROBLEMEN? Verslag van onderzoek naar mogelijke relatie tussen het opbrengen van baggerslib op percelen, gehalten van elementen in gras dat groeit op die percelen en eventuele diergezondheidsproblemen. Gezondheidsdienst voor Dieren (GD), rapport nummer 20101103-00001385.
- CVB, 2005. Handleiding Mineralenvoorziening Rundvee, Schapen en Geiten. Commissie Onderzoek Minerale Voeding. Centraal Veevoederbureau, Lelystad.
- Directive 70-524-EEC. Council Directive 70-524-EEC of 23 November 1970 concerning additives in feeding-stuffs. THE COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES.
- Directive 2002-32-EC. DIRECTIVE 2002-32-EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 7 May 2002 on undesirable substances in animal feed.
- Harmsen, J., R.P.J.J. Rietra en A. van den Toorn. 2013. Onderzoek weilanddepot Aanen. Gebruiksmogelijkheden voor de landbouw; Alterra rapport 2442, 48 pp.
- Mol, G., P. van Gaans, J. Spijker en P. Römkens. 2013. Bodemgeochemische Atlas van Nederland. Wageningen Academic Publishers.
- NRC, 2005. Mineral Tolerance of Animals. 2<sup>nd</sup> revised edition. Committee of Minerals and Toxic Substances in Diets and Water for Animals, NRC, National Academic press, Washington DC. 496 pp.
- Pol, J.J.C. van der, A.T.C. Bosveld en N.W. van den Brink. 2004. PIMM-Biota 2002-2003, analyses in het kader van het Provinciaal Integraal Meetnet Milieukwaliteit (PIMM), Provincie Zuid-Holland; Deelrapport 1: Zware metalen in gras en risico's voor grote grazers. Alterra rapport 855.1, 69 pp.
- Rietra, R.P.J.J. & P.F.A.M. Römkens. 2007. Cadmium en zink in bodem en veevoer in natuurterreinen in de Kempen. Bodem en gewasonderzoek in de Dommelbeemden, Plateaux en Kettingdijk. Alterra rapport 1497, 35 pp.
- Rietra, R.P.J.J. en P.F.A.M. Römkens. 2010. De invloed van toemaak op de kwaliteit van veevoer en inname door grote grazers. Invloed van bodemverontreiniging op de kwaliteit van veevoer en de gehalten aan lood in faeces en orgaanvlees van koeien en schapen in het Veenweidegebied. Alterra rapport 1871, 59 pp.
- Rodrigues, S.M., Cruz, N., Coelho, C., Henriques, B., Carvalho, L., Duarte, A.C., Pereira, E., Römkens, P.F. 2013. Risk assessment for Cd, Cu, Pb and Zn in urban soils: chemical availability as the central concept. (2013) Environmental pollution, 183, pp. 234-242.
- Römkens, P.F.A.M., M.J. Zeilmaker, R.P.J.J. Rietra, C.A. Kan, J.C.H. van Eijkeren, L.W.D. van Raamsdonk en J.P.A. Lijzen. 2007. Blootstelling en opname van Cadmium door runderen in de Kempen: een modelstudie. Alterra rapport 1438, 70 pp.
- Römkens, P.F.A.M., J.E. Groenenberg, R.P.J.J. Rietra, J.E. Groenenberg & W. de Vries. 2008. Onderbouwing LAC2006-waarden en overzicht van bodem-plant relaties ten behoeve van de Risicotoolbox; een overzicht van gebruikte data en toegepaste methoden. Alterra rapport 1442. 103 pp.
- Römkens, P.F., Guo, H.-Y., Chu, C.-L., Liu, T.-S., Chiang, C.-F., Koopmans, G.F. 2009. Characterization of soil heavy metal pools in paddy fields in Taiwan: Chemical extraction and solid-solution partitioning. Journal of Soils and Sediments, 9 (3), pp. 216-228.
- Straetmans, E.H.F.M., P.F.A.M. Römkens, en C.J.H. Bes. 2005. Veel koper weinig wol? Bodem 15(3):112-114.
- Wiersma, D., B.J. van Goor en N.G. van der Veen. 1985. Inventarisatie van cadmium, lood, kwik en arseen in Nederlandse gewassen en bijbehorende gronden. Rapport 8 -85. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren (Gr.).

---

# Bijlage 2    Overzicht van meetresultaten

## Bodem – Gewas – Worm

In deze bijlage staan de volgende meetresultaten:

**Tabel Bijlage 2.1.1**    Overzicht bodemeigenschappen (organisch stof, pH en DOC) en bepalingen totaalgehalten (Cu, S, Zn en Mo met Aqua Regia) in de bodem (data op droge stof): data 2015 (deelvak 1).

**Tabel Bijlage 2.2.2**    Overzicht bodemeigenschappen (organisch stof, pH en DOC) en bepalingen totaalgehalten (Cu, S, Zn en Mo met Aqua Regia) in de bodem (data op droge stof): data 2016 (deelvak 2).

**Tabel Bijlage 2.3.3**    Overzicht bodemeigenschappen (organisch stof, pH en DOC) en bepalingen totaalgehalten (Cu, S, Zn en Mo met Aqua Regia) in de bodem (data op droge stof): data 2017 (deelvak 3).

**Tabel Bijlage 2.4.1**    Overzicht meetresultaten reactieve ( $\text{HNO}_3$ ) en beschikbare ( $\text{CaCl}_2$ ) gehalten aan Cu, Zn, Mo en S in de bodem (alle data op droge stof): data 2015 (deelvak 1).

**Tabel Bijlage 2.5.2**    Overzicht meetresultaten reactieve ( $\text{HNO}_3$ ) en beschikbare ( $\text{CaCl}_2$ ) gehalten aan Cu, Zn, Mo en S in de bodem (alle data op droge stof): data 2016 (deelvak 2).

**Tabel Bijlage 2.6.3**    Overzicht meetresultaten reactieve ( $\text{HNO}_3$ ) en beschikbare ( $\text{CaCl}_2$ ) gehalten aan Cu, Zn, Mo en S in de bodem (alle data op droge stof): data 2017 (deelvak 3).

**Tabel Bijlage 2.7.1**    Overzicht van meetresultaten van Cu, S, Mo en drogestofgehalte in gras in juni, september en november 2015 (noot: codering van specifieke deelpercelen zijn niet gegeven omdat die verschillen per bemonstering).

**Tabel Bijlage 2.3.2**    Overzicht van meetresultaten van Cu, S, Mo en drogestofgehalte in gras in maart, juni en oktober 2016 (noot: codering van specifieke deelpercelen zijn niet gegeven omdat die verschillen per bemonstering).

**Tabel Bijlage 2.3.3**    Overzicht van meetresultaten van Cu, S, Mo en drogestofgehalte in gras in maart, juni en oktober 2017 (noot: codering van specifieke deelpercelen zijn niet gegeven omdat die verschillen per bemonstering).

**Tabel Bijlage 2.4.1**    Overzicht van meetresultaten in wormen in 2015 uit deelvak 1 ( $\text{mg kg}^{-1}$  DS).

**Tabel Bijlage 2.4.2**    Overzicht van meetresultaten in wormen in 2016 uit deelvak 2 ( $\text{mg kg}^{-1}$  DS, enkelvoudige metingen i.v.m. te lage hoeveelheden biomassa).

**Tabel Bijlage 2.4.3**    Overzicht van meetresultaten in wormen in 2017 uit deelvak 3 ( $\text{mg kg}^{-1}$  DS, gemiddelde en stdev,  $n=2$  per locatie).

**Tabel Bijlage 2.1.1** Overzicht bodemeigenschappen (organische stof, pH en DOC) en bepalingen totaalgehalten (Cu, S, Zn en Mo met Aqua Regia) in de bodem (data op droge stof): data 2015 (deelvak 1).

Locatie	Organische Stof	pH	DOC	Cu	S	Zn	Mo
	%	pH CalC <sub>2</sub>	mgC L <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
De Boer-IA	32.8	7.17	38.1	78	8568	299	4.7
De Boer-IB	33.4	7.19	37.6	81	8130	316	1.6
De Boer-IIA	27.1	7.14	40.4	43	6130	177	1.7
De Boer-IIB	25.1	7.20	39.6	46	6612	182	1.5
De Boer-IIIA	38.9	7.06	53.4	80	13054	226	2.3
De Boer-IIIB	38.5	7.07	56.6	77	12669	229	2.1
Locatie 8A	23.0	7.24	24.8	100	7593	231	1.1
Locatie 8B	46.2	6.94	43.9	113	10697	328	1.7
Lombok-IA	20.8	7.21	29.0	56	4783	244	1.7
Lombok-IB	37.1	6.99	38.9	55	7732	245	1.6
Lombok-IIA	58.4	4.73	61.2	74	22728	253	1.7
Lombok-IIB	56.9	4.83	63.1	81	16000	288	1.9
Lombok-IIIA	38.2	6.93	39.0	54	11569	239	1.6
Lombok-IIIB	35.5	6.93	37.0	55	10128	239	1.5
REF-IA	48.8	4.40	122.1	83	6550	165	2.7
REF-IB	46.4	4.34	119.3	63	6015	163	1.9
REF-IIA	58.2	4.70	200.7	66	7368	111	4.5
REF-IIB	61.0	3.94	117.6	59	7723	96	4.6

**Tabel Bijlage 2.1.2** Overzicht bodemeigenschappen (organische stof, pH en DOC) en bepalingen totaalgehalten (Cu, S, Zn en Mo met Aqua Regia) in de bodem (data op droge stof): data juni 2016 (deelvak 2).

Locatie	Organische Stof	pH	DOC	Cu	S	Zn	Mo
	%	pH CalC <sub>2</sub>	mgC L <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
De Boer-IA	30.4	7.15	33.1	64	12305	291	1.9
De Boer-IB	13.4	7.48	19.7	42	4353	232	1.8
De Boer-IIA	51.1	5.32	50.4	96	14867	350	2.3
De Boer-IIB	48.2	5.8	66.0	82	21595	287	2.2
De Boer-IIIA	45.8	5.82	46.8	66	10454	270	2.7
De Boer-IIIB	53.5	6.34	37.3	70	20373	237	2.5
Locatie 8A	20.5	7.16	25.5	28	12610	179	1.4
Locatie 8B	20.4	7.31	25.4	33	13588	163	1.4
Lombok-IA	22.9	7.37	25.1	35	7878	173	1.4
Lombok-IB	24.7	7.30	30.6	36	11002	182	1.3
Lombok-IIA	26.2	6.91	30.9	69	9371	351	2.5
Lombok-IIB	31.3	6.52	38.8	89	12919	364	1.7
Lombok-IIIA	32.4	6.88	29.6	48	6854	247	1.2
Lombok-IIIB	28.1	7.08	27.7	52	6668	248	1.4
REF-1A	55.8	4.67	96.9	133	7436	251	4.4
REF-1B	60.1	4.63	103.3	84	8330	270	5.1
REF-2A	46.7	4.08	75.0	58	6222	124	2.4
REF-2B	56.0	3.91	63.2	19	8978	118	0.9

**Tabel Bijlage 2.1.3**      *Overzicht bodemeigenschappen (organische stof, pH en DOC) en bepalingen totaalgehalten (Cu, S, Zn en Mo met Aqua Regia) in de bodem (data op droge stof): data 2017 (deelvak 3).*

Locatie	Organische Stof	pH	DOC	Cu	S	Zn	Mo
	%	pH CalC <sub>2</sub>	mgC L <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
De Boer-IA	34.8	6.46	54.9	55	6944	216	2.1
De Boer-IB	38.6	6.01	63.2	58	9922	196	2.0
De Boer-IIA	62.3	3.88	82.2	72	10669	194	3.7
De Boer-IIB	63.1	4.02	79.1	79	10614	227	3.6
De Boer-IIIA	58.8	4.13	89.7	100	10029	244	3.6
De Boer-IIIB	59.9	4.14	86.3	96	10091	244	3.7
Locatie 8A	26.0	7.04	40.5	34	5573	173	1.6
Locatie 8B	24.3	7.18	37.3	34	4720	160	1.5
Lombok-IA	51.2	4.58	96.7	62	9317	219	2.5
Lombok-IB	47.1	5.03	93.8	55	9072	216	2.0
Lombok-IIA	49.6	5.25	54.6	78	9856	314	2.6
Lombok-IIB	48.8	5.14	57.6	68	9378	302	2.0
Lombok-IIIA	59.7	4.08	74.9	81	11015	278	2.7
Lombok-IIIB	59.6	4.21	78.0	80	10906	290	2.7
REF-1A	66.1	3.93	143.0	37	7793	92	2.3
REF-1B	67.9	3.87	146.8	35	7026	85	3.0
REF-2A	59.7	4.05	122.2	93	6690	127	4.9
REF-2B	61.0	4.00	129.2	109	6613	123	4.3

**Tabel Bijlage 2.2.1** Overzicht meetresultaten reactieve ( $\text{HNO}_3$ ) en beschikbare ( $\text{CaCl}_2$ ) gehalten aan Cu, Zn, Mo en S in de bodem (alle data op droge stof): data juni 2015 (deelvak 1).

Locatie	Reactief gehalte				Beschikbaar gehalte		
	Cu	Zn	Mo	S	Cu	Mo	Zn
	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	µg kg <sup>-1</sup>	µg kg <sup>-1</sup>	µg kg <sup>-1</sup>
De Boer-IA	42.4	242	0.042	95	92	41	175
De Boer-IB	47.9	247	0.046	121	116	41	239
De Boer-IIA	25.9	143	0.081	1245	84	48	177
De Boer-IIB	25.6	139	0.072	1774	75	49	155
De Boer-IIIA	49.5	222	0.055	4182	87	71	303
De Boer-IIIB	40.9	206	0.058	4115	89	75	314
Locatie 8A	99.9	197	0.016	2243	99	20	339
Locatie 8B	71.8	311	0.033	1580	112	26	772
Lombok-IA	28.0	195	0.038	196	76	44	239
Lombok-IB	28.0	193	0.054	273	65	38	382
Lombok-IIA	39.0	250	0.037	4444	76	3	17166
Lombok-IIB	38.9	255	0.024	4169	81	3	17745
Lombok-IIIA	28.9	191	0.050	3251	48	27	376
Lombok-IIIB	29.9	202	0.028	2756	49	31	370
REF-IA	36.8	130	0.182	213	220	4	11503
REF-IB	26.1	132	0.077	198	174	4	10620
REF-IIA	25.1	80	0.131	526	388	56	3751
REF-IIB	22.9	72	0.139	207	160	15	11146

**Tabel Bijlage 2.2.2** Overzicht meetresultaten reactieve ( $\text{HNO}_3$ ) en beschikbare ( $\text{CaCl}_2$ ) gehalten aan Cu, Zn, Mo en S in de bodem (alle data op droge stof): data juni 2016 (deelvak 2).

Locatie	Reactief gehalte				Beschikbaar gehalte		
	Cu	Zn	Mo	S	Cu	Mo	Zn
	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	µg kg <sup>-1</sup>	µg kg <sup>-1</sup>	µg kg <sup>-1</sup>
De Boer-IA	37.5	214	0.12	3578	90	35	289
De Boer-IB	26.4	150	0.08	784	80	46	112
De Boer-IIA	48.7	301	0.10	3010	114	6	6597
De Boer-IIB	43.1	217	0.10	3912	105	14	4466
De Boer-IIIA	34.8	201	0.11	1331	73	7	2636
De Boer-IIIB	31.1	184	0.08	3944	32	15	1027
Locatie 8A	17.1	155	0.09	3912	32	36	198
Locatie 8B	17.2	122	0.09	4059	26	54	82
Lombok-IA	19.6	119	0.08	2511	46	32	83
Lombok-IB	19.5	127	0.08	3412	49	28	117
Lombok-IIA	41.4	216	0.08	2567	87	31	881
Lombok-IIB	50.3	271	0.09	3885	115	24	2723
Lombok-IIIA	30.9	198	0.06	334	80	24	850
Lombok-IIIB	25.8	176	0.05	253	78	30	522
REF-IA	63.8	206	0.11	335	276	8	11282
REF-IB	39.4	236	0.11	268	221	9	10123
REF-IIA	26.1	83	0.09	143	96	3	10261
REF-IIB	5.9	87	0.01	150	23	1	8494

**Tabel Bijlage 2.2.3**    *Overzicht meetresultaten reactieve (HNO<sub>3</sub>) en beschikbare (CaCl<sub>2</sub>) gehalten aan Cu, Zn, Mo en S in de bodem (alle data op droge stof): data juni 2017 (deelvak 3).*

Locatie	Reactief gehalte				Beschikbaar gehalte		
	Cu	Zn	Mo	S	Cu	Mo	Zn
	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	µg kg <sup>-1</sup>	µg kg <sup>-1</sup>	µg kg <sup>-1</sup>
De Boer-IA	28.5	164	0.044	801	73	14	894
De Boer-IB	29.7	151	0.057	2481	75	11	2063
De Boer-IIA	34.2	140	0.072	157	162	3	20409
De Boer-IIB	36.3	176	0.067	108	137	2	20373
De Boer-IIIA	53.1	198	0.085	353	244	4	25238
De Boer-IIIB	49.6	190	0.086	289	208	4	23558
Locatie 8A	22.3	116	0.030	125	65	33	155
Locatie 8B	19.8	114	0.034	509	59	33	119
Lombok-IA	33.4	167	0.055	226	150	3	11112
Lombok-IB	28.5	159	0.050	243	149	5	6574
Lombok-IIA	39.1	239	0.043	159	129	5	6417
Lombok-IIB	36.7	241	0.038	105	119	5	7238
Lombok-IIIA	40.6	224	0.05	150	158	2	27729
Lombok-IIIB	41.2	232	0.058	131	156	2	24680
REF-IA	13.6	69	0.028	147	104	4	9929
REF-IB	13.5	66	0.059	145	98	5	10201
REF-IIA	47.6	96	0.115	123	320	7	15861
REF-IIB	57.7	92	0.120	116	384	8	16213

**Tabel Bijlage 2.3.1** Overzicht van meetresultaten van Cu, S, Mo en drogestofgehalte in gras in juni, september en november 2015 (noot: codering van specifieke deelpercelen zijn niet gegeven omdat die verschillen per bemonstering).

Locatie	Juni				September				November			
	Deelvak 1				Deelvak 2				Deelvak 3			
	Cu	S	Mo	ds	Cu	S	Mo	ds	Cu	S	Mo	ds
	mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	%
De Boer-IA	4.9	3.4	2.1	23.7	6.5	4.0	4.3	19.2	10.7	3.4	2.8	18.6
De Boer-IB	5.2	3.5	1.7	24.7	6.9	4.0	3.3	17.9	10.7	3.2	2.5	22.1
De Boer-IIA	6.8	4.2	4.9	24.1	8.8	5.5	4.9	16.1	12.5	3.8	3.6	19.5
De Boer-IIB	6.5	4.0	5.3	22.4	9.1	6.1	3.7	17.3	12.3	4.3	4.5	16.4
De Boer-IIIA	4.3	2.5	5.9	25.6	5.8	4.6	8.8	17.2	12.9	3.4	6.6	19.9
De Boer-IIIB	4.3	2.4	3.8	26.5	6.0	3.9	7.4	17.0	13.5	3.2	6.8	21.2
Locatie 8A	9.9	4.5	2.2	31.3	8.2	3.5	2.9	17.0	8.3	3.2	1.9	20.6
Locatie 8B	8.4	4.9	2.1	28.8	8.3	3.6	2.9	17.8	9.2	3.4	1.8	19.5
Lombok-IA	6.0	2.9	1.3	23.7	11.4	5.7	4.6	12.1	12.6	6.5	2.8	16.8
Lombok-IB	6.1	3.0	1.3	24.0	10.5	4.6	4.7	13.0	11.9	5.0	2.9	17.0
Lombok-IIA	5.2	3.6	1.4	20.0	10.7	6.2	3.4	14.8	12.2	4.7	2.0	20.6
Lombok-IIB	5.9	3.5	1.3	20.3	10.6	6.3	3.3	14.8	12.3	4.8	2.3	21.2
Lombok-IIIA	6.8	4.5	2.3	21.3	9.9	5.6	4.0	14.8	11.9	5.4	1.9	20.4
Lombok-IIIB	7.0	4.7	2.4	20.3	9.8	5.7	4.1	15.7	11.5	6.0	2.4	19.3
REF-IA	9.4	3.4	6.0	23.9	8.5	2.1	4.6	26.5	9.9	2.5	4.9	20.9
REF-IB	9.3	3.4	5.3	23.8	6.9	2.0	4.5	26.8	9.1	2.3	4.9	23.4
REF-IIA	6.4	2.5	3.9	27.3	9.1	2.7	6.4	12.9	9.7	3.3	6.7	18.4
REF-IIB	5.9	2.4	3.4	27.9	8.8	2.4	6.4	16.9	9.8	3.5	6.3	18.0

**Tabel Bijlage 2.3.2** Overzicht van meetresultaten van Cu, S, Mo en drogestofgehalte in gras in maart, juni en oktober 2016 (noot: codering van specifieke deelpercelen zijn niet gegeven omdat die verschillen per bemonstering).

2016	Maart				Juni				Oktober			
	Deelvak 1				Deelvak 2				Deelvak 3			
	Cu	S	Mo	ds	Cu	S	Mo	ds	Cu	S	Mo	ds
	mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	%
De Boer-IA	13.5	2.6	2.8	16.5	6.8	3.2	1.2	27.3	9.7	5.6	2.7	14.8
De Boer-IB	14.5	2.5	2.5	16.8	6.7	3.2	1.0	27.7	9.8	5.6	2.2	14.9
De Boer-IIA	15.4	2.6	1.8	18.6	6.9	4.8	1.2	21.5	10.9	5.2	4.9	15.9
De Boer-IIB	15.1	2.6	1.8	18.2	6.4	4.4	1.0	21.8	9.8	5.6	5.2	14.7
De Boer-IIIA	13.2	2.7	3.1	11.8	7.6	5.7	3.2	17.6	11.1	6.0	4.5	13.4
De Boer-IIIB	13.3	2.7	3.5	10.9	5.6	5.5	3.4	21.3	11.7	6.1	3.8	13.5
Locatie 8A	12.5	2.3	1.9	21.1	9.6	6.2	2.2	15.4	8.8	3.3	1.8	20.0
Locatie 8B	16.3	2.4	1.9	20.1	9.3	5.3	2.1	16.0	9.7	3.5	2.1	18.9
Lombok-IA	16.0	2.8	1.3	23.5	6.6	4.7	0.5	19.6	10.9	5.7	2.4	13.9
Lombok-IB	13.4	2.8	1.3	22.9	6.4	4.5	0.5	19.8	11.0	5.9	2.6	14.1
Lombok-IIA	18.7	3.4	1.7	22.2	4.4	3.3	1.8	16.9	7.7	4.6	1.0	19.3
Lombok-IIB	16.5	3.1	1.7	22.9	4.5	3.5	2.2	17.4	7.4	4.7	1.0	19.1
Lombok-IIIA	11.4	2.1	1.3	24.5	4.4	4.7	2.6	24.8	8.6	5.9	1.0	17.2
Lombok-IIIB	11.2	2.0	1.5	25.8	3.8	3.6	2.3	28.5	8.8	6.0	1.1	17.5
REF-IA	12.3	2.3	4.8	14.5	7.3	2.8	3.1	24.0	8.4	2.1	4.3	25.8
REF-IB	11.1	2.4	4.4	14.9	6.7	2.5	3.3	24.4	8.5	2.1	4.4	24.7
REF-IIA	10.9	2.4	5.8	17.7	9.1	3.0	7.7	18.7	9.9	2.6	4.6	19.4
REF-IIB	10.2	2.4	6.8	17.1	8.7	2.8	7.4	19.1	10.5	2.7	4.3	20.3

**Tabel Bijlage 2.3.3**      *Overzicht van meetresultaten van Cu, S, Mo en drogestofgehalte in gras in maart, juni en oktober 2017 (noot: codering van specifieke deelvakken zijn niet gegeven omdat die verschillen per bemonstering).*

2017	Maart				Juli				Oktober			
	Deelvak 1				Deelvak 2				Deelvak 3			
	Cu	S	Mo	ds	Cu	S	Mo	ds	Cu	S	Mo	ds
	mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	%
De Boer-IA	19.3	3.5	2.2	29.2	9.7	4.7	1.9	14.3	9.4	3.5	2.5	21.1
De Boer-IB	15.0	3.5	2.1	27.5	9.2	4.7	2.2	14.9	8.7	4.0	3.2	18.9
De Boer-IIA	13.3	3.2	2.4	25.7	10.3	4.7	1.7	14.5	8.4	5.3	2.5	17.4
De Boer-IIB	14.1	3.3	2.4	27.1	10.4	5.1	2.2	13.6	8.2	5.1	3.1	13.1
De Boer-IIIA	12.3	3.1	3.3	25.8	10.2	5.1	4.4	13.1	8.5	4.7	3.5	12.2
De Boer-IIIB	12.6	3.4	3.1	25.6	10.7	5.1	5.4	12.8	8.6	4.8	3.5	14.3
Locatie 8A	14.1	3.2	3.2	28.6	8.9	5.8	3.9	19.1	10.3	3.2	2.6	24.9
Locatie 8B	13.6	3.1	3.1	28.1	9.2	5.9	3.9	19.3	10.9	3.4	2.4	31.5
Lombok-IA	17.0	3.7	1.9	34.0	6.5	5.0	2.1	21.7	9.0	5.1	1.5	23.7
Lombok-IB	17.9	4.0	2.1	29.0	5.3	4.4	2.4	22.8	9.4	4.9	1.3	24.0
Lombok-IIA	14.5	3.9	2.2	25.4	7.5	4.2	2.6	13.6	9.3	4.4	1.9	17.5
Lombok-IIB	13.7	4.1	1.8	13.0	6.6	4.2	2.0	18.5	9.1	4.2	2.0	17.2
Lombok-IIIA	14.5	3.1	2.3	28.7	7.0	6.0	1.9	22	10.0	4.2	1.8	18.2
Lombok-IIIB	13.0	2.9	2.2	32.4	6.9	6.2	2.0	22.2	10.1	4.4	1.6	18.3
REF-IA	19.8	2.8	3.1	18.1	8.6	2.5	4.1	24.7	9.8	3.1	11.9	21.4
REF-IB	11.7	2.7	2.9	18.0	8.4	2.5	3.9	24.7	10.9	3.3	12.8	21.3
REF-IIA	10.6	2.5	3.8	26.1	6.0	1.9	3.7	17.8	7.8	3.0	11.9	21.4
REF-IIB	12.8	2.7	3.9	28.3	5.7	2.0	4.2	18.1	7.7	2.8	10.3	20.6



**Tabel Bijlage 2.4.1** Overzicht van meetresultaten in wormen in 2015 uit deelvak 1 (mg kg<sup>-1</sup> DS).

2015		Al		Cu		Fe		Zn	
Locatie	Bemonstering	mg kg <sup>-1</sup>	stdev	mg kg <sup>-1</sup>	stdev	mg kg <sup>-1</sup>	stdev	mg kg <sup>-1</sup>	stdev
De Boer-I	09-2015	2650	304	33.0	0.3	4887	532	682	59
De Boer-II	11-2015	2365	- <sup>1</sup>	19.3	- <sup>1</sup>	3736	- <sup>1</sup>	433	- <sup>1</sup>
De Boer-III	09-2015	1349	166	20.6	1.5	2484	272	541	21
Lombok-I	09-2015	3141	274	33.0	0.7	5405	208	467	28
Lombok-II	09-2015	3349	462	19.3	1.8	6385	45	560	28
Lombok-III	09-2015	2646	431	20.6	1.1	5365	185	782	93
REF1	09-2015	775	177	33.0	0.0	1667	405	416	2
REF2	11-2015	1197	- <sup>1</sup>	19.3	- <sup>1</sup>	2135	- <sup>1</sup>	415	- <sup>1</sup>

<sup>1</sup> n=1**Tabel Bijlage 2.4.2** Overzicht van meetresultaten in wormen in 2016 uit deelvak 2 (mg kg<sup>-1</sup> DS, enkelvoudige metingen i.v.m. te lage hoeveelheden biomassa).

2016		Cu
Locatie	Bemonstering	mg kg <sup>-1</sup>
De Boer-I	06-16	20.7
De Boer-II	06-16	21.7
De Boer-III	06-16	17.2
Locatie 8	06-16	22.3
Lombok-I	06-16	16.7
Lombok-II	06-16	17.7
Lombok-III	06-16	17.6
REF-I	06-16	14.8
REF-II	06-16	19.7

**Tabel Bijlage 2.4.3** Overzicht van meetresultaten in wormen in 2017 uit deelvak 3 (mg kg<sup>-1</sup> DS, gemiddelde en stdev, n=2 per locatie).

2017		Cu	
Locatie	Bemonstering	mg kg <sup>-1</sup>	stdev
De Boer-I	11-2017	20.3	2.6
De Boer-II	11-2017	20.8	2.3
De Boer-III	11-2017	22.6	1.3
Locatie 8	11-2017	12.3	0.3
Lombok-I	11-2017	14.8	2.1
Lombok-II	11-2017	17.0	0.6
Lombok-III	11-2017	13.4	4.6
REF1	11-2017	10.3	1.1
REF2	11-2017	16.3	0.2

---

Wageningen Environmental Research  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research)

Wageningen Environmental Research  
Rapport 2938  
ISSN 1566-7197

---

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.





To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



---

Wageningen Environmental Research  
Postbus 47  
6700 AB Wageningen  
T 317 48 07 00  
[www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research)

Rapport 2938  
ISSN 1566-7197

---

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

