



Bodemkwaliteitsmetingen 2019 in Bedrijvensnetwerk Bodemmetingen

Eerste analyse van de meetresultaten 2019 van integrale bodemkwaliteit op 16 akkerbouwbedrijven

Auteurs | J.J. de Haan¹, G.W. Korthals^{1,2}, M.C. Hanegraaf¹, J. Postma¹, F.M. van Egmond¹, A.J. Olijve³, P. van Asperen¹, W. Vervuurt¹, S. Rombout¹, A. Zwijnenburg³, J. Tolhoek¹, D. Simonse¹, R. Schierholz¹, K. Teuling¹, V. Kurm¹, P. Brinkman¹, G. Bongiorno¹, M. Zwetsloot¹, W. van Tintelen¹, J. Bloem¹, J. Visser¹, S. Jansen⁴, A. Ramaker¹, S. Gaastra¹, M. Spoor¹ en M.T. Schilder¹ | ¹ Wageningen University & Research | ² Center for Soil Ecology/NIOO | ³ Van Tafel naar Kavel | ⁴ Deltares



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Bodemkwaliteitsmetingen 2019 in Bedrijvennetwerk Bodemmetingen

Eerste analyse van de meetresultaten 2019 van integrale bodemkwaliteit op 16
akkerbouwbedrijven

J.J. de Haan¹, G.W. Korthals^{1,2}, M.C. Hanegraaf¹, J. Postma¹, F.M. van Egmond¹, A.J. Olijve³, P. van Asperen¹,
W. Vervuurt¹, S. Rombout¹, A. Zwijnenburg³, J. Tolhoek¹, D. Simonse¹, R. Schierholz¹, K. Teuling¹, V. Kurm¹,
P. Brinkman¹, G. Bongiorno¹, M. Zwetsloot¹, W. van Tintelen¹, J. Bloem¹, J. Visser¹, S. Jansen⁴, A. Ramaker¹, S.
Gaastra¹, M. Spoor¹ en M.T. Schilder¹

¹ Wageningen University & Research

² Center for Soil Ecology/NIOO

³ Van Tafel naar Kavel

⁴ Deltares

Dit onderzoek is in opdracht van Topsector Agri & Food uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR),
in het kader van de PPS Beter Bodembeheer (TKI-AF-16064/BO-56-001-005).

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen
University en de Stichting Wageningen Research.

Wageningen, september 2021

Rapport WPR-888

J.J. de Haan, G.W. Korthals, M.C. Hanegraaf, J. Postma, F.M. van Egmond, A.J. Olijve, P. van Asperen, W. Vervuurt, S. Rombout, A. Zwijnenburg, J. Tolhoek, D. Simonse, R. Schierholz, K. Teuling, V. Kurm, P. Brinkman, G. Bongiorno, M. Zwetsloot, W. van Tintelen. J. Bloem, J. Visser, S. Jansen, A. Ramaker, S. Gaastra, M. Spoor en M.T. Schilder (2021). *Bodemkwaliteitsmetingen 2019 in Bedrijvennetwerk Bodemmetingen. Eerste analyse van de meetresultaten 2019 van integrale bodemkwaliteit op 16 akkerbouwbedrijven*. Wageningen Research, Rapport WPR-888. 106 Blz.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/554216>

Met het doel meer inzicht te krijgen in het beoordelen van de bodemkwaliteit is er een Bedrijvennetwerk Bodemmetingen opgezet. In het najaar van 2019 heeft een uitgebreide meetronde plaatsgevonden op 32 percelen van de 16 deelnemende akkerbouwerbedrijven, daarnaast is er uitgebreide teeltinformatie verzameld. In totaal zijn er meer dan 30 metingen verricht aan de bodem organische stof, bodemchemie en bodemweerbaarheid. Deze omvatte zowel de klassieke als alternatieve metingen van de BLN-indicatoren, en een aantal aanvullende indicatoren. Dit rapport presenteert de meetresultaten van de klassieke en alternatieve meetmethode, in relatie tot de beschikbare streef- en referentiewaarden. Deze resultaten vormen een eerste test in het ontwikkelen van een robuuste systematiek voor het beoordelen van de bodemkwaliteit.

Trefwoorden: bodemkwaliteit, bedrijvennetwerk, metingen, organische stof, bodemvruchtbaarheid, bodembioologie, indicatoren

© 2021 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten, Postbus 16, 6700 AA Wageningen; T 0317 48 07 00; www.wur.nl/plant-research

KvK: 09098104 te Arnhem
VAT NL no. 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Rapport WPR-888

Foto omslag: WUR

Inhoud

Inhoud	3
Woord vooraf	6
Samenvatting	7
1 Inleiding	8
1.1 Aanleiding	8
1.2 Doel en onderzoeksvragen	8
1.3 Leeswijzer	9
2 Materiaal & methoden	10
2.1 Meetlocaties	10
2.1.1 Selectie van bedrijven	10
2.1.2 Selectie percelen	10
2.1.3 Representativiteit	10
2.2 Teeltregistratie en bodembeheer van de meetlocaties	11
2.3 Bodemindicatoren en meetmethodes	11
2.4 Data-analyse	13
3 Resultaten	14
3.1 Perceelseigenschappen en (bodem)beheer	14
3.2 Organische stof	15
3.2.1 Algemeen	15
3.2.2 Resultaten Indicatoren	15
3.2.3 Organische stof balans 2019	25
3.3 Bodemvruchtbaarheid	27
3.3.1 pH	28
3.3.2 N-totaal	29
3.3.3 Fosfaatstatus	31
3.3.4 Kalistatus	35
3.3.5 CEC	37
3.3.6 Discussie en conclusie	38
3.4 Bodemstructuur en -water	39
3.4.1 Visuele profielkuilbeoordeling	39
3.4.2 Aggregaatstabiliteit	40
3.4.3 Watervasthoudend vermogen en pF-curve	41
3.4.4 Bodemstructuur – indringingsweerstand	43
3.4.5 Bodemstructuur – bulkdichtheid	44
3.5 Bodembiologie en -gezondheid	48
3.5.1 Bodembiologie	48
3.5.2 Ziektewering	69
3.5.3 Discussie en conclusie	71

Literatuur 77

Bijlage 1 Teeltregistratie van de meetlocaties 82

Bijlage 2 Beschrijving van indicatoren 83

Bijlage 3 Bemonsteringsprotocol 99



Woord vooraf

Hier voor u ligt de eerste overall rapportage van het Bedrijvennetwerk Bodemmetingen van de PPS Beter Bodembeheer. Bij voorbereiding van de PPS Beter Bodembeheer in 2016 is voorgesteld om dit netwerk op te richten om metingen aan bodemkwaliteit vanuit diverse perspectieven te combineren. Dat voorstel is omarmd hoewel in eerste instantie financiering voor het netwerk en de meetprojecten ontbrak. In 2018 hebben we het netwerk vanuit het programma Slim Landgebruik kunnen opzetten en het beheer van het netwerk is vanaf 2019 door de PPS Beter Bodembeheer overgenomen. In het najaar van 2019 is een uitgebreide meting van bodemkwaliteit op 2 percelen van de 16 bedrijven uitgevoerd. Een groot aantal chemisch, fysische en biologische metingen zijn uitgevoerd in samenwerking tussen diverse projecten in de PPS Beter Bodembeheer en ook in samenwerking met Slim Landgebruik. Het gaat om de volgende projecten

- Organische stof (WP1A PPS Beter Bodembeheer, projectleider Marjoleine Hanegraaf)
- Bodembioïlogie (WP3, projectleider Gerard Korthals)
- Bodemweerbaarheid (WP3, projectleider Joeke Postma)
- Minimale dataset (WP8, projectleider Sjoerd Rombout/Janjo de Haan)
- Testen sensor bodemdichtheid (Slim Landgebruik, projectleider Fenny van Egmond)

Dit rapport geeft een eerste overzicht van de resultaten. Om hier te komen zijn grote inspanningen verricht:

- Ten eerste de opzet van een integraal meetplan voor de bedrijven met een afgestemd meetprotocol tussen alle deelnemende projecten.
- Ten tweede de uitvoering van de metingen onder soms lastige omstandigheden. Vooral de droogte van 2019 zorgde dat de grond soms erg hard was en bemonstering veel energie kostte of zelfs niet geheel mogelijk was tot de gewenste diepte. Dank Albert Jan Olijve en Anna Zwijnenburg voor het uitvoeren van deze belangrijke taak.
- Ten derde het uitvoeren van alle metingen aan de bodemmonsters in diverse laboratoria: diverse laboratoria van de WUR, NIOO, Eurofins Agro en Deltares. Dank aan allen die hieraan hebben bijgedragen.
- Tot slot de analyse van alle data van de metingen. We hebben eerst de data per bedrijf gerapporteerd en besproken met de deelnemende ondernemers. Vervolgens hebben we dit rapport samengesteld waarin we op enigszins uniforme wijze alle data samenbrengen. De analyse is grotendeels nog beperkt tot het vergelijken van data met beschikbare streef- en referentiewaarden en vergelijken van diverse meetmethoden per indicator.

Dit rapport is nog niet het slot. Een tweede vergelijkbare monstercampagne later in 2021 staat in de planning waarna we een uitgebreidere analyse willen doen tussen indicatoren en tussen indicatoren en managementgegevens. Plan is om dit eind 2022 af te ronden.

Tot slot een dank aan de deelnemende bedrijven in het Bedrijvennetwerk Bodemmetingen voor het beschikbaar stellen van hun percelen om te meten en de managementdata van de percelen. Ook dank voor het bespreken van de resultaten van de metingen. De gesprekken hebben geleid tot een betere interpretatie van de resultaten.

Tot slot een dank aan BO-Akkerbouw die het bedrijvennetwerk en de projecten in de PPS in de afgelopen jaren mogelijk heeft gemaakt.

Janjo de Haan, coördinator PPS Beter Bodembeheer

Samenvatting

Het Bedrijvennetwerk Bodemmetingen van de PPS Beter Bodembeheer is in het najaar 2018 opgezet met als doel om bodemmetingen op praktijkbedrijven te testen en te kijken naar de samenhang van bodemindicatoren onderling en met de bedrijfsvoering. De 16 bedrijven vertegenwoordigen de variatie in de akkerbouw in Nederland en vormen daarmee een landsdekkend netwerk. De deelnemende bedrijven zijn geselecteerd en geworven in afstemming met de sectororganisaties. Bij elk bedrijf hebben we met de ondernemers twee percelen geselecteerd voor uitvoering van de metingen.

In het najaar van 2019 zijn meer dan 30 verschillende bodemindicatoren gemeten op twee percelen van elk bedrijf vanuit de werkpakketten rond organische stof, bodembiologie en bodemweerbaarheid en meten van bodemkwaliteit in de PPS Beter Bodembeheer. Hierbij zijn zowel alle indicatoren uit de BLN-indicatorset gemeten, zowel met de klassieke meetmethodes als de alternatieve (goedkopere en/of snellere) meetmethodes als een aantal andere indicatoren. Hiernaast zijn ook teeltgegevens en historische gegevens van de percelen verzameld. Doel van de metingen was om 1) een beter zicht te krijgen op de toepasbaarheid van de indicatoren en meetmethoden in de BLN, 2) alternatieve indicatoren en meetmethoden te testen, 3) een beter inzicht te krijgen in de relatie tussen indicatoren onderling, de indicatoren en de fysieke omstandigheden (bodemtype, klimaat, grondwater) en de indicatoren en het management, 4) na te gaan welke set aan indicatoren leidt tot een goed beeld van de integrale bodemkwaliteit mede gezien ook het management en de fysieke omstandigheden.

In dit rapport worden de resultaten gericht op de eerste twee doelen gepresenteerd. De meetwaarden van de indicatoren worden voor alle percelen gepresenteerd met referentiewaarden en streefwaarden indien beschikbaar. Daarnaast is er gekeken waar beschikbaar hoe de klassieke en de alternatieve methoden zich tot elkaar verhouden.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Wat moet een ondernemer weten van zijn bodem om op de korte termijn en lange termijn de bodemvruchtbaarheid in stand te kunnen houden of te verbeteren? Het meten van de bodemkwaliteit kent een hernieuwde belangstelling. Tot op heden wordt er in de praktijk vooral gestuurd op bodemchemische en bodempathogene parameters. De bepaling van plantpathogene nematoden, bodemchemische parameters als pH, beschikbaarheid en voorraad van (macro) nutriënten en de hoeveelheid bodem organische stof, laten telers al veelal standaard uitvoeren. Voor deze metingen zijn meestal ook goede streefwaardes of schadedrempels en handelingsperspectief beschikbaar. De ondernemer krijgt advies over wat hij moet doen bij een bepaalde waarde van een indicator.

Het laatste tiental jaren is het bewustzijn gegroeid dat alleen inzicht in bodemchemie en bodemziekten niet voldoende is om integraal op bodemvruchtbaarheid en bodemdiensten te kunnen sturen. Dit heeft enerzijds te maken met veranderde externe omstandigheden als klimaatverandering en wettelijke beperkingen in chemische inputs (N-aanvoernormen, grondontsmetting) en anderzijds met het groeiende inzicht dat het huidige bodemmanagement niet vanzelfsprekend leidt tot een hoog productievermogen en het leveren van andere bodemdiensten op de lange termijn. Met additionele kennis kan naar verwachting beter gestuurd worden op bodemvruchtbaarheid en bodemdiensten zoals opbrengst, minimale verliezen, waterbeheer, biodiversiteit en klimaat.

Bovendien zijn er recent alternatieve meetmethoden ontwikkeld (elektrische geleidbaarheid, fysische weerstand en NIR-technieken) om aspecten van bodemkwaliteit goedkoop en/of snel vast te stellen. De vraag is hoe deze metingen zich verhouden tot de 'klassieke' indicatoren en hoe deze geïnterpreteerd kunnen worden. De zeggingskracht van deze bepalingen dient inzichtelijk gemaakt te worden om te beoordelen welke bepalingen een waardevolle aanvulling vormen op het huidige meetinstrumentarium.

Kortom, het plaatje van indicatoren, bijbehorende meetmethoden, en streefwaarden voor bodemkwaliteitsaspecten blijkt niet helemaal compleet en toe aan een update. Het ontwikkelen van de BLN is een eerste aanzet geweest voor het ontwikkelen van een robuuste systematiek. Deze systematiek dient als uitgangspunt. Om deze set te testen en meer inzicht te krijgen in de huidige en alternatieve bodemindicatoren, zijn diverse metingen uitgevoerd in het Bedrijvennetwerk Bodemmetingen (BNW). Het BNW bestaat uit 16 akkerbouwbedrijven verspreid door heel Nederland. Door de landelijke spreiding is elk type grondsoort en akkerbouwregio in het bedrijvennetwerk vertegenwoordigd. Doel is om met behulp van deze gegevens uit de praktijk nieuwe inzichten te krijgen rond het meten van bodemkwaliteit, over de verschillen die er zijn tussen grondsoort en tussen het bodemmanagement, wat de interactie is tussen de verschillende bodemindicatoren en hoe dit gebruiken voor het opstellen van adviezen naar de praktijk.

1.2 Doel en onderzoeksvragen

Het doel van dit project is het evalueren van indicatoren om de bodemkwaliteit van agrarische gronden te beoordelen en de relatie tot duurzaam bodembeheer inzichtelijk te maken. Dit rapport is de eerste stap in deze evaluatie, met als doel het verkrijgen van inzicht in mogelijke indicatoren ter beoordeling van de bodemkwaliteit van agrarische gronden. Daartoe wordt een brede set aan bodemindicatoren, waaronder de Bodemindicatoren voor Landbouwgrond in Nederland (BLN) versie 1.0, getest op de percelen van het BNW en een vergelijking gemaakt tussen de klassieke en alternatieve methoden en worden nieuwe alternatieve indicatoren en meetmethoden getest. In dit rapport worden de meetresultaten van de indicatoren voor alle gemeten bedrijven en percelen gepresenteerd. Een beperkte

analyse van de meetresultaten wordt gegeven vooral binnen het domein van de indicator (organische stof, chemisch, fysisch of biologisch) en gericht op de bruikbaarheid binnen de BLN.

Dit rapport geeft per domein antwoord op de vraag of een indicator bijdraagt aan het beoordelen van de kwaliteit van de agrarische bodem. Hierbij wordt gekeken naar de volgende aspecten:

1. Over welke aspecten van de bodemkwaliteit geeft de indicator informatie?
2. Hoe groot is de variabiliteit in de meetwaarden tussen de percelen?
3. Hoe groot is de variabiliteit tussen de klassieke en alternatieve meetmethode?
4. Hoe verhouden de meetwaarden zich tot de beschikbare referentie- en streefwaarden?

Dit rapport evalueert gemeten bodemindicatoren en verzamelde informatie over bodembeheer en management van zestien akkerbouwers uit het Bedrijvensnetwerk Bodemmetingen. Allereerst geeft dit rapport een overzicht van alle resultaten van de metingen op een bedrijf uit de meetcampagne van najaar 2019 en een eerste interpretatie van deze metingen. Een integrale evaluatie van de bruikbaarheid en technische geschiktheid is geen onderdeel van het huidige rapport. Ook bevat het rapport geen concrete adviezen voor teler om zijn bodembeheer aan te passen.

Een vervolg zal een beter inzicht geven in de vraag welke indicatoren benodigd zijn om de bodemkwaliteit te kunnen omschrijven. Daarbij wordt dieper ingegaan op de relatie tussen de bodemindicatoren en de bodemfuncties, in hoeverre de bodemindicatoren de effecten van het toegepaste bodemmanagement meten, welke bodemindicatoren aan elkaar gerelateerd zijn en de vertaalbaarheid naar praktijkadviezen.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt beschreven hoe de metingen zijn uitgevoerd: Hier wordt beschreven hoe het bedrijvensnetwerk bodemmetingen gevormd is en hoe de percelen geselecteerd zijn (paragraaf 2.1). Vervolgens wordt aangegeven hoe de data verzameld zijn, zowel de managementdata (paragraaf 2.2) als de bodemdata (paragraaf 2.4). Tot slot wordt in paragraaf 2.4 de data-analyse beschreven.

In hoofdstuk 3 worden per onderdeel de resultaten van de metingen beschreven: Eerst wordt in paragraaf 3.1 een samenvatting gegeven van de perceelseigenschappen en het bodembeheer. Daarna worden achtereenvolgens de resultaten rond organische stof (paragraaf 3.2), bodemvruchtbaarheid (paragraaf 3.3), bodemstructuur en water (paragraaf 3.4) en bodembiologie en -gezondheid (paragraaf 3.5) gepresenteerd. Per onderwerp worden de resultaten bediscussieerd, er is geen hoofdstuk opgenomen voor een algemene discussie en conclusie.

2 Materiaal & methoden

2.1 Meetlocaties

2.1.1 Selectie van bedrijven

De werving van bedrijven is uitgevoerd door een algemene oproep via nieuwsbericht op Beterbodembeheer.nl welke ook gedeeld is op *social media* en via navragen in het netwerk bij diverse partijen zoals LTO, NAV, Veldleeuwerik, adviesorganisaties, toeleveranciers naar mogelijke kandidaten. Daaruit is een groslijst ontstaan met indeling over de verschillende akkerbouwregio's in Nederland. Per regio is een prioritering van de bedrijven gemaakt en vervolgens zijn bedrijven benaderd of ze willen meedoen. Daaruit is een eerste selectie ontstaan die is voorgelegd nog ter commentaar aan NAV, LTO, Veldleeuwerik en mensen uit het programma Slim Landgebruik. Hieruit is een definitieve selectie van 16 bedrijven ontstaan. In onderstaande kaart (Figuur 1-1) wordt de ligging van de 16 bedrijven weergegeven.



Figuur 1-1 Kaart met de BNW-bedrijven

2.1.2 Selectie percelen

Per bedrijf zijn twee percelen geselecteerd in afstemming tussen Van Tafel naar Kavel en de teler. De keuze is gemaakt op basis van verschillen in de bodem (bijv. grondsoort), gewassen of beheer (bijv. wel/geen compost). Alle percelen worden in principe zo goed mogelijk beheerd door de telers. Dit betekent dat geen onderscheid tussen de percelen is gemaakt op basis van goed versus minder goed bodembeheer.

2.1.3 Representativiteit

De 16 bedrijven van het BNW beslaan verschillende regio's, grondsoorten en bouwplannen. Aangenomen wordt dat de verzamelde gegevens en kennis een goede doorsnede opleveren van relevante gegevens over de gangbare akkerbouw in Nederland. Het BNW is te beperkt van omvang om ook representatief te kunnen zijn. De keuze van bedrijven is gedaan om alle belangrijke grondsoorten-regiocombinaties af te dekken en dat op deze wijze voor de meeste akkerbouwers in Nederland een herkenbaar bedrijf qua grondsoort en bedrijfsvoering beschikbaar is. In Tabel 1-1 staat een vergelijking van de BNW-percelen en de akkerbouw in Nederland wat betreft de grondsoort. Het merendeel van de BNW-percelen is

gesitueerd op kleigronden (20) en de rest op zand (10 percelen) en löss (2 percelen), deze verhoudingen zijn vergelijkbaar met de akkerbouw in Nederland. Wat betreft de geteelde gewassen wijken de 32 percelen van het BNW iets af van de situatie in Nederland, in 2019 werd erop relatief minder hectare aardappels geteeld en geen overige (groente-)gewassen verbouwd. Op vruchtwisselingsniveau zijn de geteelde gewassen op de BNW-percelen vergelijkbaar met de situatie in de akkerbouw in Nederland.

Tabel 1-1 BNW-percelen in vergelijking met de akkerbouw in Nederland

	In BNW (# percelen)	In BNW (ha)	In BNW op basis van ha (%)	In Nederland (ha)	In Nederland (%)
Akkerbouw op klei	20	179	64	306.498	58
Akkerbouw op zand	10	78	28	213.113	40
Akkerbouw op löss	2	22	8	12.322	2
Totaal	32	279	100	531.933	100

2.2 Teeltregistratie en bodembeheer van de meetlocaties

Per perceel is er bij de ondernemer gedetailleerde informatie opgevraagd over de eigenschappen van het perceel, de teelt en het bodembeheer. Zie 0 voor de lijst met opgevraagde gegevens.

2.3 Bodemindicatoren en meetmethodes

In de periode tussen 23 september 2019 en 11 november 2019 heeft er een uitgebreide meetcampagne plaatsgevonden op de 32 BNW-percelen. Het toegepaste bemonsteringsprotocol is ingevoegd in bijlage 3. In Tabel 1-2 wordt een overzicht gegeven van de gemeten indicatoren, een toelichting op deze en aanvullend berekende indicatoren is terug te vinden in bijlage 2. Veel van de gemeten bodemparameters zijn opgenomen in de indicatorset Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland (BLN, Hanegraaf et al., 2019). In deze indicator set is onderscheid gemaakt tussen klassieke bepaling en alternatieve bepaling van de indicatoren. Klassieke methodes zijn over het algemeen relatief nauwkeurig en betrouwbaar. Alternatieve methodes zijn over het algemeen relatief snel en goedkoop maar minder nauwkeurig en betrouwbaar. In een aantal van de metingen worden de klassieke en alternatieve methode vergeleken.

Tabel 1-2 Overzicht van indicatoren met meetmethode, bemonsteringsmethode, aantal herhalingen, laboratorium van analyse en of een indicator onderdeel is van de BLN.

	Indicator	Meetmethode	Eenheid	Laboratorium	BLN
Org. stof	Organische stof (1)	Gloeiverlies	%	WUR SBL	K
	Organische stof (2)	Gloeiverlies + kleicorrectie	%	WUR SBL	A
	Organische stof (3)	NIRS	%	Eurofins	A
	Organische koolstof (1)	Kurmies	%	WUR SBL	K
	Organische koolstof (2)	NIRS	%	Eurofins	A
	Organische koolstof (3)	Rock Eval (pyrolyse)	%	Deltares	A
	CINOS (1)	Berekende waarde (Kurmies/gloeiverlies + kleicorrectie)	-	SBL, Eurofins	-
	CINOS (2)	Berekende waarde (NIRS)	-	Eurofins	-
	N-gehalte	NIRS	mg/kg	Eurofins	A
	C/N-ratio	Berekende waarde	-		-
	HWC (1)	Extractie in heet water	mg/kg	WUR OT	K

	HWC (2)	Extractie in heet water	mg/kg	SBL	K
	POXC	Oxidatie in permanganaat	mg/kg	CBLB	K
	I-index	Rock Eval	-	Deltares	-
	R-index	Rock Eval	-	Deltares	-
	Afbreekbare pool	Berekende waarde	g C/kg	SBL	-
	Stabiele pool	Berekende waarde	g C/kg	SBL	-
	Afbraaksnelheid (1)	Modelschatting	% per jaar	SBL	-
	Afbraaksnelheid (2)	Respiratieproef	% per jaar	SBL	-
	Microresp	Microresp.	C µg/g/h	WUR OT	-
	N-mineralisatie	Aerobe incubatie (fles)	mg/kg	SBL	-
Chemisch	Zuurgraad (pH)	Extractie in CaCl ₂	-		K
	N-totaal (1)	Hassink-methode	g/kg		K
	N-totaal (2)	NIRS	kg/ha	Eurofins	A
	Potentieel mineraliseerbare stikstof (1)	Anaerobe incubatie	mg/kg		K
	Potentieel mineraliseerbare stikstof (2)	NIRS	kg/ha	Eurofins	A
	Pw (1)	Spectofotometrische bepaling in water	mg P ₂ O ₅ /l	Eurofins	K
	Pw (2)	NIRS	mg P ₂ O ₅ /l	Eurofins	A
	P-CaCl ₂	Spectofotometrische bepaling in CaCl ₂	mg P/kg	Eurofins	K
	P-Al	Spectofotometrische bepaling in ammoniumlactaat-azijnzuur	mg P ₂ O ₅ /100g	Eurofins	K
	K-voorraad (1)	Extractie in HCl en oxaalzuur	mmol+/kg		K
	K-voorraad (2)	NIRS	mmol+/kg	Eurofins	A
	K-CaCl ₂	extractie in CaCl ₂	mg K/kg		A
	CEC (1)		mmol+/kg	Eurofins	K
	CEC (2)	NIRS	mmol+/kg	Eurofins	A
Fysisch	Watervasthoudend vermogen	Zandbak/drukpan		WUR OT	K
	Aggregaatstabiliteit	Natte zeefmethode		WUR OT	K
	Textuur (1)	Pipetmethode		Eurofins	K
	Textuur (2)	NIRS		Eurofins	A
	Indringingsweerstand	Penetrometer		In veld	K
	Bulkdichtheid (1)	Massa na drogen 105°C		WUR OT/WUR WENR	A
	Bulkdichtheid (2)	Guts		WUR WENR	A
	Bulkdichtheid (3)	Bulkdichtheidssensor		In veld	-
	Porositeit/poriënvolume	Berekende waarde		WUR OT	-
	Bodemtemperatuur	Handheld sensor		In veld	-
	Bodemvochtgehalte	Handheld sensor		In veld	K
	Visuele beoordeling	Visueel		In veld	K
Biologisch	Potentieel mineraliseerbare stikstof	Anaerobe incubatie		WUR WENR	K
	Aaltjes	Microscopie	Aantal diversiteit	WUR OT	K
	Bacteriebiomassa	Microscopie		WUR WENR	K
	Schimmelbiomassa	Microscopie		WUR WENR	K
	Ergosterol	Klassiek		NIOO	-
	PLFA	PLFA/NLFA		NIOO	K
	Bodem respiratie potentieel	Incubatie		WUR SBL	-
	Potentiële N-mineralisatie	Aerobe incubatie		WUR SBL	K

Regenwormen aantallen en diversiteit	Visueel	WUR SBL	-
Ziektewering Pythium	Bio assay	WUR Bioint	-
Ziektewering Rhizoctonia	Bio assay	WUR Bioint	-

WUR SBL = WUR Soil Biology Laboratorium, WUR OT = Lab van WUR Open Teelten, WUR Bioint = Laboratorium WUR Biointeracties, WUR WENR = Biologisch laboratorium Wageningen Environmental Research. K = klassieke (relatief nauwkeurige en betrouwbare) bepaling uit BLN, A = Alternatieve (relatief goedkopen en snelle) bepaling uit BLN

2.4 Data-analyse

De resultaten zijn per perceel weergegeven waarbij de percelen zijn geclusterd naar grondsoort (klei, zand en löss), en vervolgens zijn gerangschikt van Noord naar Zuid. De resultaten van de percelen zijn, indien bekend, vergeleken met streef- of referentiewaarden, of met de berekende gemiddelden (en in enkele gevallen ook medianen) voor respectievelijk klei- zand- en lössgrond. Daarnaast is er gekeken naar een Noord-Zuid gradiënt. Bovendien zijn, indien mogelijk, de resultaten van de klassieke en alternatieve methoden met elkaar vergeleken. Deze vergelijking is gemaakt door middel van het opstellen van correlaties. Daarnaast zijn ook correlaties berekend tussen verschillende parameters om mogelijke verbanden te ontdekken.

Referentie- en streefwaarden

Interpretatie meetwaarden vergelijking referentie- en streefwaarden. Een referentiewaarde is veelal een range, vaak gebaseerd op de spreiding in de meetresultaten uitgedrukt in de 5-95%-percentielen (Rutgers et al., 2007). Een meetresultaat kan vergeleken worden met de referentiewaarde in termen van hoog of laag, zonder oordeel te vormen in termen van goed of slecht (Hanegraaf et al., 2019). Een streefwaarde hoort bij een beoordeling 'goed', en kan afgeleid zijn uit onderzoek over wat gewenste waarden zijn of uit wet en regelgeving (Hanegraaf et al., 2019). Voor bodemchemische indicatoren zijn doorgaans streefwaarden bekend vanuit de bemestingsoptiek, deze zijn opgenomen in het Handboek Bodem en Bemesting (HBB) en in de BemestingsWijzer van Eurofins. Voor een aantal bodembioologische parameters zijn referentiewaarden bekend uit de analyse van Rutgers et al. (2007). Voor bodemfysische en nieuwe indicatoren zijn streef- en referentiewaarden beperkt. We hebben gebruik gemaakt van de referentiewaarden genoemd in de BLN, versie 1.0 (Hanegraaf et al., 2019). Referentiewaarden zeggen in veel gevallen niet of iets goed of slecht is, ze zeggen alleen of iets in de range ligt van een referentie en geven geen inzichten in knelpunten op procesmatig niveau.

Data-analyse biologische parameters

Spearman correlaties tussen de biologische parameters zijn berekend met de functie `cor.test` in R-Studio. ρ (=R) staat voor de correlatiecoëfficiënt. De Spearman rangcorrelatiecoëfficiënt (r_s) is een statistische techniek als maat voor samenhang voor variabelen op ordinaal niveau. Hoe hoger (of lager onder nul) de correlatiecoëfficiënt hoe sterker de correlatie. Er werd ook gekeken naar een mogelijke interactie van de correlaties met de grondtype, maar dit blijkt moeilijk vanwege het lage aantal van datapunten voor zandgrond.

Een random forest analyse werd uitgevoerd voor het verschil tussen klei- en zandgrond. Dit is een supervised machine learning methode waarin een model wordt getraind om de twee grondtypes te onderscheiden op basis van de bodemparameters. Vervolgens kan worden berekend welke parameters het meest bijdragen om die onderscheid te kunnen maken. De random forest analyse is uitgevoerd met de `randomForest` functie in R-Studio (Breiman, 2001).

3 Resultaten

3.1 Perceelseigenschappen en (bodem)beheer

Een overzicht van een aantal eigenschappen en het beheer van de bodem in 2019 voor de 32 percelen is weergegeven in Tabel 1-1. De gemiddelde perceelsgrootte van de percelen is 8,7 ha, de meest geteelde gewassen zijn granen, aardappel en ui, op 10 percelen wordt er na de teelt een groenbemester gezaaid en ploegen en woelen zijn de meest toegepaste hoofd grondbewerkingen.

Tabel 3-1 Overzicht van enkele perceelseigenschappen en bodembeheer

Perceel	Grootte (ha)	Grondsoort	Bedrijfsvoering	Geteeld gewas	Geteelde groenbemester	Bodem-bewerking	Type organische mest*
FR0101	8,72	Lichte klei	Gangbaar	Wintergerst		Woelen	SSM, PROM
FR0102	3	Zware zavel	Gangbaar	Aardappel		Ploegen	RDM, PROM
GR0101	12,3	Lichte zavel	Biologisch	Wintertarwe	Haver/wikke	Woelen	RSM
GR0102	11,05	Lichte zavel	Biologisch	Grasklaver		Schijveneg	DM, GM
GR0201	10,1	Zware klei	Gangbaar	Wintertarwe		Ploegen	VDM
GR0202	11	Zware klei	Gangbaar	Zaaiui		Ploegen	SSM
GE0101	5,4	Klei	Gangbaar	Wintertarwe		Ploegen	VDM, CHAM
GE0102	10,15	Klei	Gangbaar	Aardappel		Ploegen	CHAM
FL0101	4,82	Zand	Gangbaar	Wintertarwe	Gras	Cultivator	PROM
FL0102	7,2	Zand	Gangbaar	Ui		Cultivator	BC
FL0201	13,33	Lichte klei	Gangbaar	Wintertarwe	Gele mosterd	Woelen	VDM
FL0202	14,4	Lichte zavel	Gangbaar	Ui	Wintertarwe	Ploegen	GM, BC
NH0101	5	Zand	Gangbaar	Gras	Gras	Woelen	CHAM, VDM
NH0102	4,5	Zand	Gangbaar	Gras	Gras	Woelen	CHAM, VDM
ZH0101	8,5	Lichte zavel	Gangbaar	Wintertarwe		Woelen	RDM, GC
ZH0102	5,7	Lichte zavel	Gangbaar	Suikerbiet		Spitten	RSM
ZE0101	17,8	Zware klei	Gangbaar	Wintertarwe	Mengsel	Cultivator	VDM, GFTC
ZE0102	18,8	Zware klei	Gangbaar	Ui	Mengsel	Cultivator	RDM
BR0102	3,65	Lichte klei	Gangbaar	Suikerbiet		Ploegen	
LI0101	2,9	Zware klei	Omschakeling	Zomertarwe		Woelen	RDM, GC
GR0301	10,92	Lichte zavel	Gangbaar	Suikerbiet	Rogge	Cultivator	RDM, GC
GR0302	12,29	Zware zavel	Gangbaar	Aardappel		Spitten	BF, GC
DR0101	16,87	Lichte zavel	Gangbaar	Zomergerst		Cultivator	RDM, SA
DR0102	2,4	Lichte zavel	Gangbaar	Snijmais		Cultivator	RDM, MM
GE0201	9,5	Zand	Gangbaar	Aardappel	Bladrammenas	Ploegen met vorenpakker	RDM
GE0202	6,12	Zware klei	Gangbaar	Gras			RDM
BR0101	4,85	Zand	Gangbaar	Aardappel		Ploegen	RDM
BR0201	3	Zand	Gangbaar	Snijmais	Gerst	Ploegen	DIG, GC
BR0202	6,83	Zware zavel	Gangbaar	Snijmais	Gerst	Ploegen	DIG
LI0102	5,3	Zand	Omschakeling	Ui		Woelen	RDM
LI0201	12	Löss	Gangbaar	Suikerbiet		Woelen	RDM
LI0202	10	Löss	Gangbaar	Wintertarwe		Woelen	

* SSM staat voor schapenmest, PROM voor protamylasse, RDM voor rundveedrijfmest, RSM voor rundveestalmest, DM voor drijfmest, GM voor geitenmest, VDM voor varkensdrijfmest, CHAM voor champost, BC voor betacal, GC voor groencompost, GFTC voor GFT-compost, SA voor schuimaarde, en DIG voor digestaat.

Gedetailleerde informatie met betrekking tot perceelseigenschappen en management is opgenomen in de individuele rapportages per bedrijf.

3.2 Organische stof

3.2.1 Algemeen

Organische stof neemt een centrale plaats in bij het evalueren van de bodemkwaliteit. Belangrijke functies van organische stof zijn de stikstof (N) levering, de bodemstructuur, het vochtvasthoudend vermogen en de ziektevering. Voor deze functies spelen meer aspecten een rol dan alleen het totaal organische stofgehalte. Ook de kwaliteit van organische stof en de afbreekbaarheid kunnen zinvol zijn. De indicatoren voor gehalte, kwaliteit en afbreekbaarheid zijn gemeten met een tiental metingen. Voor informatie over de indicatoren wordt verwezen naar bijlage 2.

Enkele indicatoren zijn meerder keren gemeten, met andere meetmethoden en/of door meerdere laboratoria. Voor het organische stofgehalte zijn bijvoorbeeld drie uitslagen beschikbaar. Hierbij is er een onderscheid tussen de gebruikte methode, gloeiverlies (GLV) en NIRS. Van de GLV is een uitslag met en zonder kleicorrectie beschikbaar. De kleicorrectie wordt gemaakt voor koolstof die in zgn. kristallijn water tussen de kleideeltjes wordt vastgehouden en dus geen organische stof is. Een ander voorbeeld is HWC1 en HWC2. Het onderscheid hiervoor is dat de betreffende indicator door verschillende laboratoria is gemeten. Verschillen tussen laboratoria geven mogelijk meer inzicht in details van de gewenste meetmethode. Ook de afbreeksnelheid van organische stof komt twee keer voor, namelijk met een modelschatting en met een meting. In de volgende paragrafen worden de totaalgehalten, kwaliteit en afbreeksnelheid besproken, waarna additionele gegevens over de aanvoer van organische stof wordt besproken. Enkele opmerkingen vooraf:

- Het betreft een eerste interpretatie, op basis van: bodemtype, meetmethode en referentiewaarden.
- Resultaten zijn beschikbaar van vrijwel alle percelen. Waar relevant is een vergelijking gemaakt van twee of meer meetmethoden.
- Statistische parameters zoals zijn bepaald met Genstat, behalve van de standaarddeviatie van de duplo's, die in Excel is bepaald.
- Referentiewaarden en/of-ranges zijn, voor zover beschikbaar, overgenomen uit BLN.

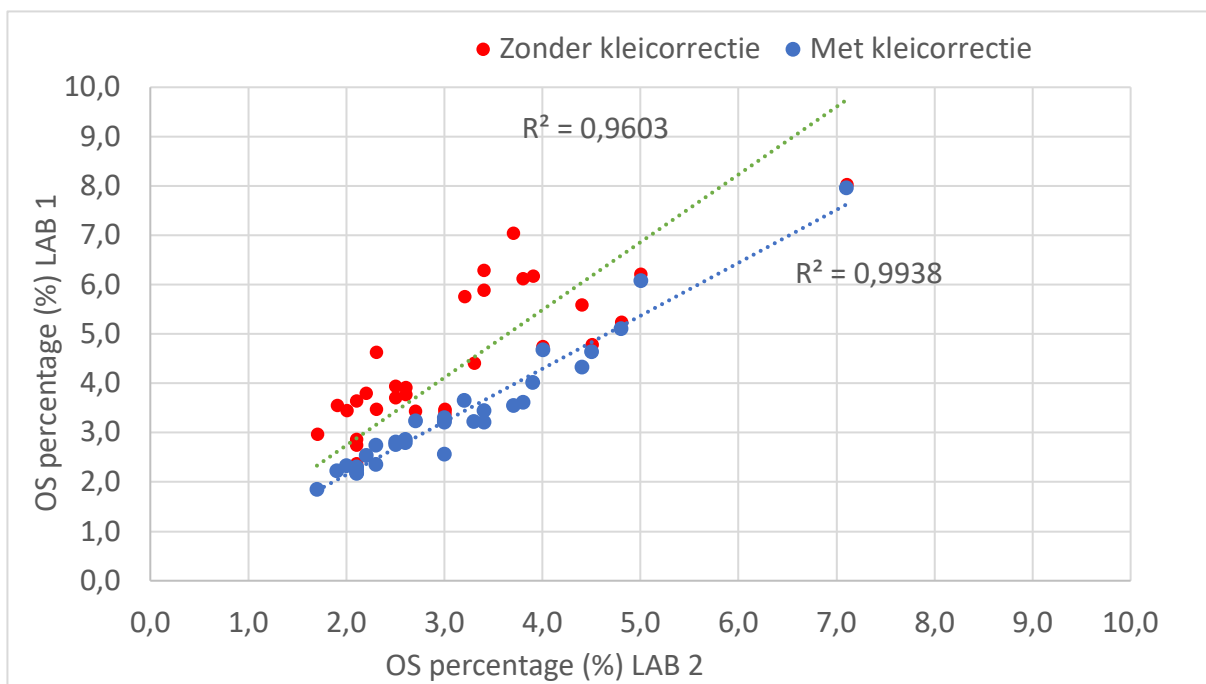
3.2.2 Resultaten Indicatoren

Totaalgehalten organische stof en koolstof

Organische stof

Vergelijking van laboratoria

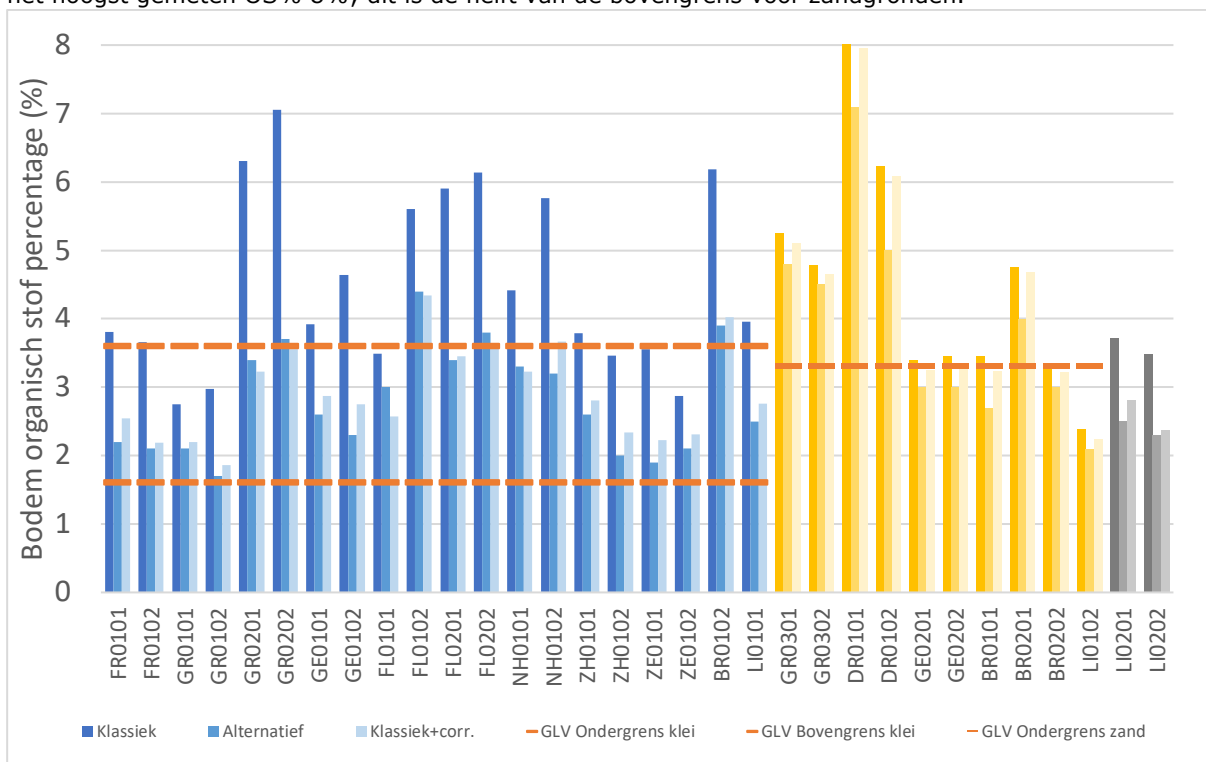
Voor het organische stofgehalte zijn twee datasets beschikbaar gekomen. De eerste betrof die van de klassieke meting (gloeiverlies), de tweede betrof een alternatieve meting (NIRS). Vergelijking van beide series liet zien dat vooral voor de kleigronden het verschil tussen beide series groot was (zie Figuur 3-1). Nader onderzoek gaf aan dat dit mogelijk toe te schrijven is aan een correctie voor het kleigehalte. Deze correctie wordt door lab2 wel, en door lab1 niet standaard toegepast. De gehanteerde correctiefactor is 0,07 kg/kg. Voor een goede vergelijking is de correctie alsnog uitgevoerd op serie 1. De resultaten van lab1 en lab2 zijn tegen elkaar uitgezet. De verklaarde variantie verbeterde aanzienlijk na de correctie voor klei (R^2_{adj} . steeg van 0,55 naar 0,95).



Figuur 3-1 Vergelijking van de resultaten van twee methoden en labs voor het organisch stofgehalte middels de gloeiverlies methode, met en zonder kleicorrectie

Alle percelen

Zowel de noordelijke als zuidelijke zeeleigonden hadden relatief lage OS-gehalten (zie Figuur 3-2). Het zandperceel in de provincie Limburg heeft een gehalte dat lager was dan de ondergrens voor zand. Het gehalte van vier andere zandpercelen lag op de ondergrens. Van de overige vijf zandpercelen was het hoogst gemeten OS% 8%; dit is de helft van de bovengrens voor zandgronden.



Figuur 3-2 Het bodem organisch stof percentage van de percelen van het BNW, GLV staat voor gloeiverlies.

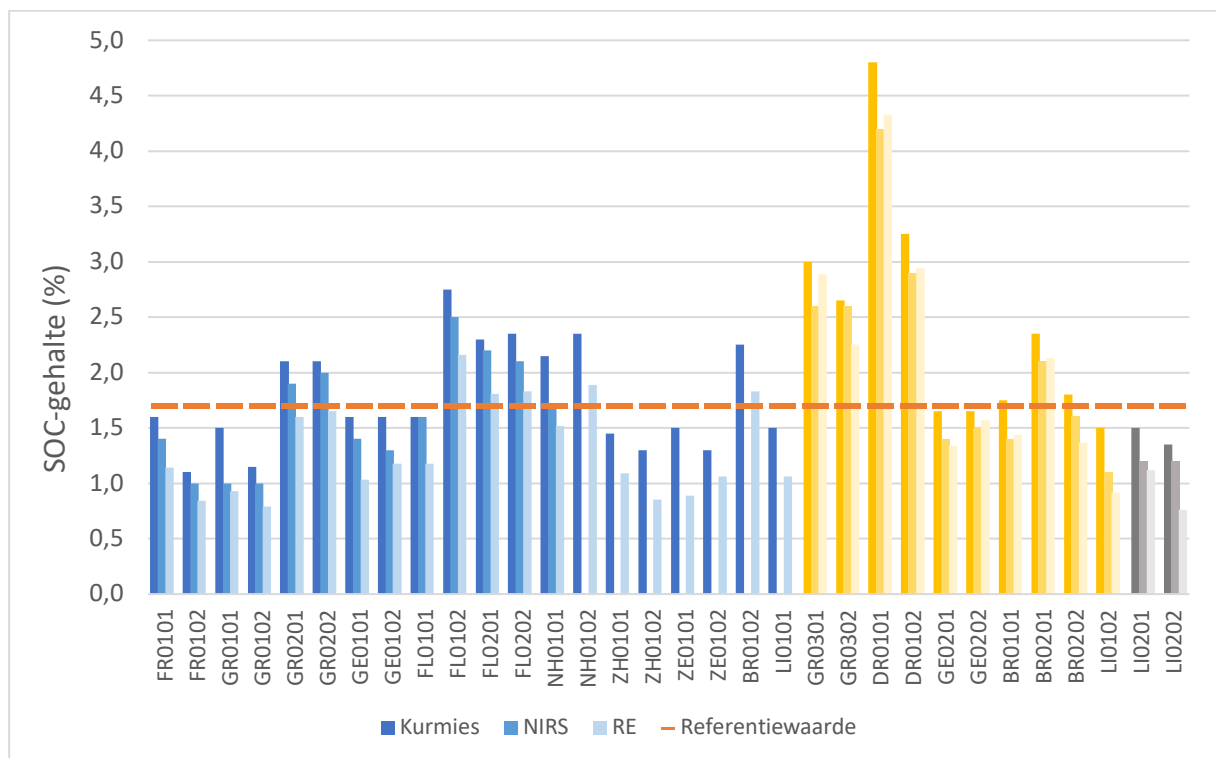
In de BLN zijn referentiewaarden opgenomen voor het organisch stofgehaltes gemeten met de gloeiverliesmethode. Voor akkerbouw op klei liep de referentiewaarde van 1,6 tot 3,6% en voor akkerbouw op zand van 3,3 tot 16,2% (Hanegraaf et al., 2019); voor akkerbouw op löss zijn geen referentiewaarden beschikbaar. Het viel op dat de klei percelen gemiddeld een hoog percentage organische stof hadden vergeleken met de referentiewaarden. Geen enkel perceel had een bodem organisch stofgehalte onder de referentiewaarde. De zandpercelen hadden een relatief laag organisch stofgehalte. Van de dekzandgronden hadden 2 van de 6 percelen een lager bodem organisch stofgehalte dan de referentiewaarden. Voorts viel op dat ook de gehalten van de twee percelen op dalgrond (GR03 en DR01) binnen de referentiewaarden lagen.

SOC-gehalte

Voor het bodem organische koolstof gehalte (soil organic carbon, SOC)-gehalte zijn drie datasets beschikbaar, namelijk een klassieke meting (Kurmies methode) en twee alternatieve metingen. De eerste alternatieve meting betreft een zgn. snelle en kosteneffectieve methode, NIRS; de tweede betreft de Rock Eval methode, toegepast in het petrochemisch onderzoek. Voor het SOC-gehalte zijn geen Nederlandse referentiewaarden beschikbaar. Binnen de EU wordt vaak een waarde van 1,7% aangehouden.

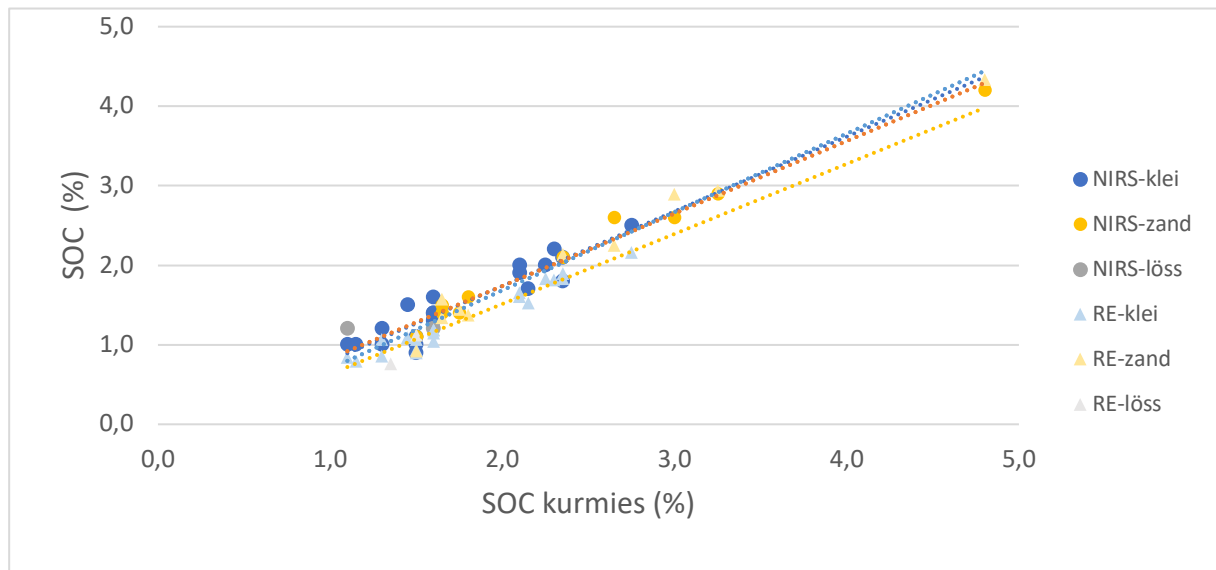
Alle percelen

De range in het SOC-gehalte over de 32 percelen heen liep uiteen van 0,8 in een lössperceel tot 4,8% in een zandperceel. Laatstgenoemde betreft een dalgrond uit Drenthe, in figuur 1 de uitschieter. De overige percelen toonden wat dit aangaat geringe onderlinge verschillen, met gemiddelde waarden van 2,2% (zand), 1,5% (klei) en 1,2% (löss). Bij de kleigronden kwamen relatief veel lage SOC-waarden voor in de noordelijke en zuidelijke zeeleiprovincies. Wat opviel in Figuur 3-3 is het grote aandeel percelen onder de lijn met de referentiewaarde, iets meer dan de helft.



Figuur 3-3 Het SOC-gehalte in de bodem.

Hoe meer de punten van twee meetmethoden op een lijn liggen die door de oorsprong gaat, hoe beter de match tussen beide meetmethoden. De verbanden tussen Kurmies met respectievelijk NIRS en RE zijn iets beter voor zand ($R^2_{adj.} = 0.98$ en 0.97) dan voor klei ($R^2_{adj.} = 0.86$ en 0.93) (Figuur 3-4). Er is vooralsnog geen reden om te veronderstellen dat het verband voor lössgrond hier veel van afwijkt.

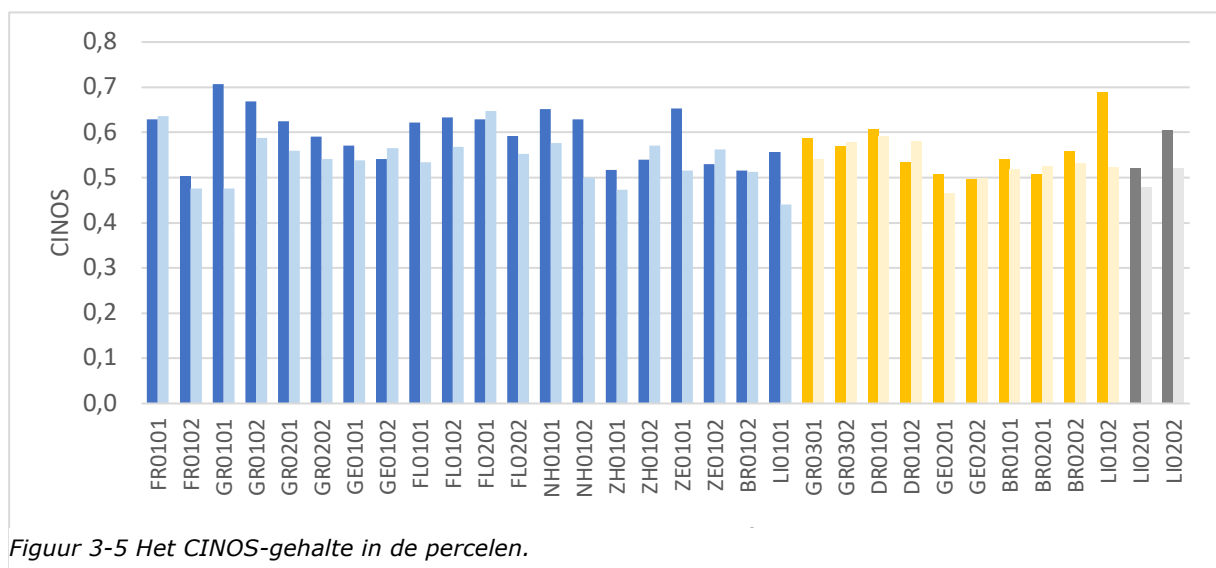


Figuur 3-4 Vergelijking van de resultaten van drie methoden voor het SOC-gehalte.

3.2.2.1 Kwaliteit organische stof

CINOS

Het percentage koolstof in de bodem organische stof wordt uitgedrukt in de ratio CINOS. Over de betekenis van CINOS voor de bodemkwaliteit en de gewasproductie is niet veel bekend. Er zijn aanwijzingen dat een hoge CINOS correspondeert met een lage afbreeksnelheid. Voor de berekening van CINOS ($C\%/OS\%$) is gebruikt gemaakt van twee series met gegevens voor C en OS, op basis van klassieke en alternatieve metingen. Hierbij is in beide gevallen gekozen voor het OS% incl. kleicorrectie. Deze waarden komen overeen met de range die uit de literatuur is bekend. Verschillen tussen beide methoden zijn zichtbaar voor enkele percelen. Waar dit het geval is zijn de resultaten van de klassieke methode vrijwel overal hoger dan die van de alternatieve methode. In de meeste percelen zijn de verschillen echter niet noemenswaardig.

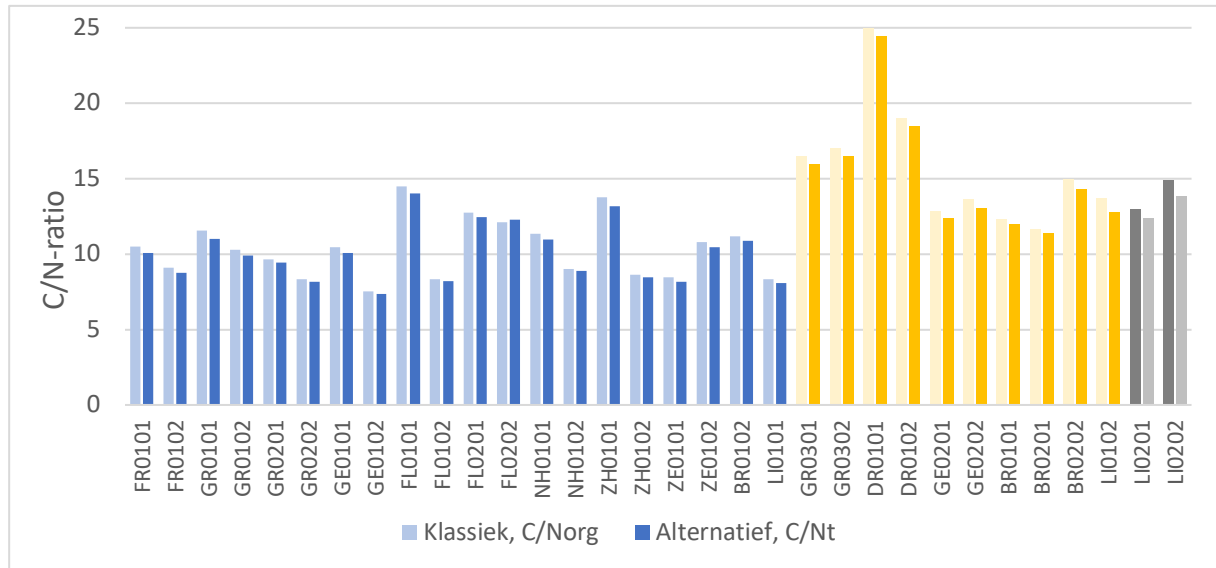


Figuur 3-5 Het CINOS-gehalte in de percelen.

C/N-ratio

Alle percelen

De klassieke meting van de C/N-ratio is beschikbaar uit de ratio SOC (Kurmies) en N-org. Als alternatieve meting is gebruik gemaakt van NIRS-metingen berekend uit SOC- en Nt-gehalte. Het gemiddelde van de klei percelen bedroeg 10, met een range van 7-16. De zandpercelen hadden in het algemeen een hogere C/N-ratio, gemiddelde 16 met een range van 13-28. Accruater is een de C/N-ratio op basis van N-organisch (Norg). De waarde van Norg was niet gemeten maar is berekend uit het Ntotaal-gehalte – N-mineraal gehalte. Voor perceel FL0202 was deze waarde hoogstwaarschijnlijk door een meetfout niet betrouwbaar. Er zijn geen referentiewaarden voor de C/N-ratio opgenomen in de BLN.



Figuur 3-6 De C/N-ratio in de percelen.

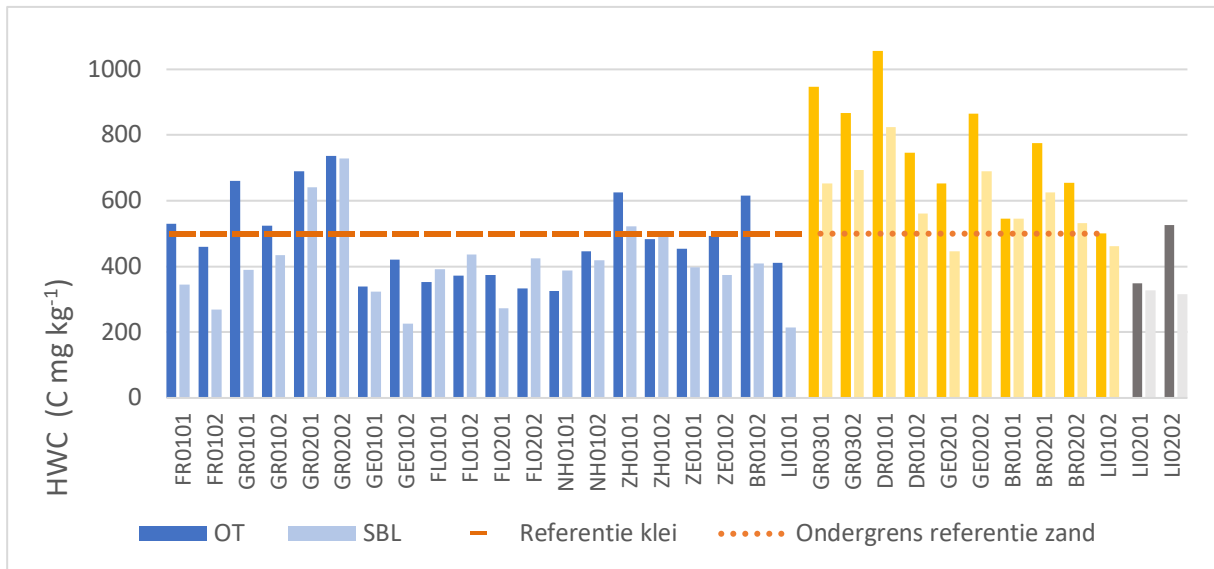
3.2.2.2 Actieve fracties (HWC en POXC) en historische fracties (I- en de R-index)

Heet wateroplosbare koolstof (HWC)

In Figuur 3-7 zijn de gemeten HWC-waarden voor alle percelen weergegeven, inclusief referentiewaarden uit de BLN voor klei en zand. Voor laatstgenoemde bevat BLN een range; hiervan is de ondergrens opgenomen in de figuur. Voor lössgrond is geen referentiewaarde beschikbaar. Voor de meeste klei- en zandpercelen was de gemeten waarde lager dan de referentiewaarde. Dit is mogelijk toe te schrijven aan het seizoen van monstername. Voor het BNW zijn grondmonsters in de herfst genomen. De HWC-waarden uit de referentie waren afkomstig van in de zomer genomen grondmonsters.

De gemiddelde HWC-waarde voor de kleigronden was met 444 mg kg⁻¹ lager dan de zandgronden die een gemiddelde waarde van 682 mg.kg⁻¹ hadden en hoger dan de lössgronden met een gemiddelde waarde van 379 mg kg⁻¹. Opgemerkt zij dat, vanwege het geringe aantal lösspercelen, de kans groot is dat een verschil met andere grondsoorten op toeval berust.

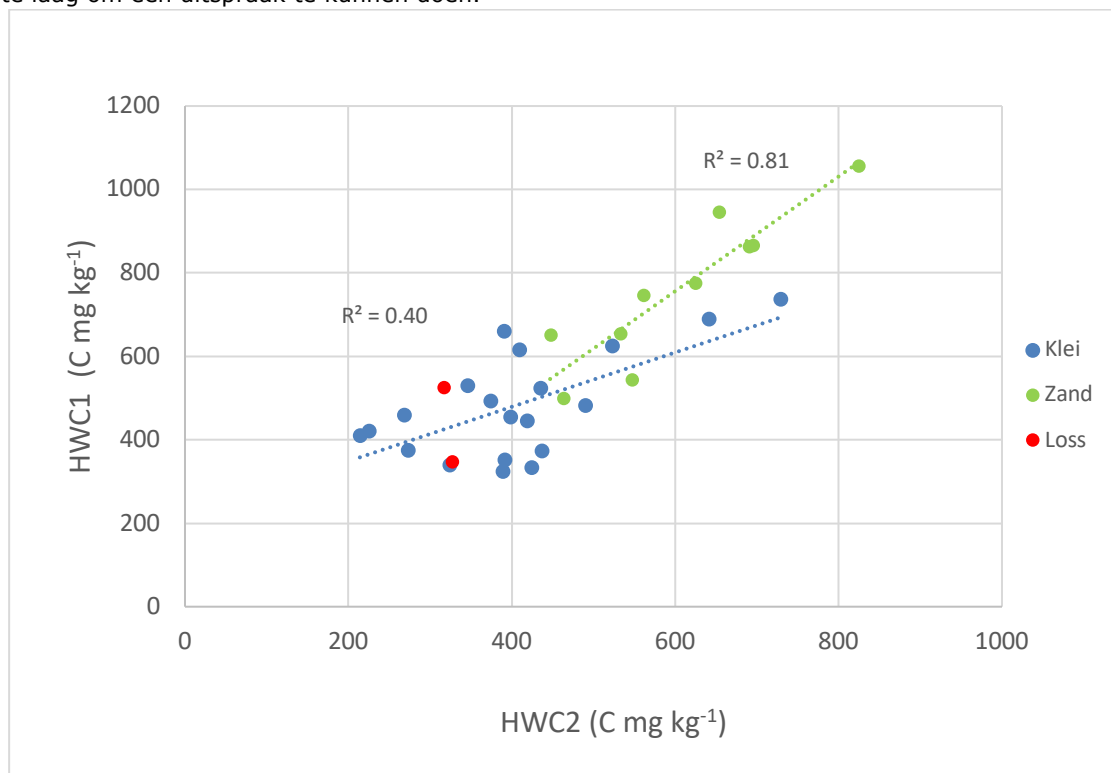
De ordening van de zandpercelen in figuur 1 is zo gekozen dat van links naar rechts overeenkomt met de provincies van noord naar zuid. Duidelijk is te zien dat er sprake was van een noord-zuid gradiënt in de gemeten HWC-waarden. In noord Nederland waren de HWC-waarden hoger dan in zuid Nederland.



Figuur 3-7 Gemeten HWC in alle percelen van het BNW, inclusief referentiewaarden. Voor akkerbouw op klei is de referentiewaarde 500 mg C per kg grond, voor akkerbouw op zand is er een referentietraject vastgesteld van 500-2000 mg C per kg grond.

Vergelijking van laboratoria

In Figuur 3-8 zijn de resultaten van de twee laboratoria uiteengezet. In het geval dat de laboratoria exact hetzelfde zouden meten kan een diagonale lijn worden getrokken van linksonder naar rechtsboven. De figuur laat zien dat er wat dit aangaat een verschil is tussen de gronden klei en zand. De match was voor zandgrond redelijk goed ($R^2_{\text{adj.}} = 0.81$), zeker gezien het beperkte aantal percelen. Voor de kleigronden was de match echter matig ($R^2_{\text{adj.}} = 0.40$), voor de lössgronden is het aantal percelen te laag om een uitspraak te kunnen doen.



Figuur 3-8 Vergelijking van de resultaten van twee laboratoria voor HWC.

Discussie

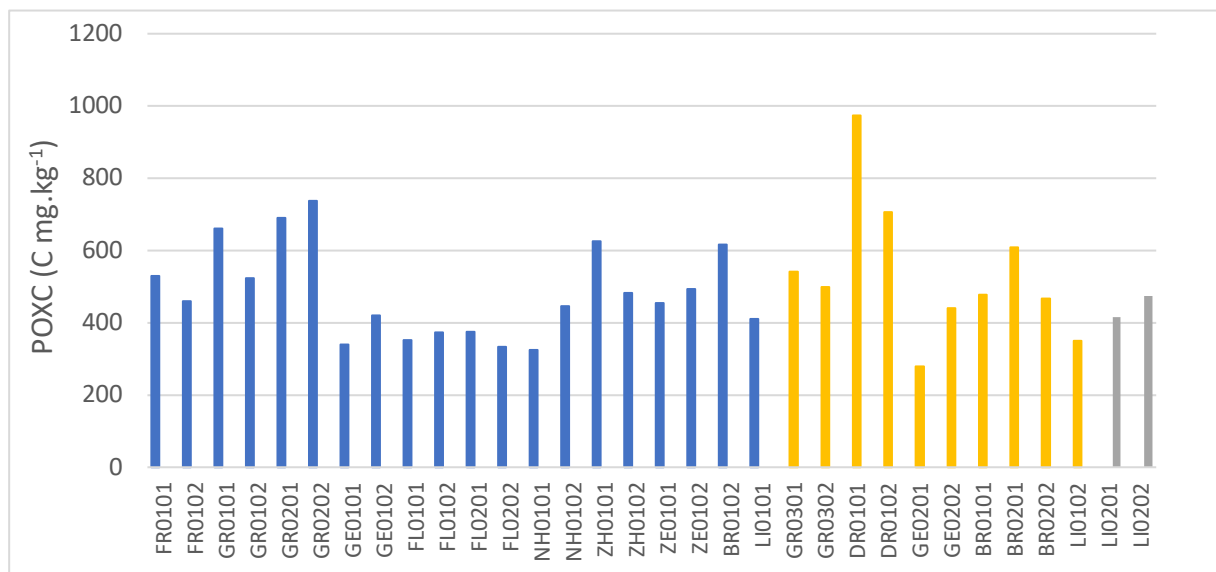
Uit het gemiddelde van de resultaten bleek dat de gemeten waarden van het OT-lab steeds hoger waren dan die van het SBL-lab. Dit duidt op een systematisch verschil tussen beide laboratoria. Een systematisch verschil bemoeilijkt vergelijking van data van laboratoria, maar is niet onoverkomelijk. Er is echter ook een verschil gevonden dat waarschijnlijk verband houdt met de grondsoort. Een dergelijk verschil tussen laboratoria is ongewenst. De lagere match van de resultaten voor kleigrond zou te maken kunnen hebben met een verschil in voorbehandeling van de monsters kleigrond, met name het breken en malen van de kleideeltjes.

Uit de resultaten viel af te leiden dat er een verschil was in de HWC-waarden van klei- en zandgronden, en dat er een noord-zuid gradiënt in de HWC-waarden van de zandgronden lijkt te bestaan. Voorts lijkt het seizoen van monsternamen van invloed. Als dit bij herhaling zou worden bevestigd, dan kan de aanbeveling worden gedaan om de referentiewaarden voor HWC voor deze factoren te verfijnen.

In permanganaat oplosbare koolstof (POXC)

Alle percelen

In Figuur 3-9 zijn de gemeten POXC-waarden voor alle percelen weergegeven. Er zijn nog geen referentiewaarden beschikbaar. De gemiddelde POXC-waarde voor de kleigronden was met 534 mg/kg lager dan de zandgronden met een gemiddelde waarde van 600 mg.kg⁻¹ en hoger dan de lössgronden met een gemiddelde waarde van 445 mg/kg. Opgemerkt zij dat, vanwege het geringe aantal lösspercelen, de kans groot is dat een verschil met andere grondsoorten op toeval berust. Wat opvalt is dat zowel de noordelijke als zuidelijke zeekleigronden relatief lage POXC-gehalten hadden, hetzelfde beeld als bij de LOI-gehalten. Daarentegen was het patroon in de zandgronden vrij vlak en liet geen gradiënt zien zoals bij HWC het geval was. Opvallend was wel de relatief hoge POXC-waarde voor perceel DR0101, dat een dalgrond is.

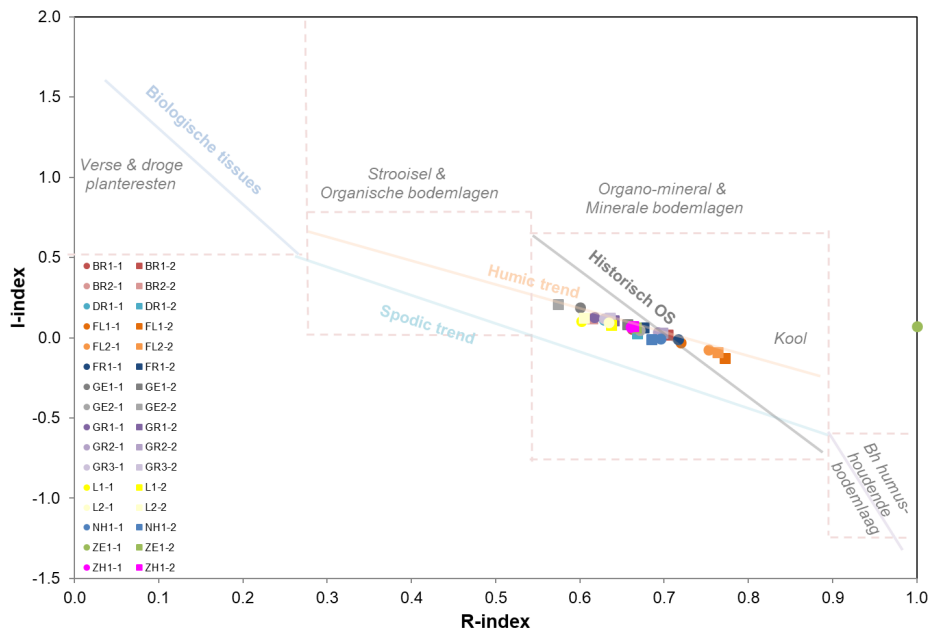


Figuur 3-9 Gemeten POXC-gehalten in alle percelen van het BNW.

Opgebouwd uit jonge en oude organische stof: I- en R-index

Organische stof in de bodem is opgebouwd over een periode van decennia tot eeuwen. De uitslagen van de I- en R-index uit de Rock Eval methode zijn verwerkt in Figuur 3-10 die de karakterisering van de organische stof op basis van afbreekbaarheid laat zien. In de linkerbovenhoek (hoge I-index, lage R-index) is sprake van makkelijk afbreekbaar materiaal; in de rechteronderhoek (lage I-index, hoge R-index) staan grondmonsters met stabiel materiaal. Deze karakterisering is een nadere uitwerking van de zgn. S₂-fractie van de pyrolyse.

Figuur 3-10 laat zien dat door de resultaten van de 32 percelen op de lijn van de zgn. 'Humic Trend' vallen. Dit wil zeggen dat de bijbehorende bodems via menging met relatief vers organisch materiaal zijn gevormd (in tegenstelling tot de 'Spodic trend', waarop bodems vallen die via podzol-achtige processen gevormd worden). Op de uiteinden van deze lijn liggen de percelen met respectievelijk de hoogste en laagste ratio tussen I-index/R-index, de percelen GE0202 en FL0102. Veelal liggen twee percelen van hetzelfde bedrijf van naast elkaar op deze lijn. Echter voor bedrijf GE02 is dat niet zo: perceel GE0201 ligt in het midden van de lijn. Dit heeft te maken met een verschillend bodemtype van deze percelen.



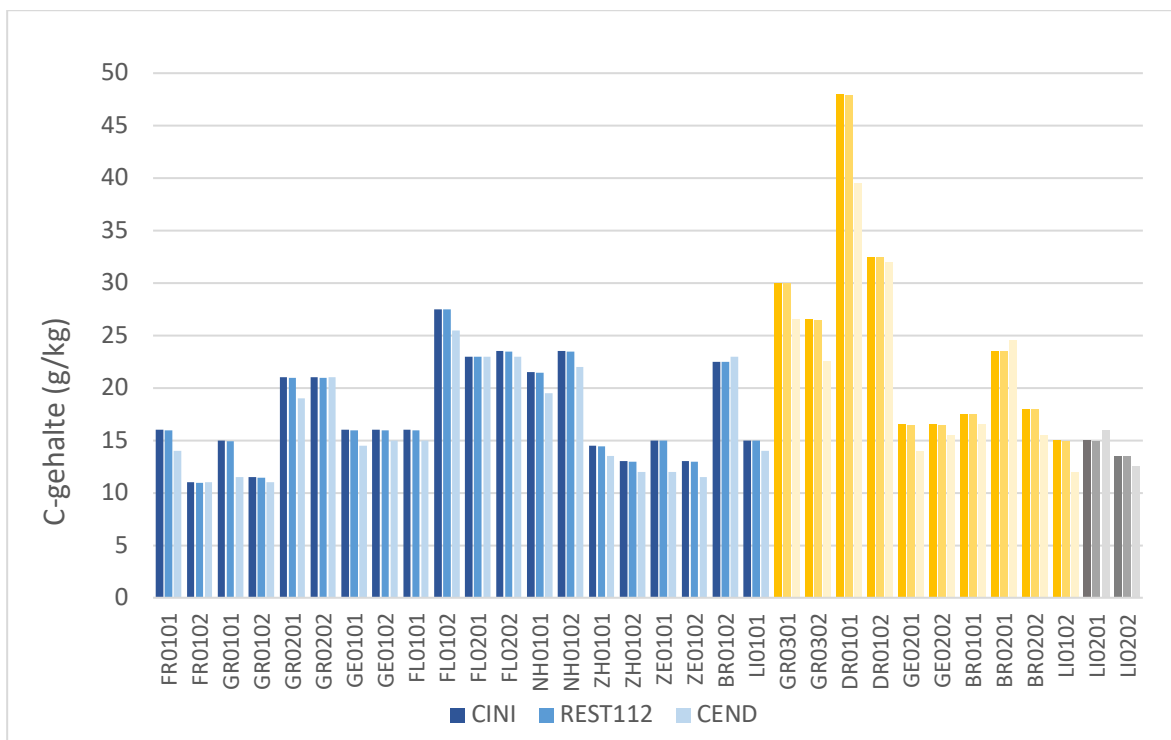
Figuur 3-10 Humificatie trend op basis van de I- en R-index van de BNW-percelen.

3.2.2.3 Afbraak

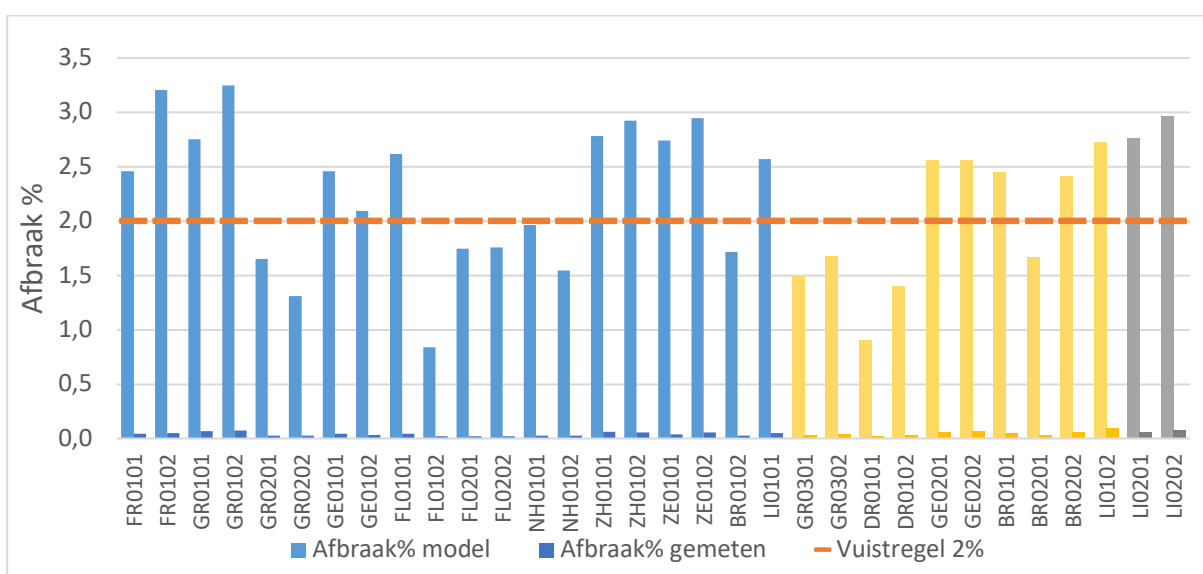
Afbraaksnelheid

De verandering in het C-gehalte tijdens de aerobe incubatieproef van 112 dagen bleek zeer laag (Figuur 3-11). Het C-gehalte was gemeten aan het begin (CINI) en aan het eind van de proefneming (CEND). Ook is het restant berekend door de cumulatieve CO₂-emissies in mindering te brengen op CINI (REST112).

Resultaten van een eerdere, vergelijkbaar experiment lieten een afbraak zien die, ook voor minerale gronden, varieerde van 1,5 – 8%. Met die eerdere resultaten was indertijd een algemeen exponentieel model gefit waarna de verbanden tussen modelparameters en bodemkenmerken zijn vastgesteld met regressieanalyse. Deze exercitie is herhaald met de data van de huidige proefneming. De resultaten waren gelijkaardig, dat wil zeggen zowel het kalibratie als het validatiemodel gaven een goed verband (o.b.v. $R^2_{adj.}$, AIC en RMSE) tussen de afbraaksnelheid en de bodemkenmerken C/Nt-ratio en Nt-gehalte, zij het met een andere afbraaksnelheid. Daarom is ervoor gekozen om het kalibratiemodel te gebruiken voor de huidige dataset, zoals weergegeven in Figuur 3-12. Aan de figuur is ook de lijn met het huidige kengetal 2% toegevoegd.



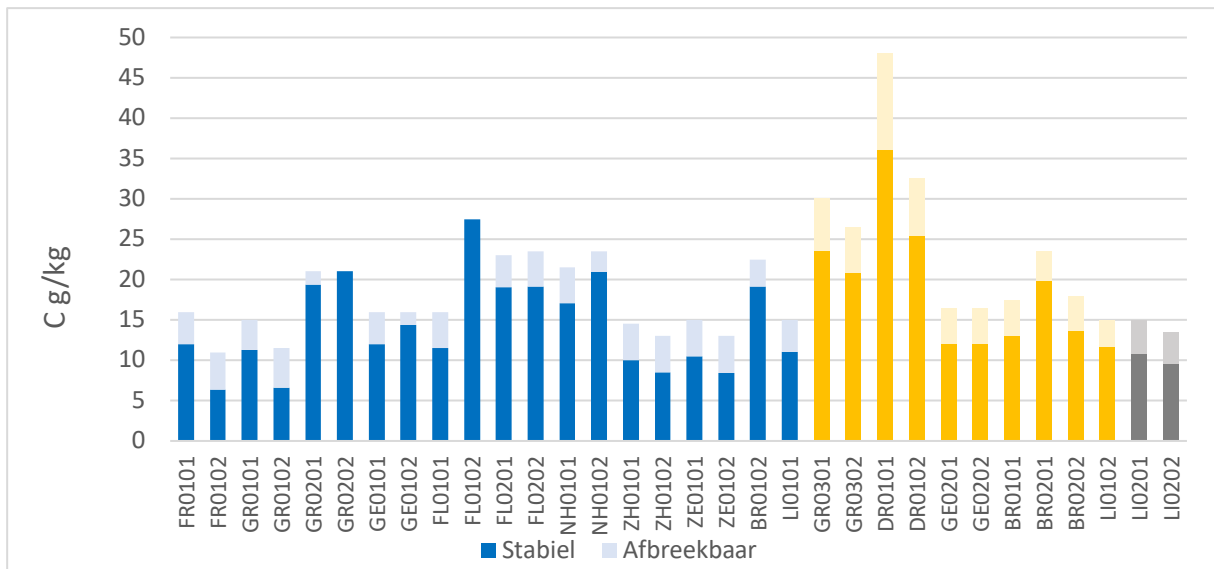
Figuur 3-11 Het gemeten C-gehalte (kurmies) aan begin (CINI) en einde (CEND) van de incubatieperiode, en het berekende restant (REST112).



Figuur 3-12 Het afbraakpercentage van de percelen, geschat met het kalibratiemodel (links) en berekend uit meetgegevens van de incubatie (rechts), en de vuistregel van 2%.

Stabiele en afbreekbare SOC-pools

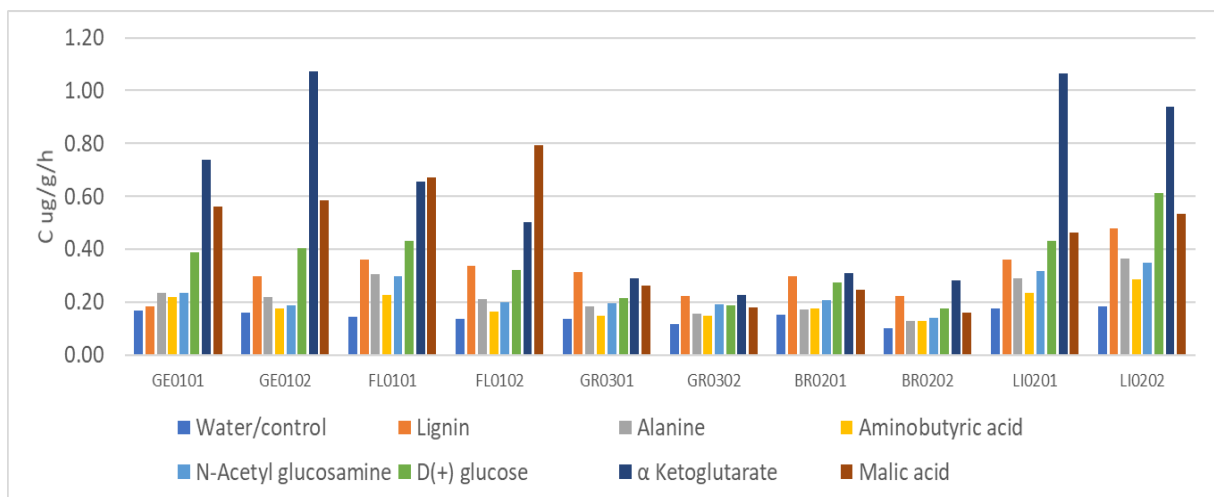
Het model is voorts gebruikt voor een schatting van de stabiele en de afbreekbare pool (Figuur 3-13). Zoals verwacht mag worden was de afbreekbare pool vele malen kleiner dan de stabiele pool. De verhouding tussen de twee pools bleek variabel, van 0,1 tot 0,7. Voor twee percelen ging het model niet op omdat het N-gehalte buiten de range van model lag; hierbij werd een nul-afbraak geschat.



Figuur 3-13 Stabiele en afbreekbare pools.

Microresp

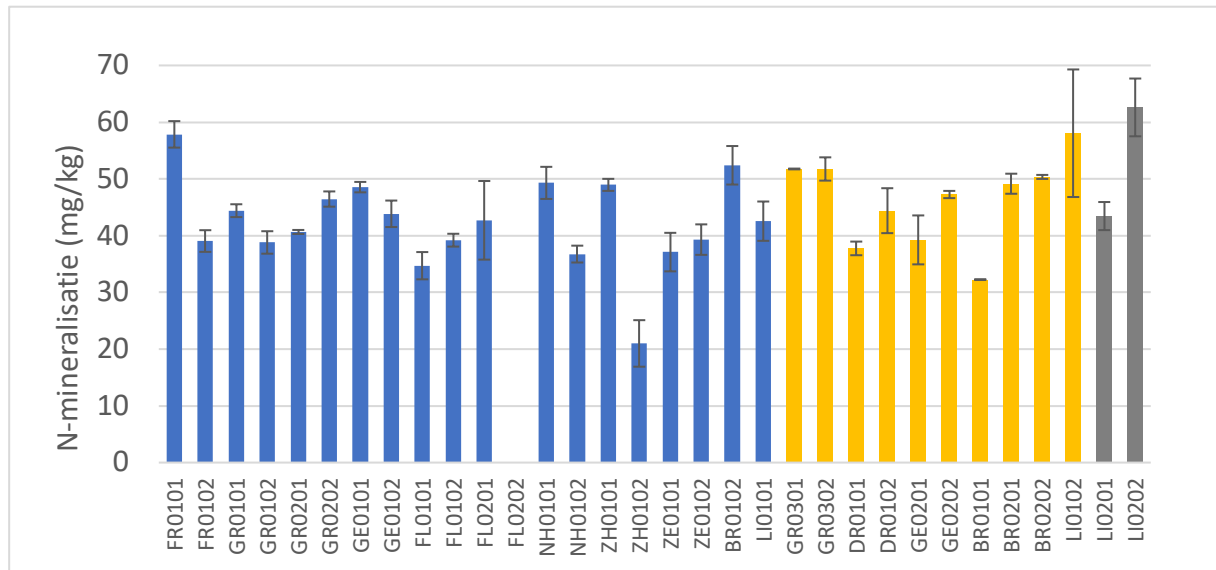
De test met toediening van verschillende soorten organische stof is in 10 percelen uitgevoerd. De selectie omvatte zowel klei-, zand- als lösspercelen. De resultaten lieten een verschil zien in de capaciteit van bodems om organische stoffen af te breken. In enkele percelen was afbraak van alle substraten mogelijk. Zoals kan worden verwacht werd niet alle organische stof in gelijke mate afgebroken, maar was er een voorkeur voor de makkelijk afbreekbare materialen. Verschillen tussen de grondsoorten zijn meest duidelijk zichtbaar voor twee substraten uit de carboxylzuurgroep, malic acid en α -ketoglutarate. Dit zijn beide makkelijk afbreekbare substraten. Voor deze substraten werden hogere gehalten gevonden in de klei- en lössgrond dan in de zandgrond.



Figuur 3-14 Omzetting van (toegevoegde) substraten in 10 percelen van het BNW.

3.2.2.4 Stikstofmineralisatie

Over de 112 dagen van de incubatieproef liep de N-mineralisatie uiteen van 21,0 N mg/kg in een zandperceel tot 62,6 N mg/kg in een lössperceel, met een overall gemiddelde van 42,9 N mg/kg (zie Figuur 3-15). Binnen de kleigronden was de variatie groot. Over het algemeen was er weinig verschil tussen de duplo bepalingen.

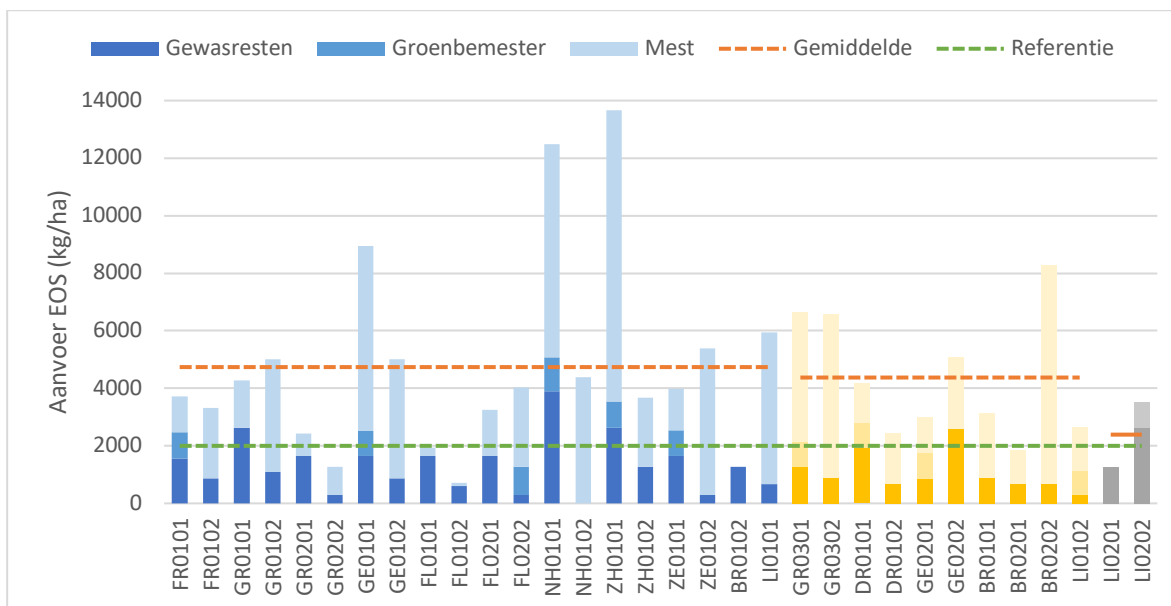


Figuur 3-15 Resultaten stikstofmineralisatie; gemiddelde van 2, incl. standaard deviatie.

De afzonderlijke bedrijfsrapportages bevatten observaties met betrekking tot een mogelijke signaalfunctie van de OS-indicatoren voor de N-levering. Voorbeelden hiervan zijn GE01, waar een hogere N-mineralisatie gepaard ging met een hogere I-index. Een hogere I/R-ratio, een grotere afbreekbare pool, een hogere ratio tussen afbreekbare en stabiele pool, en een hogere afbraaksnelheid. Ander voorbeeld is DR01, waarin de N-mineralisatie en de afbraakcapaciteit van de bodembioologie, de I-index, de ratio tussen afbreekbare en stabiele pool, en de afbraaksnelheid hoger waren dan groepsgemiddeld. In een aantal gevallen bleek dit inderdaad aannemelijk. Vervolgonderzoek met o.a. multivariate analyse zal hier meer licht op kunnen laten schijnen. In andere gevallen bleek het zo te zijn dat een bedrijfsdataset slechts in totaliteit kon worden begrepen door aan te nemen dat de C/N-ratio in de afbreekbare en de stabiele pool verschilt, en/of dat een fout in de metingen heeft plaatsgevonden. Het is mogelijk dat de N-mineralisatie meting niet de juiste resultaten heeft gegeven, bijvoorbeeld als de voorbehandeling (malen) van de grondmonsters tot een andere poolverdeling heeft geleid. In de 2e meetronde zal dit aandacht krijgen.

3.2.3 Organische stof balans 2019

Een organische stofbalans geeft inzicht in de aanvoer en afvoer van organische stof in de bodem. De aanvoer van organische stof wordt bepaald op basis van de effectieve organische stof (EOS). EOS is gedefinieerd als het gedeelte organische stof dat overblijft één jaar na toediening. De totale aanvoer van EOS is de som van organische mest, gewasresten en groenbemesters (indien geteeld) en is berekend met behulp van de tabellen uit het Handboek Bodem & bemesting (zie Figuur 3-16). Voor de bepaling van de afbraak is gebruik gemaakt van de modelberekening van het afbraakpercentage uit 3.2.2.3 en de voorraad organische stof in de bodem in de laag 0-30 cm. Laatstgenoemde is berekend uit het bodem organisch stof percentage bepaald met NIRS en het bulkgewicht bepaald met grondmonsterringen. Het netto balansresultaat per perceel over 2019 is weergegeven in Figuur 3-17.

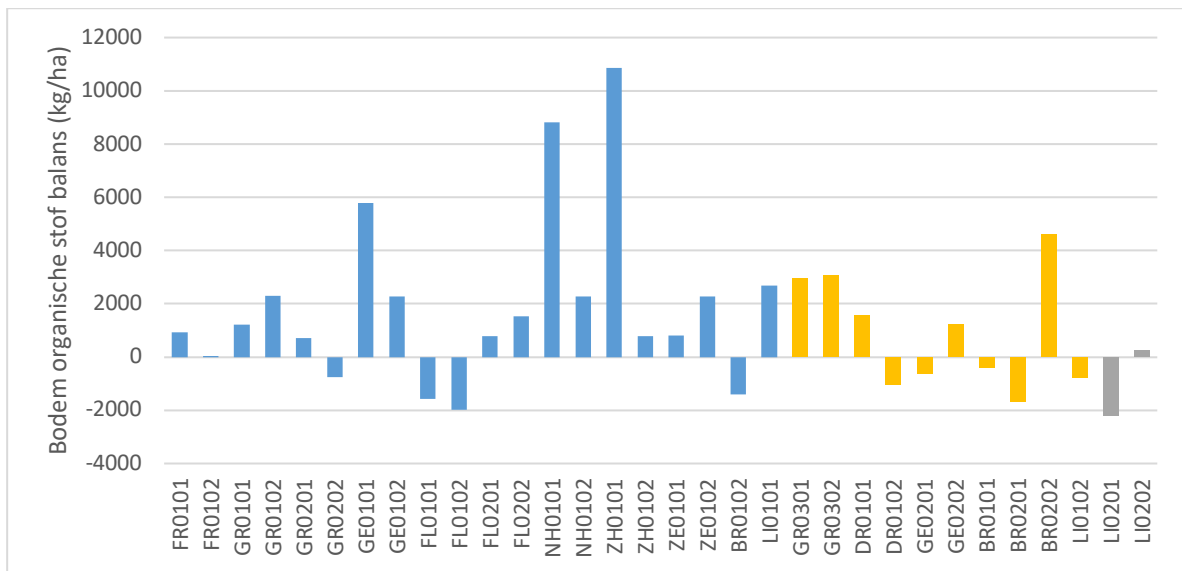


Figuur 3-16 Aanvoer EOS uit gewasrest, groenbemester en organische meststof van de 32 percelen over het teeltjaar 2019.

Gemiddeld genomen wordt er op bouwland in Nederland ruim 2000 kg EOS per hectare aangevoerd. In Figuur 3-16 wordt zichtbaar dat er op de meeste BNW-percelen in 2019 een bovengemiddelde hoeveelheid EOS werd aangevoerd. Gemiddeld genomen kwam 29% van de EOS uit gewasresten, 7% uit groenbemesters en 64% uit organische mest. Het gewas is erg bepalend voor de aanvoer. Dit bepaalt niet alleen hoeveel gewasresten achterblijven, maar ook of er organische mest kan worden aangevoerd en in hoeverre het mogelijk is om een groenbemester te telen. Uit de teelt van granen blijft meer dan 2000 kg EOS/ha uit gewasresten achter en is het in de meeste gevallen mogelijk een groenbemester te telen. Ter vergelijking, bij de teelt van aardappelen blijft 875 kg EOS/ha uit gewasresten achter en is de teelt van een groenbemester minder gebruikelijk. De percelen van GR01 laten zien dat de aanvoer van een vergelijkbare hoeveelheid EOS mogelijk is wanneer er relatief weinig resten van gewassen en groenbemesters achterblijven. De keuze van het mestsoort is daarvoor van belang.

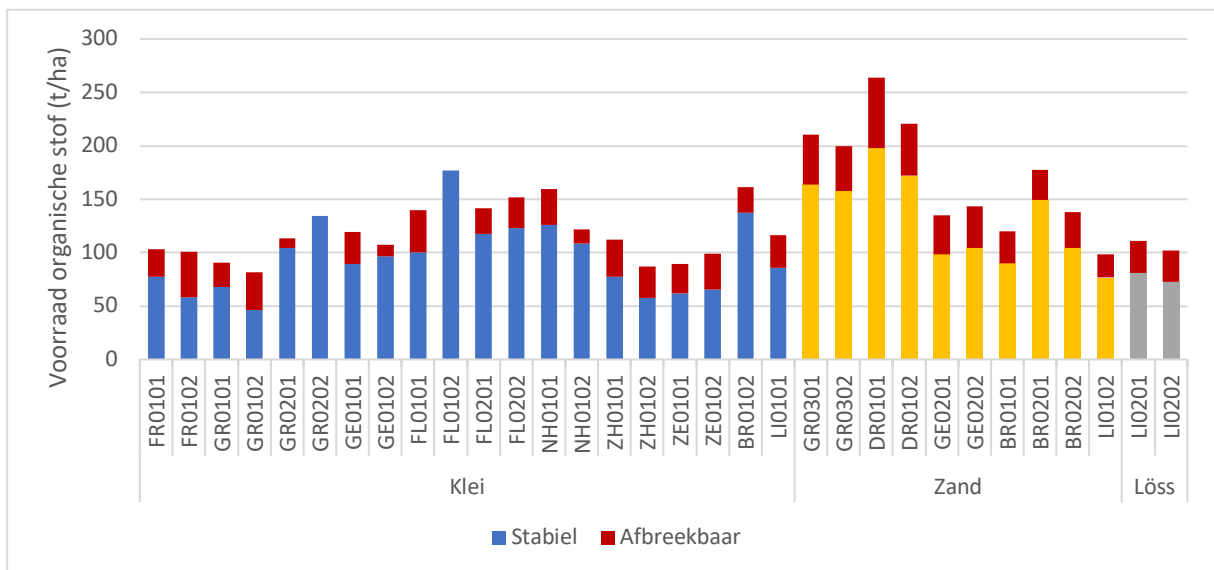
De (netto) OS-balans is verkregen door de afbraak in mindering te brengen op de aanvoer. In principe zal bij een overschot op de balans het bodemorganische stofgehalte stijgen en bij een tekort dalen. Uit de analyse van de gegevens over het eerste volledige jaar van het BNW bleek dat de meeste balansen positief zijn.

Gemiddeld genomen bedroeg in 2019 het overschot op de balans ruim 1400 kg OS/ha. Percelen met een positieve balans werden gekenmerkt door de teelt van granen (10/20) en de aanvoer van stabiele organische mestsoorten, zoals vaste schapen-, geiten-, rundveemest, champost of compost (15/20). Op percelen met een negatieve balans werd relatief vaak geen organische bemesting of drijfmest aangevoerd (10/12) en werd relatief vaak ui geteeld (4/12).



Figuur 3-17 Netto organische stofbalans op de BNW-percelen in 2019.

In het algemeen geldt dat het lange termijneffect op het organische stofgehalte in de bodem wordt bepaald door de balans op vruchtwisselingsniveau. Uit een analyse van de afgelopen 10 jaar bleek echter dat de cumulatieve balans slechts voor 15 percelen positief was, en negatief voor de overige 17 percelen. Dit onderschrijft de eerder gemaakte opmerking dat de resultaten van één jaar niet voldoende basis bieden voor gedegen onderzoek en/of het doorvoeren van strategische veranderingen in bedrijfsmanagement.



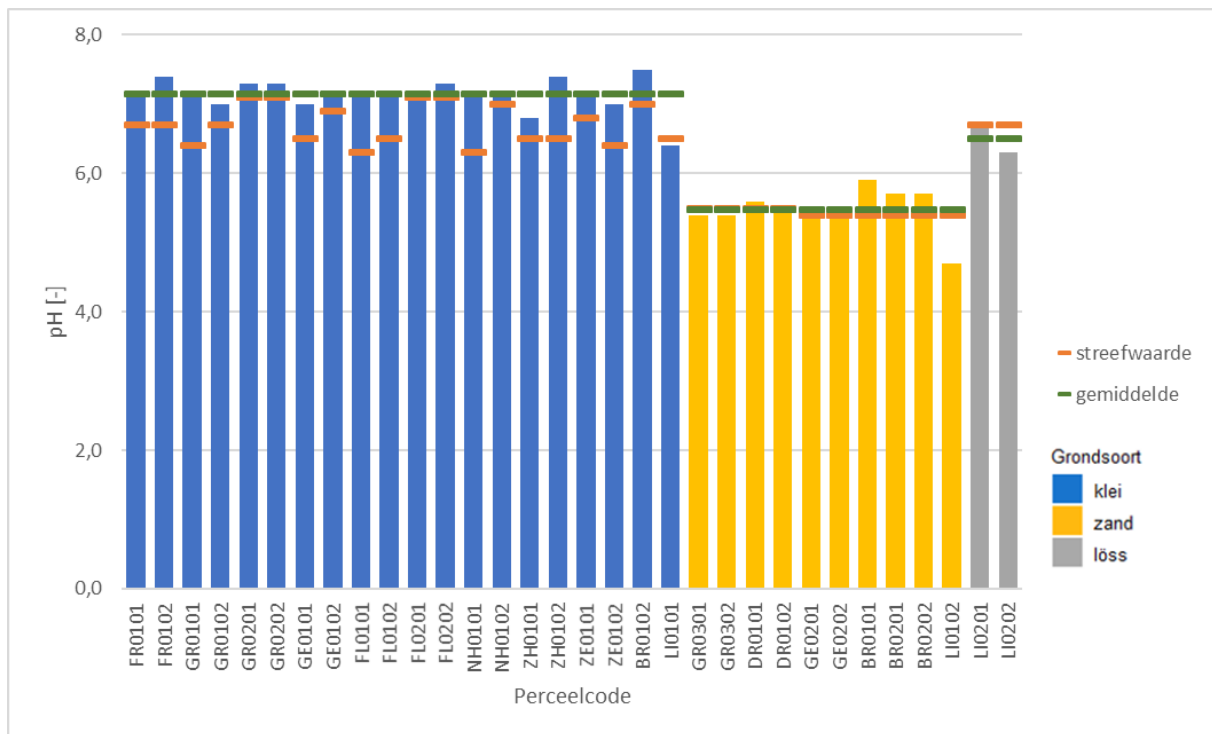
Figuur 3-18 Voorraad bodem organische stof in 2019 in de laag 0 tot 30cm; in rood het aandeel afbreekbare organische stof.

3.3 Bodemvruchtbaarheid

Uit de "Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland", BLN, versie 1.0 (Hanegraaf et al. 2019) zijn indicatoren gekozen die het best de chemische bodemkwaliteit beschrijft, zie Tabel 1-2.

3.3.1 pH

De zuurgraad wordt weergegeven als pH. De zuurgraad is van invloed op onder andere de beschikbaarheid van nutriënten in de bodem voor opname door een gewas. Daarnaast beïnvloedt de zuurgraad ook het bodemleven (o.a. activiteit), afbraak van organische stof en de structuur van de bodem. Wij meten de pH via de klassieke chemische extractiemethode (CaCl₂).



Figuur 3-19 pH (-) van alle percelen incl. gemiddelde per grondsoort en streefwaarde afhankelijk van bouwplan, %lutum en %organische stof op basis van het Handboek Bodem en Bemesting.

De pH is gemiddeld hoger op kleigrond dan op zandgrond. De gemiddelde waarde in lössgrond is vergelijkbaar met kleigrond. Op één perceel na zitten alle 20 kleipercelen gemiddeld een halve punt boven de perceelspecifieke streefwaarde. Op zandgrond is een grotere overeenkomst met de streefwaarde. Ook hier is er één perceel wat onder de streefwaarde zit. Beide percelen onder de streefwaarde zijn van hetzelfde bedrijf, LI01. Van beide lösspercelen scoort de eerste gelijk aan de streefwaarde en de tweede een halve punt onder de streefwaarde. Voor de pH zijn meerdere bronnen voor referentiewaarden, zie Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Referentiewaarden pH

Indicator	Meetmethode	Referentiewaarden		Bron
		Akkerbouw op klei	Akkerbouw op zand	
Zuurgraad	Extractie in CaCl ₂	7,3-7,7	4,6-5,6	Rutgers et al., 2007
		>6,7	n.b.	Eurofins
		Afh. Os en lutum	Afh. Os, lutum en bouwplan	Handboek Bodem en Bemesting

Wij gaan uit van de streefwaarde zoals beschreven in het Handboek Bodem en Bemesting, zijnde het wetenschappelijk onderbouwde algemene advies voor de akkerbouw in Nederland. Deze streefwaarde voor de pH is afhankelijk van het organische stof- en het lutumgehalte en voor zandgrond ook van het bouwplan, zie Tabel 3-3.

Tabel 3-3 pH, organische stof, lutum, waardering en streefwaarde per perceel voor alle bedrijven.

Perceel	Grondsoort	pH	Os%	Lutum%	pH	pH
		Klassiek	Alternatief	Alternatief	Waardering	Streefwaarde
FR0101	Klei	7,1	2,2	18	goed	6,7
FR0102	Klei	7,4	2,1	21	goed	6,7
GR0101	Klei	7,2	2,1	8	goed	6,4
GR0102	Klei	7,0	1,7	16	goed	6,7
GR0201	Klei	7,3	3,4	44	goed	7,1
GR0202	Klei	7,3	3,7	50	goed	7,1
GE0101	Klei	7,0	2,6	15	goed	6,5
GE0102	Klei	7,1	2,3	27	goed	6,9
FL0101	Klei	7,2	3,0	13	goed	6,3
FL0102	Klei	7,1	4,4	18	goed	6,5
FL0201	Klei	7,1	3,4	35	goed	7,1
FL0202	Klei	7,3	3,8	36	goed	7,1
NH0101	Klei	7,2	3,3	17	goed	6,3
NH0102	Klei	7,2	3,2	30	goed	7
ZH0101	Klei	6,8	2,6	14	goed	6,5
ZH0102	Klei	7,4	2,0	16	goed	6,5
ZE0101	Klei	7,2	1,9	19	goed	6,8
ZE0102	Klei	7,0	2,1	8	goed	6,4
BR0102	Klei	7,5	3,9	31	goed	7
LI0101	Klei	6,4	2,5	17	vrij laag	6,5
GR0301	Zand	5,4	4,8	2	vrij laag	5,5
GR0302	Zand	5,4	4,5	2	vrij laag	5,5
DR0101	Zand	5,6	7,1	1	goed	5,5
DR0102	Zand	5,5	5,0	2	goed	5,5
GE0201	Zand	5,5	3,0	2	goed	5,4
GE0202	Zand	5,4	3,0	2	goed	5,4
BR0101	Zand	5,9	2,7	3	hoog	5,4
BR0201	Zand	5,7	4,0	1	goed	5,4
BR0202	Zand	5,7	3,0	1	goed	5,4
LI0102	Zand	4,7	2,1	2	vrij laag	5,4
LI0201	Löss	6,7	2,5	13	goed	6,7
LI0202	Löss	6,3	2,3	16	vrij laag	6,7

3.3.2 N-totaal

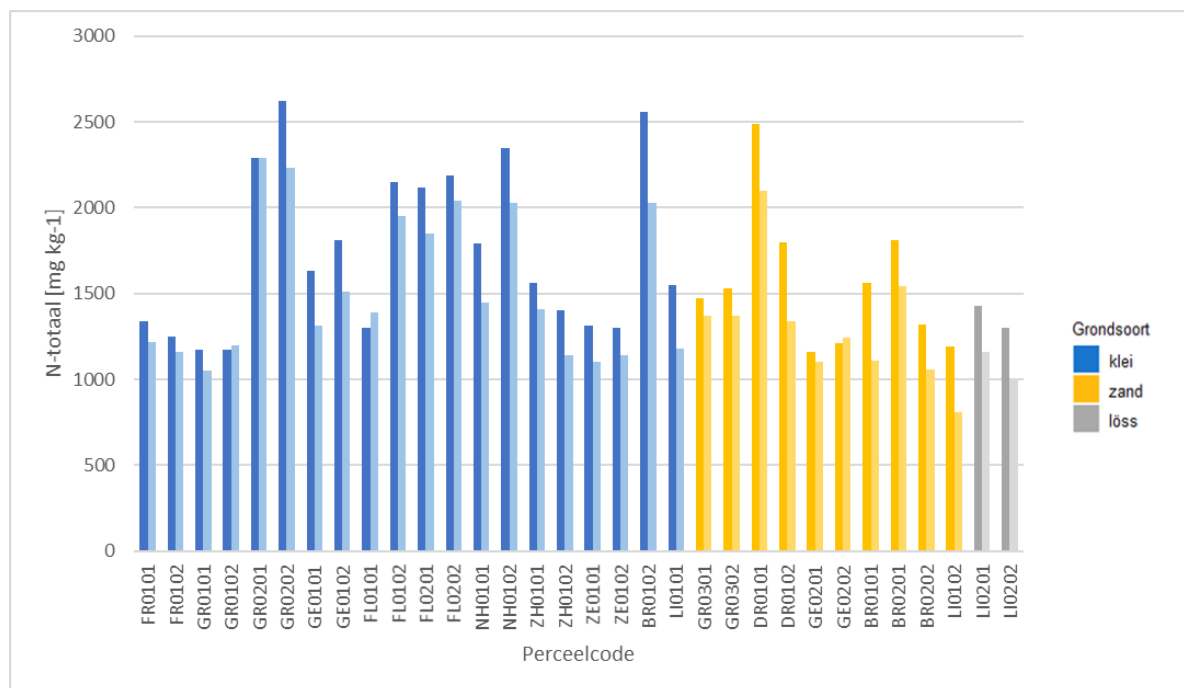
Stikstof (N) is één van de essentiële nutriënten voor plantengroei en -ontwikkeling. N-totaal bestaat uit stikstof wat voor het grootste deel (ca. 99%) in organisch materiaal aanwezig is en daarmee niet direct beschikbaar is voor opname door een gewas. Het kan vrijkomen door mineralisatie, daarbij ontstaat voor de plant opneembaar ammonium en nitraat. De totale hoeveelheid stikstof wordt gebruikt om het C/N-quotiënt te berekenen. Percelen met een hoog C/N-quotiënt, een hoge N-voorraad en een laag N-leverend vermogen hebben een lage N-beschikbaarheid. Wij meten N-totaal via een chemische extractiemethode (klassiek) en NIRS (alternatief). De klassieke bepaling van de N-totaal is de Hassink-methode (Hassink, 1995). De NIRS-methode, Near Infrared Spectroscopy, is een indirecte meetmethode waarbij reflectogrammen van infrarood licht worden gerelateerd aan de N-totaal in vergelijking met de klassieke meting.

Er is gemiddeld weinig verschil tussen de N-totaal op kleigrond en de N-totaal op zandgrond (zie Figuur 3-20). Bij zowel de klassieke als de alternatieve bepaling is de N-totaal op zandgrond 200 g/kg lager dan die op kleigrond. Het gemiddelde van de beide lösspercelen ligt bij beide bepalingen weer zo'n 200 g/kg lager dan op de zandpercelen.

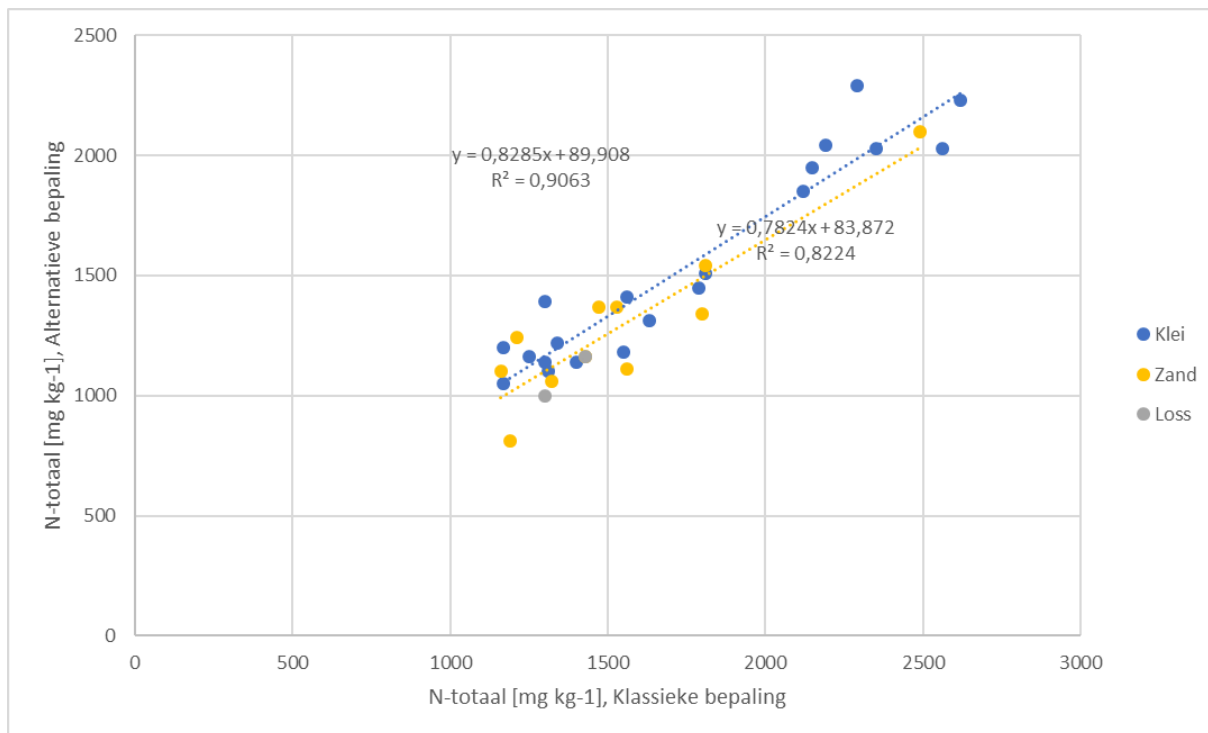
Op 28 van de 32 percelen ligt is het resultaat van de klassieke bepaling hoger dan het resultaat van de alternatieve bepaling van de N-totaal. Van die vier uitzonderingspercelen ligt er één op zandgrond en drie op de klei.

Op kleigrond is de verklaarde variantie tussen de beide methoden van bepaling van de N-totaal iets groter dan op zandgrond, maar beide zijn met een R^2 van 0,9063 resp. 0,8224 zeer sterk (zie Figuur 3-21). Voor de twee lösspercelen zijn te weinig resultaten om een conclusie te trekken, maar ze lijken in dezelfde lijn te liggen als de beide andere grondsoorten.

Er is geen vergelijk met streefwaarden of referentiewaarden beschikbaar. De referentiewaarden in de BLN zijn van Eurofins in kg/ha waarbij de wijze van omrekening niet bekend is.



Figuur 3-20 N-totaal (mg kg^{-1}) van alle percelen; de klassieke bepaling (donkere kleur blauw, geel en grijs) naast de alternatieve bepaling (lichte kleur blauw, geel en grijs).



Figuur 3-21 N-totaal (mg kg^{-1}) van alle percelen; de klassieke bepaling uitgezet tegen de alternatieve bepaling.

3.3.3 Fosfaatstatus

Fosfor is ook één van de essentiële nutriënten voor plantengroei en -ontwikkeling. Bij bemestingsadviezen voor het bepalen van de fosfaatgift wordt rekening gehouden met de fosfaattoestand (fosfaatstatus) in de bouwvoor van de bodem en de gewasbehoefte. Er bestaan verschillende chemische extractiemethoden om de fosfaattoestand van een bodem te karakteriseren. Wij gebruiken de klassieke methode met een extractie in water (Pw) en vergelijken dit met de methode waarin onderscheid wordt gemaakt tussen de voor de plant beschikbare fosfaat (P-PAE) en de fosfaat bodemvoorraad (P-AL).

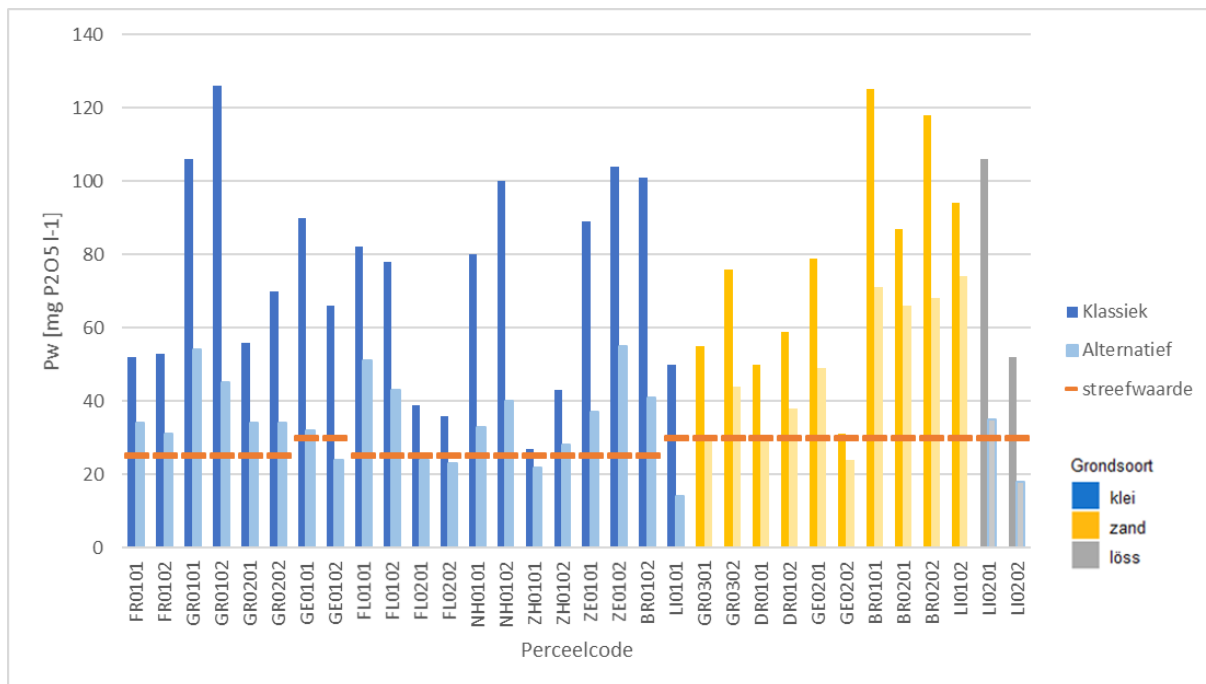
Hoogstwaarschijnlijk is er bij de analyse van de klassieke Pw een fout gemaakt, deze hoge uitslagen zijn zeer ongewoon en stroken totaal niet met bekende Pw-waarden van de percelen uit het verleden. De gehanteerde streefwaarde van 25 mg P₂O₅ l-1 voor klei en 30 mg P₂O₅ l-1 voor zand is afkomstig uit het Handboek Bodem en Bemesting.

Waardering fosfaatstatus nu en in de toekomst

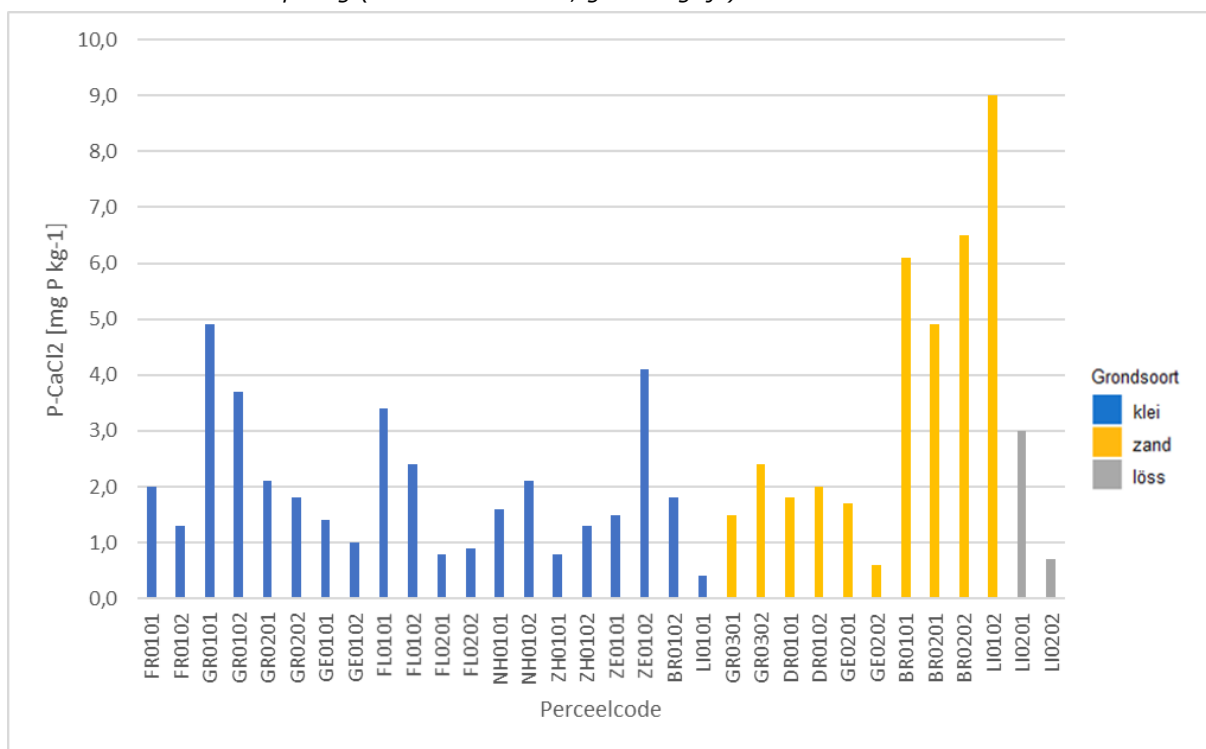
Tot en met 2021 blijven het P-AL-getal (grasland) en het Pw-getal (bouwland) van toepassing voor het bepalen van de fosfaattoestand van de grond. Het voorstel is om per 1 januari 2022 een gecombineerde indicator in te voeren om de fosfaattoestand van zowel grasland als bouwland te bepalen. Dit wordt een combinatie van:

- Het P-Al-getal. Een 'capaciteitsindicator' die een beeld geeft van de totale hoeveelheid fosfaat in de bodem. De P-Al wordt d.m.v. extractie in ammoniumlactaatazijnzuur bepaald.
- Het P-CaCl₂ -getal. Een 'intensiteitsindicator' die een indicatie geeft van de beschikbare hoeveelheid fosfaat in de bodem. Dit wordt ook wel het P-PAE-getal genoemd. Deze meetmethode is een extractie in CaCl₂.

Ook de bemestingsadviezen van de CBAV in het Handboek Bodem en Bemesting zijn onlangs uitgebreid met een advies op basis van P-Al en P-CaCl₂. De verwachting is dat de Pw als indicator niet meer gebruikt wordt.



Figuur 3-23 Pw (mg P₂O₅ l⁻¹) van alle percelen; de klassieke bepaling (donkere kleur blauw, geel en grijs) naast de alternatieve bepaling (lichte kleur blauw, geel en grijs).



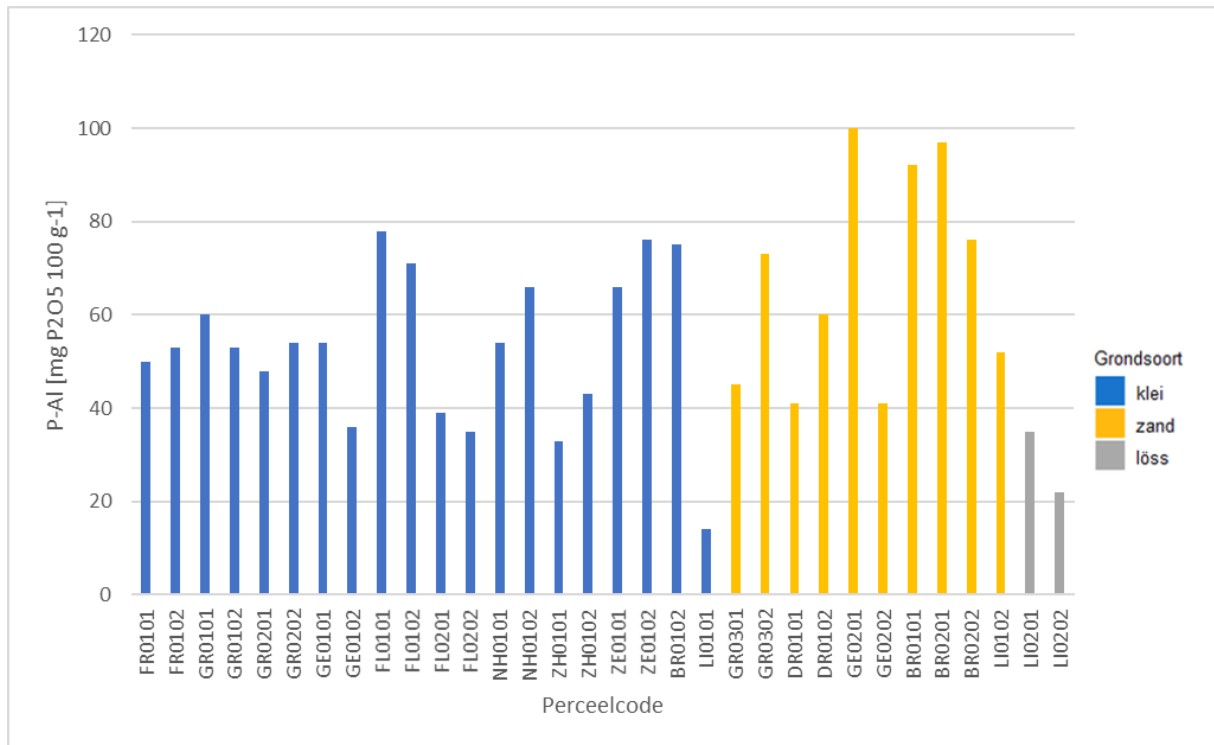
Figuur 3-22 De P-CaCl₂ (mg P kg⁻¹) van alle percelen

De gemiddelde P-Al op zand (68) is hoger dan die van de kleiperdelen (53), het gemiddelde van de twee lössperdelen (29) is het laagst. Bedrijf LI01 en LI02 hebben de laagste waarden (zie Figuur 3-24).

Voor de P-Al kennen we een referentietraject van 31 tot 62 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ voor akkerbouw op klei en 34 tot 75 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ voor akkerbouw op zand uit Rutgers et al. (2007).

De gemiddelde P-CaCl₂ op zand (3,7) ligt hoger dan die op de klei (2,0) en lössperdelen (1,9). Wat opvalt is het verschil tussen de bedrijven op het Noordelijke zand versus het Zuidelijk zand, waar de

waarden bijna 4x zo hoog zijn (zie Figuur 3-24). Bedrijf LI01 heeft zowel de laagste als de hoogste waarde.



Figuur 3-24 De P-AI (mg P₂O₅ 100 g⁻¹) van alle percelen.

De fosfaattoestand wordt volgens de combinatie van de indicatoren P-AI en P-CaCl₂ gekarakteriseerd, zie Tabel 3-4 (bron: RVO).

Tabel 3-4 Fosfaattoestand en fosfaatgebruiksnormen bouwland

Indeling klassen P-Ca-Cl ₂ -getal (mg P/kg)	Fosfaattoestand en fosfaatnormen ¹ (kg P ₂ O ₅ /ha) bouwland				
	Indeling klassen P-AL-getal (mg P ₂ O ₅ /100 g)				
	<21	21 t/m 30	31 t/m 45	46 t/m 55	>55
<0,8	arm (120)	arm (120)	arm (120)	laag (80)	laag (80)
0,8 t/m 1,4	arm (120)	arm (120)	arm (120)	laag (80)	neutraal (70)
1,5 t/m 2,4	arm (120)	arm (120)	laag (80)	neutraal (70)	ruim (60)
2,5 t/m 3,4	arm (120)	laag (80)	neutraal (70)	ruim (60)	hoog (40)
>3,4	laag (80)	laag (80)	neutraal (70)	ruim (60)	hoog (40)

Deze gecombineerde fosfaatindicator vervangt per 1 januari 2022 de P-AI voor grasland en de Pw voor bouwland. In het vak waar de gemeten P-CaCl₂ en de P-AI elkaar kruisen staat de fosfaattoestand van het perceel.

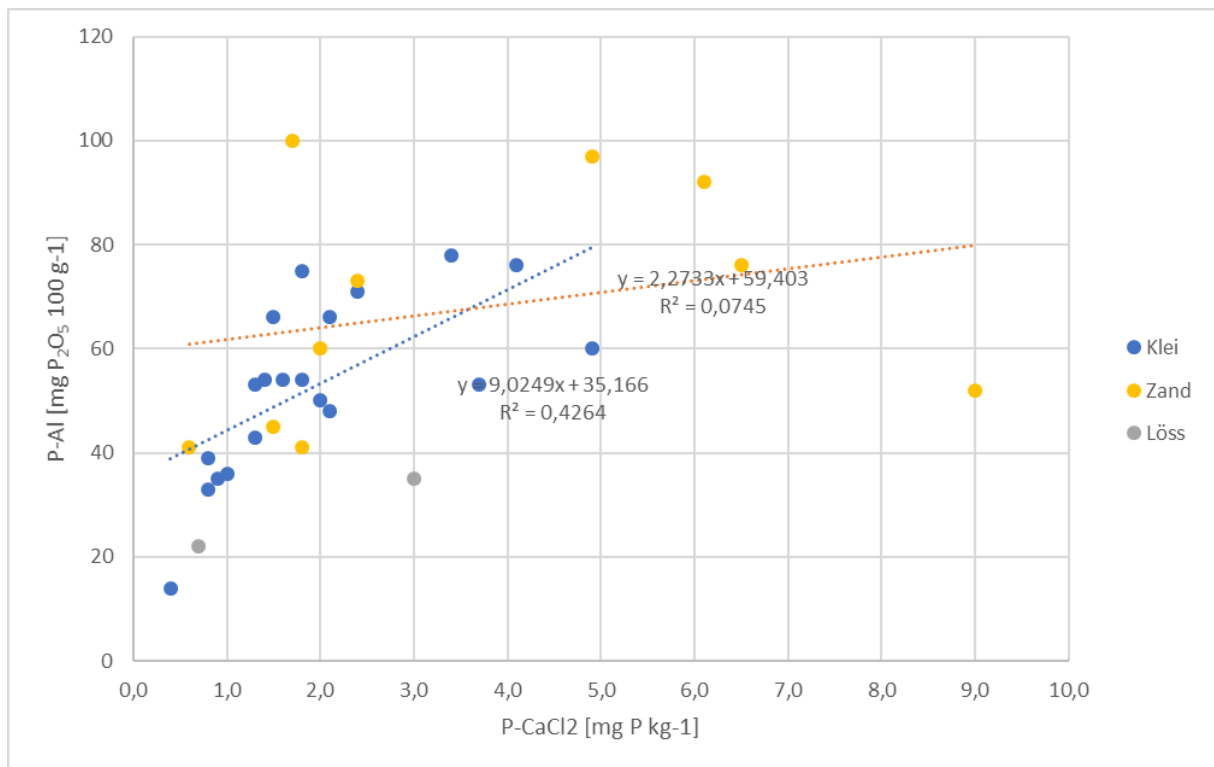
Tabel 3-5 Fosfaattoestand alle percelen

Indeling klassen P-CaCl ₂ -getal (mg P/kg)	Fosfaattoestand en fosfaatnormen (kg P ₂ O ₅ /ha) bouwland				
	Indeling klassen P-AL-getal (mg P ₂ O ₅ /100 g)				
	<21	21 t/m 30	31 t/m 45	46 t/m 55	>55
<0,8	LI0101	LI0202	GE0202		
0,8 t/m 1,4			GE0102 FL0201 FL0202 ZH0101 ZH0102	FR0102 GE0101	
1,5 t/m 2,4			GR0301 DR0101	FR0101 GR0201 GR0202 NH0101	FL0102 NH0102 ZE0101 BR0102 GR0302 DR0102 GE0201
2,5 t/m 3,4			LI0201		FL0101
>3,4				GR0102 LI0102	GR0101 ZE0102 BR0101 BR0201 BR0202

	arm	Klei
	laag	Zand
	neutraal	Löss
	ruim	
	hoog	

De meerderheid van de percelen zit in de rechterhelft van de tabel, wat duidt op een hogere P-Al = capaciteit. Deze wordt gecombineerd met zowel een lage P-CaCl₂ in de klasse van 0,8 t/m 1,4 mg P/kg tot een hoge P-CaCl₂ in de klasse >3,4 mg P/kg. Dat wil zeggen dat het aanwezige fosfaat niet altijd even goed beschikbaar is. De kleipercelen komen voor in alle P-CaCl₂ klassen, de zandpercelen zitten voornamelijk in de hogere klassen.

Het verband tussen de P-Al en de P-CaCl₂ is weergegeven in Figuur 3-25. Het verband tussen de P-Al en de P-CaCl₂ op kleigrond is met een R² van 0,4264 matig, op zandgrond is het zeer zwak (R² = 0,0745). Voor de beide lösspercelen is er niet voldoende informatie om een conclusie te kunnen trekken. Dit geeft aan dat de twee indicatoren elkaar aanvullen.



Figuur 3-25 P-Al ($\text{mg P}_2\text{O}_5 100\text{g}^{-1}$) versus P-CaCl₂ (mg P kg^{-1})

3.3.4 Kalistatus

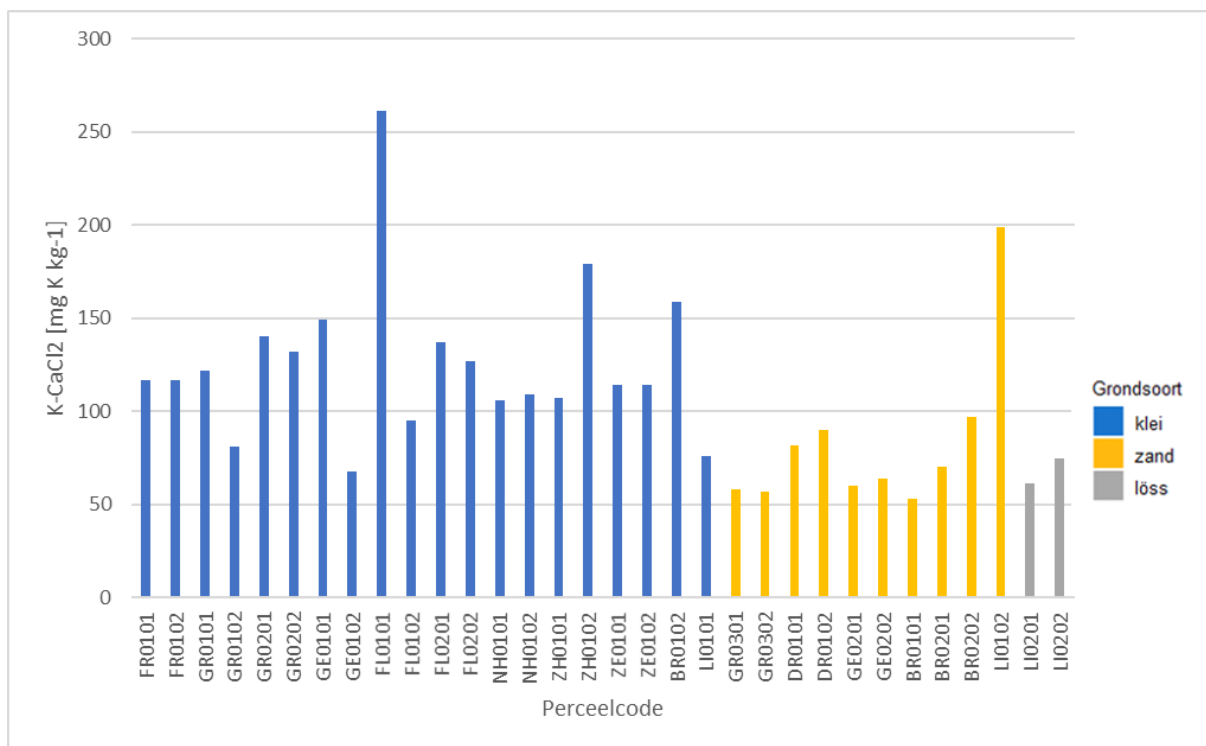
Kalium is, net zoals fosfor en stikstof, één van de essentiële nutriënten voor plantengroei en –ontwikkeling. Er bestaan verschillende chemische extractiemethoden om de kaliumtoestand van de bodem te bepalen. De klassieke methode waarbij de K voorraad gemeten wordt na extractie met HCl en vervolgens het K-getal berekend wordt volgens de rekenregels uit het Handboek en Bemesting wordt niet meer toegepast.

Eurofins berekent het kalibemestingsadvies tegenwoordig op basis van K-CaCl₂ en K-CEC. K-CaCl₂ geeft de direct voor het gewas beschikbare voorraad kali in de bodem aan uit een extractiemethode in CaCl₂ en K-CEC de hoeveelheid kali die aan het adsorptiecomplex zit. De bijbehorende waardering en/of streefwaarden worden in 2021 met de CBAV besproken en opgenomen in het Handboek Bodem en Bemesting.

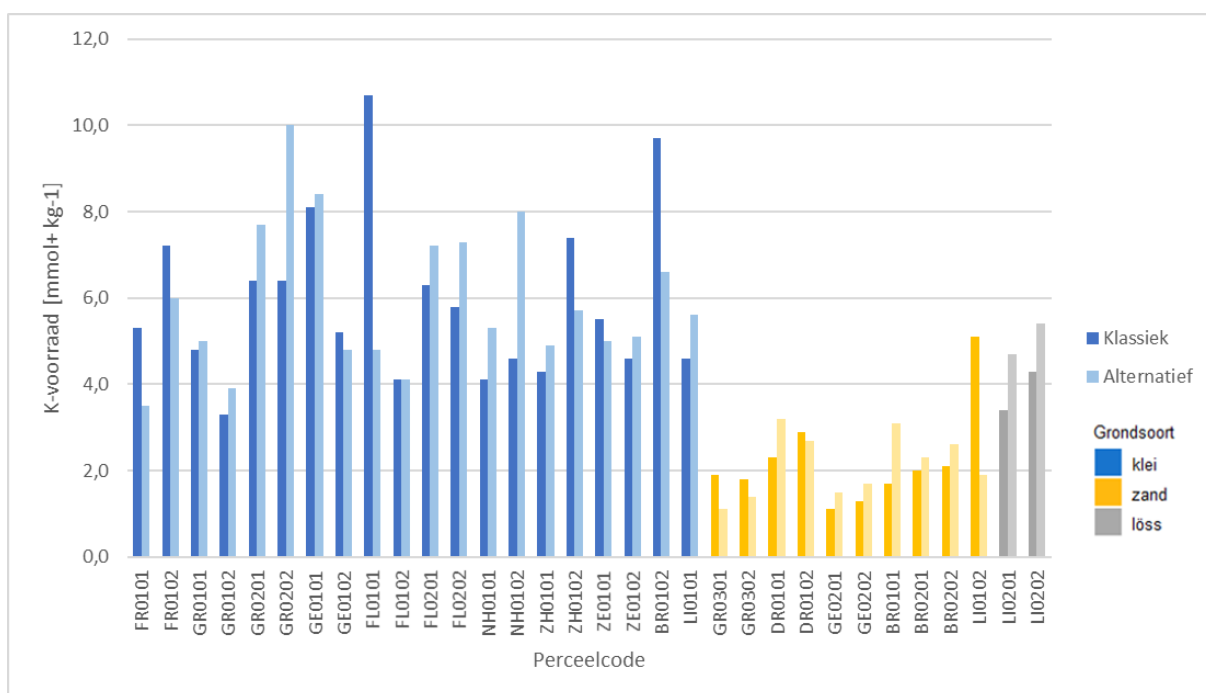
De K-CaCl₂ is een maat voor de kali beschikbaarheid. Op de kleipercelen ligt deze gemiddeld hoger dan op de zand- en lösspercelen (zie Figuur 3-26).

De klassieke bepaling is extractie in cobalt hexamine trichloride (ISO 23470, 2018; NEN 6966, 2005), de alternatieve bepaling is een NIRS-bepaling. De correlatie tussen de klassieke bepaling van de K-voorraad en de alternatieve bepaling is zeer zwak (Figuur 3-28).

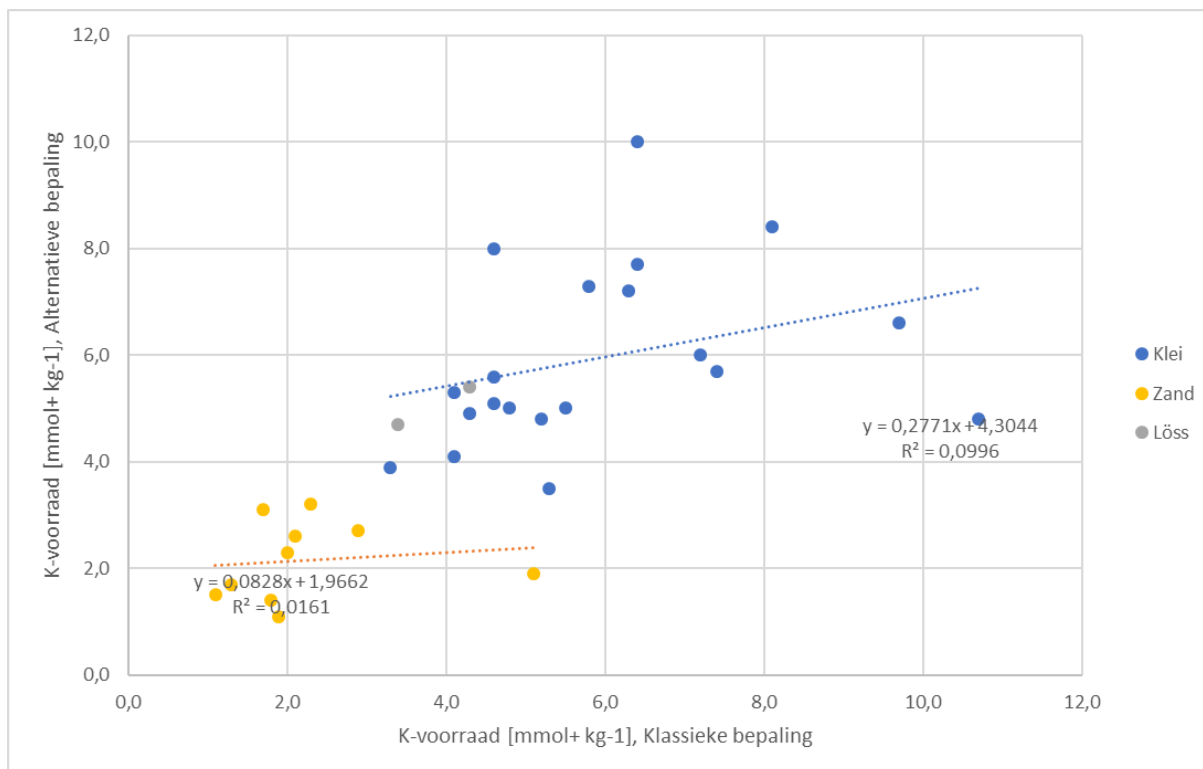
Er is geen vergelijk met streefwaarden of referentiewaarden beschikbaar. De referentiewaarden in de BLN zijn van Eurofins in kg/ha waarbij de wijze van omrekening niet bekend is.



Figuur 3-26 De K-CaCl₂ (mg K kg⁻¹) van alle percelen.



Figuur 3-27 De K-voorraad (mmol+ kg⁻¹) van alle percelen; de klassieke bepaling (donkere kleur blauw, geel en grijs) naast de alternatieve bepaling (lichte kleur blauw, geel en grijs).



Figuur 3-28 K-voorraad (mmol+ kg^{-1}) van alle percelen; de klassieke bepaling uitgezet tegen de alternatieve bepaling.

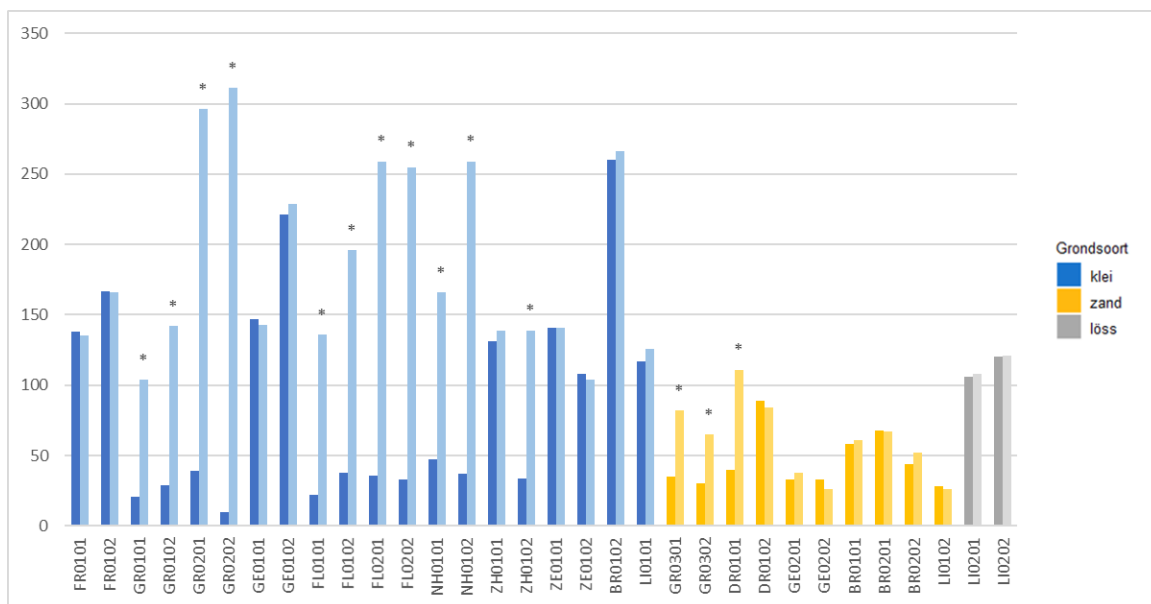
3.3.5 CEC

Daarnaast is de kationenuitwisselingscapaciteit, de CEC (Cation Exchange Capacity) een belangrijke factor. Dit is de capaciteit van de bodem om positief geladen ionen uit te wisselen met de bodemoplossing. Kleimineralen en organische stof hebben een negatief geladen oppervlak dat positief geladen ionen (als Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ en Al^{3+}) aantrekt. Een bodem met een hoge CEC kan meer kationen aantrekken en heeft zo een potentieel hogere vruchtbaarheid dan een bodem met een lage CEC. In zandgronden wordt de CEC vrijwel volledig bepaald door de aanwezige organische stof.

In van den Elsen et al. (2019) staat dat de CEC niet alleen duur is, maar voor CEC bestaat ook geen eenduidige indeling in 'goed' of 'slecht' in relatie tot bijvoorbeeld gewasproductie. Zowel in gronden met een lage CEC dan wel hoge CEC kan een gewas optimaal geteeld worden. Daarom is de CEC in de indicatorenset van van den Elsen niet gekozen.

In Haan et al. (2019), is de CEC wel opgenomen in minimale dataset, maar met de kanttekening dat de stuurbaarheid op deze indicator gering is, omdat de CEC afhangt van het organisch stofgehalte en het lutumgehalte in de bodem.

De CEC is geanalyseerd voor de 32 percelen van de 16 bedrijven, zowel volgens de klassieke als de alternatieve methode. In ongeveer de helft van de gevallen komen de uitslagen van beide methoden overeen, in de andere helft van de gevallen ligt de uitslag van de alternatieve methode twee tot zeven keer hoger dan de klassieke methode. Omdat de spreiding in de uitslagen bij de klassieke methode veel groter is, lijkt het erop dat in de klassieke metingen fouten zijn gemaakt gezien de relatief lage waarden ten opzichte van wat verwacht wordt voor de verschillende grondsoorten. De alternatieve methode is een NIRS-methode waarbij een relatie wordt gehanteerd die men heeft gevonden tussen de klassieke bepaling en de NIRS-meting. Deze waarden komen meer overeen met wat verwacht wordt voor de verschillende grondsoorten.



Figuur 3-29 De CEC (mmol+ kg⁻¹) van alle percelen; de klassieke bepaling (donkere kleur blauw, geel en grijs) naast de alternatieve bepaling (lichte kleur blauw, geel en grijs). Met een * zijn de foute klassieke metingen aangegeven.

In figuur 3-29 zijn alle percelen opgenomen, in figuur 3-30 zijn alleen de percelen opgenomen waarvan de uitslagen van de klassieke bepaling en de alternatieve bepaling overeenkomen. Dus percelen waarbij de klassieke meting fout is gegaan zijn weggelaten. De CEC op klei ligt hoger dan op zandgrond. De waarde in lössgrond is vergelijkbaar met kleigrond. Op klei zitten twee ruim hoger dan het gemiddelde van 159 mmol+ kg⁻¹. Het verband tussen de klassieke en de alternatieve bepaling van de CEC is weergegeven in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** Met een R² boven de 0,9 is de verklaarde variantie zowel op kleigrond als op zandgrond zeer sterk. De twee lösspercelen liggen recht in lijn met de kleipercelen.

3.3.6 Discussie en conclusie

De chemische bodemvruchtbaarheid van de bodem wordt bepaald door de aanwezige minerale voedingsstoffen. Op dit moment is pH, N, P en K opgenomen in de BLN.

De zuurgraad (pH) van de bodem is belangrijk omdat deze de beschikbaarheid van de mineralen beïnvloedt. Veel gewassen kennen een optimale pH. Daarom is de pH opgenomen in de BLN. De pH van vrijwel alle percelen ligt heel dicht rond de streefwaarde, slechts één bedrijf op zandgrond zou op basis van figuur 1 gebaat zijn bij een iets hogere pH, tenzij er gewassen in de vruchtwisseling voorkomen waar deze iets lagere pH optimaal voor is.

De verklaarde variantie tussen de beide meetmethoden voor de N-totaal is zeer sterk, wat betekent dat de duurdere, klassieke, bepaling wellicht achterwege gelaten kan worden. De N-totaal op kleigrond is iets hoger dan op zand- en lössgrond.

De analyse van de klassieke P_w is onbruikbaar door een onverklaarde fout. Volgens de combinatie van de indicatoren P-Al en P-CaCl₂ is de fosfaattoestand van de meeste zandpercelen ruim tot hoog, op 2 arme percelen na. De fosfaattoestand van de kleipercelen varieert van arm tot hoog kriskras door de verdeling over Nederland heen.

Een uitspraak over de kalitoestand van de percelen is lastig omdat K-getal niet bepaald is en er geen referentie- en streefwaardes voor K-CaCl₂ en K-bodemvoorraad beschikbaar zijn.

Van nature hebben kleigronden een hogere chemische bodemvruchtbaarheid dan zandgronden. Zandgronden zijn voor het leveren van voedingsstoffen sterk afhankelijk van de organische stof.

Organische stof als indicator is al opgenomen in de BLN en van zo'n groot belang dat deze een eigen paragraaf heeft.

3.4 Bodemstructuur en -water

3.4.1 Visuele profielkuilbeoordeling

In Tabel 3-6 wordt de visuele beoordeling van de percelen weergegeven. Uit de tabel blijkt direct het grote verschil tussen de structuur in de bovengrond (tot 25 cm) en ondergrond (25-50 cm). De structuur in de bovengrond is op 23 percelen goed en op de 9 percelen matig. De structuur in de ondergrond is slechts bij 10 percelen goed, bij 14 matig en bij 8 percelen is de structuur in de ondergrond slecht en is er noodzaak tot verbetering. Een slechte structuur in de ondergrond uit zich niet in alle gevallen in een verdichte laag. In sommige gevallen is er vooral sprake van een scherpe blokkige structuur, maar waar beworteling via de kleine scheurvlakjes nog wel doorheen komt. Op twee percelen is sprake van een ploegzool van enkele centimeters op ca. 30 cm diepte. Op het gebied van bodemleven is op 4 percelen geen of weinig tekenen van bodemleven te zien. Daarentegen scoren 22 percelen goed op zichtbare activiteiten van het bodemleven. Op percelen waar een matige beworteling wordt waargenomen, is ook een matige tot slechte structuur waargenomen. Van de 32 percelen scoren slechts 2 percelen matig tot slecht op alle 4 parameters.

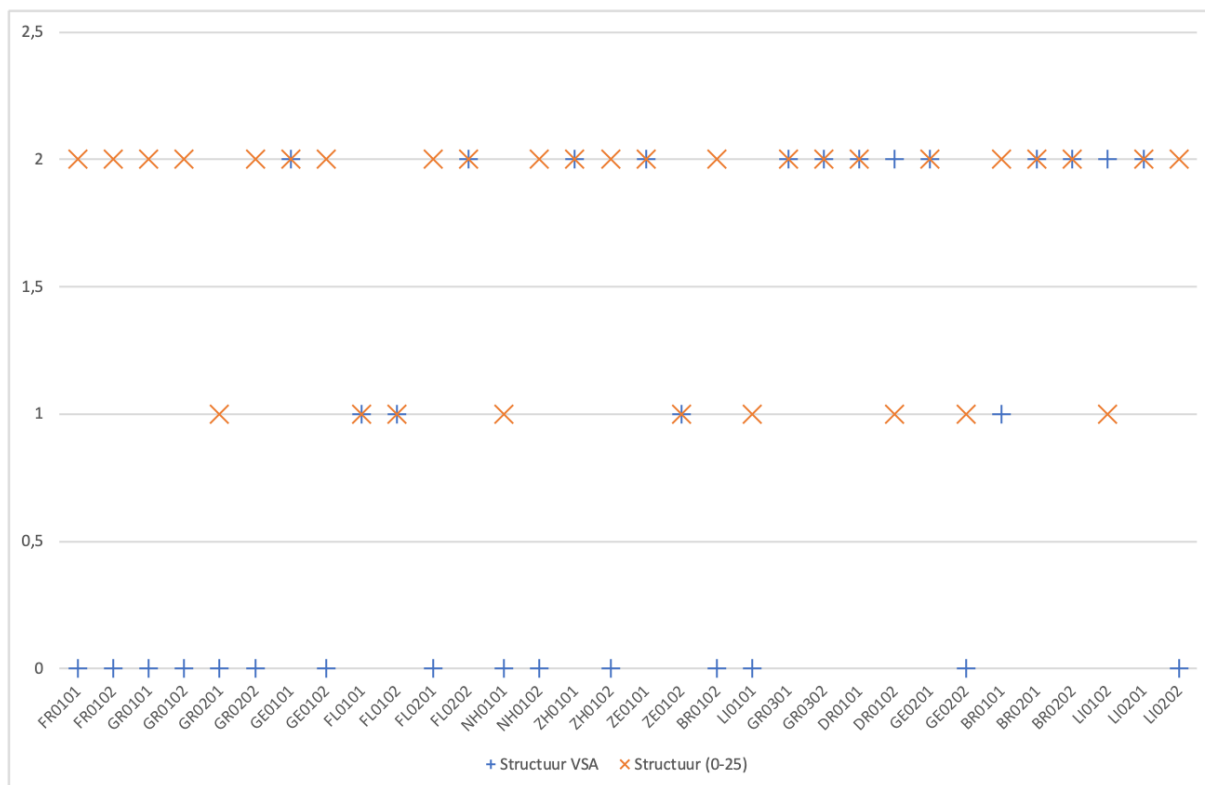
Tabel 3-6 Visuele beoordeling van de percelen. Op basis van de visuele waarneming zijn de percelen per indicator ingedeeld in 3 categorieën: een 7 of hoger is groen, een 5 tot 6,5 is oranje en een 4,5 of lager is rood.

Grondsoort	Perceelcode	Structuur (0-25)	Structuur (25-50)	Bodemleven (0-25)	Beworteling
Klei	FR0101	Green	Green	Green	Green
	FR0102	Green	Red	Green	Green
	GR0101	Green	Orange	Green	Green
	GR0102	Green	Red	Green	Green
	GR0201	Orange	Orange	Orange	Green
	GR0202	Green	Green	Green	White
	GE0101	Green	Green	Green	Green
	GE0102	Green	Orange	Green	Green
	FL0101	Orange	Green	Green	Orange
	FL0102	Orange	Green	Green	Green
	FL0201	Green	Orange	Orange	Green
	FL0202	Green	Red	Green	White
	NH0101	Orange	Orange	Orange	Green
	NH0102	Green	Red	Green	Orange
	ZH0101	Green	Green	Green	Green
	ZH0102	Green	Orange	Green	White
	ZE0101	Green	Red	Green	Orange
	ZE0102	Orange	Orange	Orange	White
	BR0102	Green	Red	Green	White
	LI0101	Orange	Orange	Green	Green
Zand	GR0301	Green	Green	Orange	Green
	GR0302	Green	Green	Green	Green
	DR0101	Green	Green	Green	Green
	DR0102	Orange	Red	Red	Orange
	GE0201	Green	Red	Red	Green
	GE0202	Orange	Orange	Green	Green
	BR0101	Green	Orange	Green	White
	BR0201	Green	Green	Orange	Green
	BR0202	Green	Green	Red	Green
	LI0102	Orange	Orange	Red	Orange

Loss	LI0201				
	LI0202				

3.4.1.1 Structuurbeoordeling VSA

Ter vergelijking wordt in Figuur 3-30 de structuurbeoordeling volgens de VSA-methodiek en de visuele structuurbeoordeling 0-25cm volgens de 'Zicht op de Bodemstructuur'-methodiek weergegeven. De relatie tussen de twee methoden is zeer zwak. Vocht (vooral bij klei zeer bepalend) en wortels zijn van invloed op de mate waarin de kluit uit elkaar valt. Dit maakt de VSA-methodiek voor structuurbeoordeling lastig toepasbaar onder Nederlandse omstandigheden.



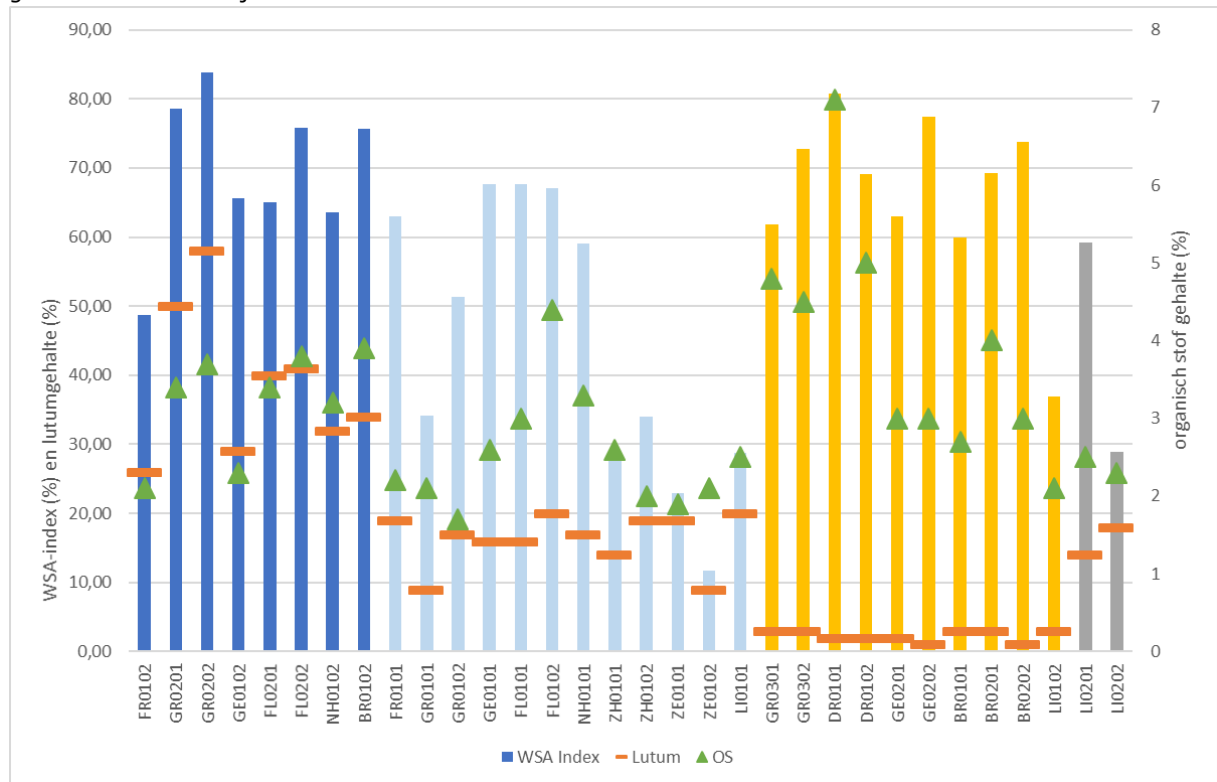
Figuur 3-29 De VSA-structuurbeoordeling en de visuele structuurbeoordeling van 0-25cm per perceel. De visuele beoordeling weergegeven in Tabel 3-6 is hierin uitgedrukt in 2 (groen), 1 (oranje) en 0 (rood).

3.4.2 Aggregaatstabiliteit

De stabiliteit van bodemaggregaten is een maat voor de weerstand van de bodem tegen structuurafbrekende invloeden zoals neerslag, watererosie en grondbewerking. De WSA-index geeft aan welk deel van de aggregaten onder invloed van water en een oplosmiddel stabiel blijft. Een hogere index is in principe beter. In Figuur 3-31 wordt de aggregaatstabiliteit, uitgedrukt in de WSA-index, weergegeven voor de 32 percelen. Grond met een laag percentage lutum en hoog percentage silt (zavel en löss) heeft over het algemeen een lagere structurele aggregaatstabiliteit. Dit beeld zien we duidelijk terug in Figuur 3-31. Beworteling en activiteit van bodemleven kunnen op zavelgronden vooral de stabiliteit bevorderen. Bij zandgronden is de aard en de hoeveelheid organische stof de belangrijkste factor voor stabiele aggregaten.

Streefwaardes voor aggregaatstabiliteit zijn niet bekend uit de literatuur. Een hoge aggregaatstabiliteit door hoge lutumgehaltenes kan samengaan met een moeilijke bewerkbaarheid. Dit is echter zeer afhankelijk van het organische stof- en vochtgehalte. Kleigronden kennen een kleiner bewerkbaarheidstraject. Is het te nat, dan treedt snel versmering op (structuurbederf door bewerking) en aan de droge kant is het snel te hard voor 'niet aangedreven bewerking'. Organische stof zorgt ervoor

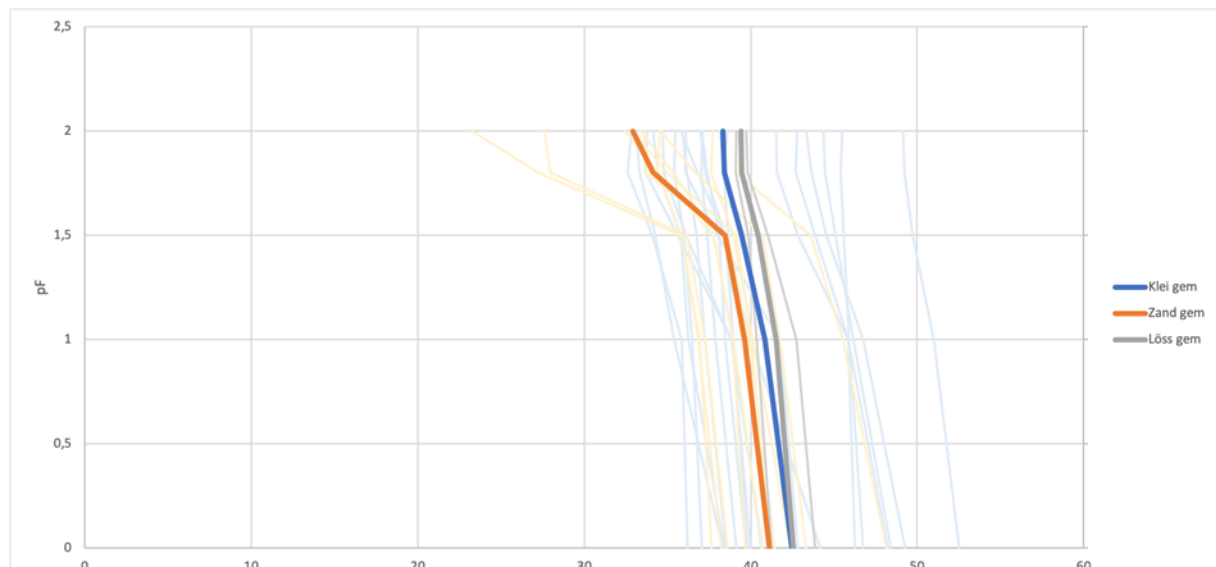
dat een te sterke binding van de aggregaten wordt tegengegaan en dat de grond verkruijmelbaar en goed bewerkbaar blijft.



Figuur 3-30 Aggregaatstabiliteit uitgedrukt in de WSA-index, in relatie tot het lutumgehalte (linker y-as) en organisch stofgehalte (rechter y-as). Zavelgronden zijn in het lichtblauw weergegeven.

3.4.3 Watervasthoudend vermogen en pF-curve

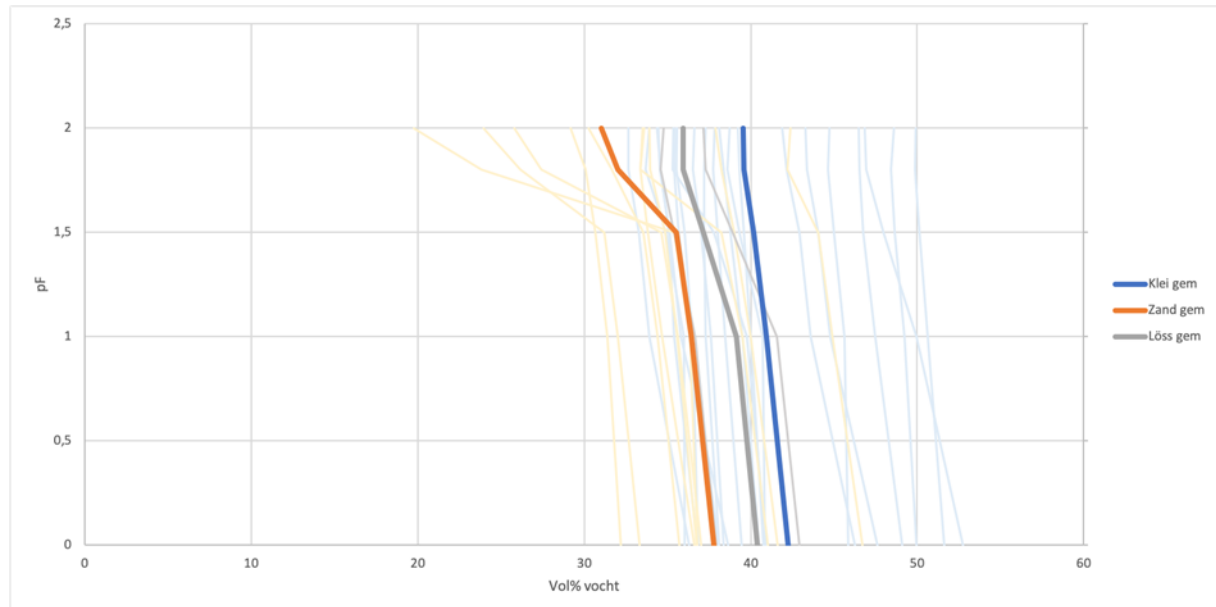
De bepaling van een pF-curve (vocht karakteristiek) zegt iets over de textuur, structuur en de hoeveelheid organische stof van een perceel. Figuur 3-32 laat de gemiddelde (dikkere lijnen) en gemeten waarde per perceel (dunnere, lichtere lijnen) zien op een diepte van 10 tot 15 cm (bouwvoor). Zandgronden hebben gemiddeld een meer horizontaal verlopende curve (minder lutum, meer grote poriën) dan kleigronden. De variatie tussen kleigronden onderling en tussen zandgronden onderling is echter groot. Twee zandgronden zijn duidelijker droogtegevoeliger (links van de Zand gem) dan de andere percelen in het netwerk. De zware kleigronden zijn duidelijk herkenbaar aan de rechterkant van het figuur. Bij deze percelen ligt het volume% vocht bij pF 2,0 nog heel dichtbij pF 0 (verzadigd).



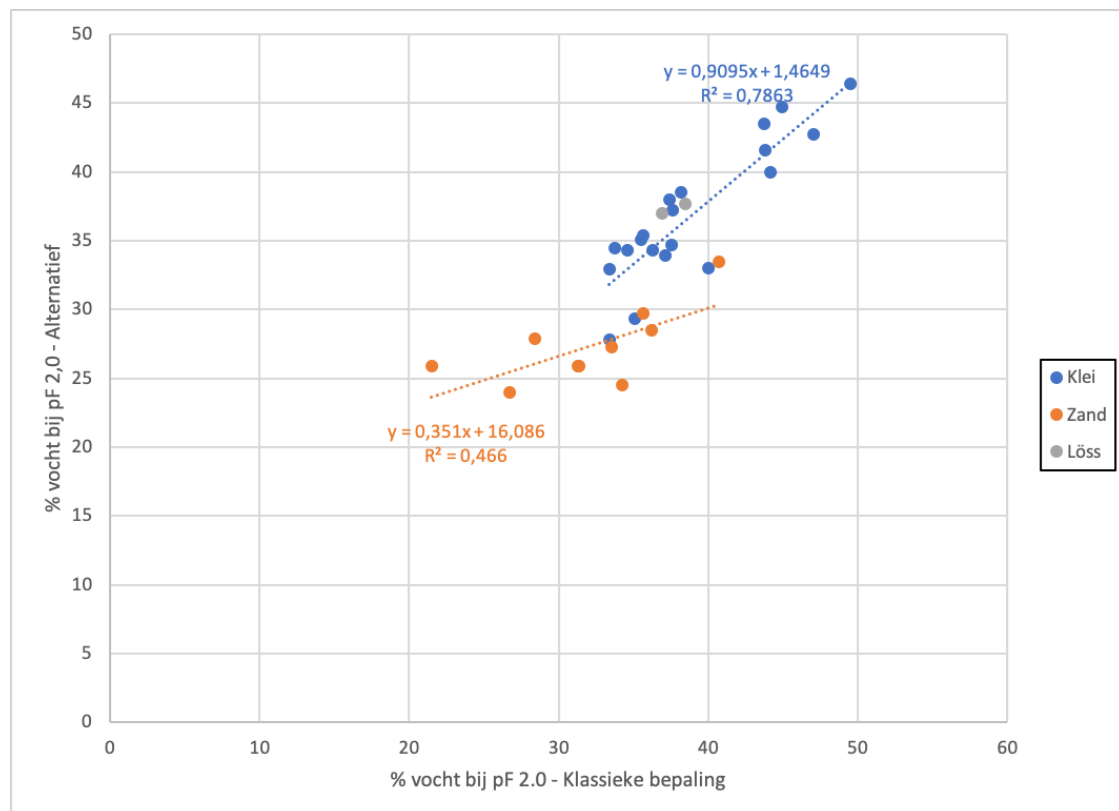
Figuur 3-31 Vocht vasthoudend vermogen in de bouwvoor (0-15cm)

Figuur 3-33 laat zien dat de verschillen tussen de percelen groter worden als gekeken wordt naar het watervasthoudend vermogen net onder de bouwvoor (zone 30-35 cm). Vijf zandgronden zijn onder de bouwvoor nog minder goed in staat om het vocht vast te houden. Bij de kleigronden blijft het vochtvasthoudend vermogen nagenoeg onveranderd. Opvallend is dat één zandgrond in de ondergrond een groter vasthoudend vermogen heeft dan het gemiddelde van de klei- en zavelgronden. Dit perceel heeft een hoog organisch stofgehalte.

Eurofins vermeld ook een volume% vocht bij pF 2,0 op de Bemestingsanalyse. Deze waarde is in *Figuur 3-34* per perceel uitgezet tegen het gemiddelde van de gemeten pF bij 2,0. De correlatie tussen de klassieke bepaling en de alternatieve bepaling is voor de kleigronden sterk. Voor zandgronden is het verband zwak tot matig.



Figuur 3-32 Vochtvasthoudend vermogen onder de bouwvoor (30-35cm)

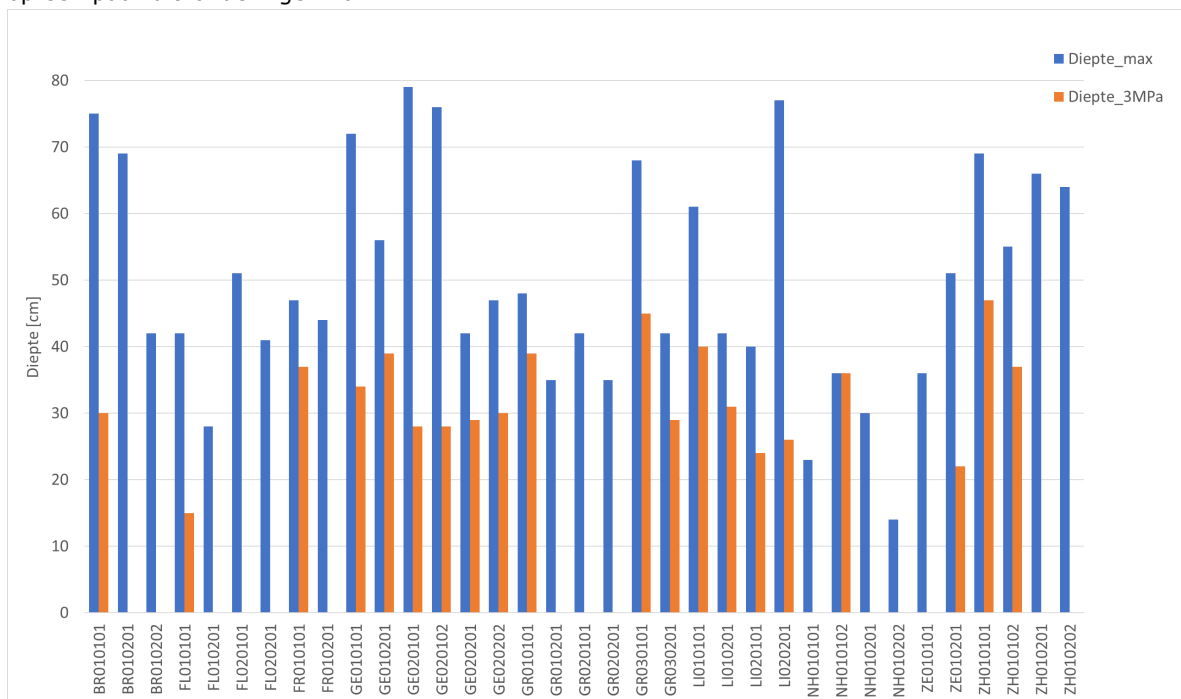


Figuur 3-33 De gemeten pF bij 2,0 (klassieke bepaling) uitgezet tegen de pF 2,0 van Eurofins (alternatief).

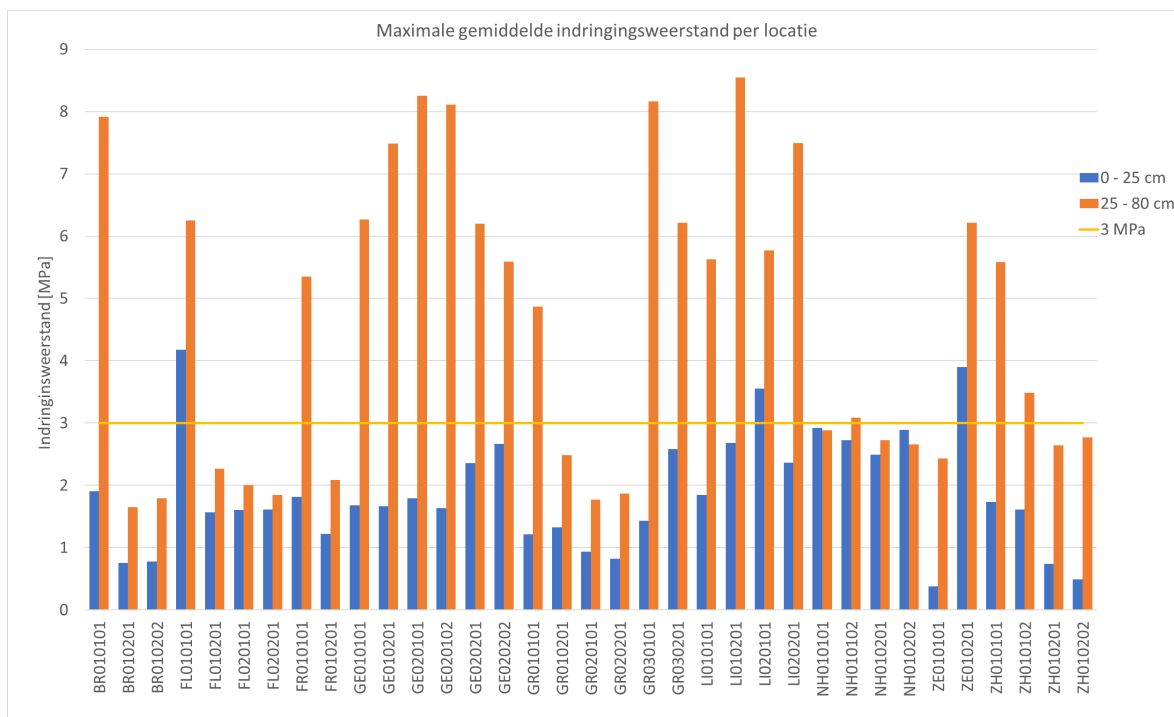
3.4.4 Bodemstructuur – indringingsweerstand

De indringingsweerstand van de bodem geeft aan hoe makkelijk wortels de bodem in komen en wordt wel gebruikt als een maat voor verdichting. Als stelregel kan worden aangenomen dat wortels boven een weerstand van 3 MPa veel moeite hebben om de bodem in te komen. De gemeten weerstand wordt naast dichtheid, structuur en textuur ook beïnvloed door het vochtgehalte van de bodem, dus de meetomstandigheden zijn van belang (een droge bodem heeft een hogere weerstand dan dezelfde bodem vochtig). Per locatie zijn 5 steken gezet met een penetrologger tot een diepte van 80 cm indien mogelijk. Deze steken zijn gemiddeld om de erg korte afstand variatie en eventuele meetonzekerheid te middelen. Een bodem die ondiep (0-60 cm) een grote weerstand laat zien (> 3 MPa) wordt gezien als verdicht, helemaal als dit samengaat met een hoge bulkdichtheid (zie 3.4.5) en visuele kenmerken (zie 3.4.1). Voorbeelden van gemeten indringingsweerstand profielen staan in figuur 3-37.

In Figuur 3-34 is per locatie de diepte aangegeven waarop de maximale gemiddelde indringingsweerstand is gemeten met daarbij ook de eerste diepte waarop de grens van 3 MPa wordt overschreden. Hierop is te zien dat veel percelen deze grens niet overschrijven. Ook is te zien dat de maximale weerstand in veel gevallen tussen de 30 en 40 cm ligt, met enkele uitschieters naar boven. Een niet verdichte bodem zal een hogere indringingsweerstand hebben op grotere diepte omdat het gewicht van de bodem erboven zorgt voor een dichtere ondergrond (bijvoorbeeld BR010201). Een maximale weerstand op 30 a 40 cm die boven 3 MPa ligt kan duiden op verdichting door mechanische belasting tijdens werkgangen (bijvoorbeeld FR010101). Bij een aantal bodems komt de indringingsweerstand redelijk ondiep boven de 3 MPa uit maar blijft toenemen tot grotere diepte (bijvoorbeeld LI020201). Dit kan een natuurlijke verdichting zijn of droge meetomstandigheden. In beide gevallen zullen de wortels echter moeite hebben om diep te komen. In Figuur 3-36 is de maximale indringingsweerstand per laag (bovengrond of ondergrond) weergegeven. Hieruit blijkt hoeveel weerstand wortels ondervinden in die laag. Voor een aantal percelen komt dit hoog boven de 3 MPa uit, tot 8 MPa. Ook is te zien dat de ondergrond over het algemeen hogere waarden geeft dan de bovengrond op een paar uitzonderingen na.



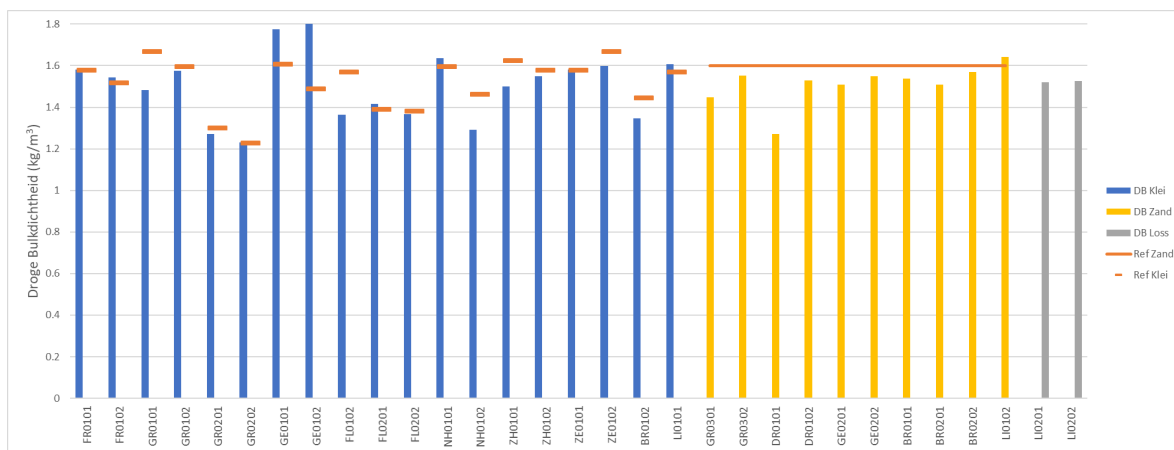
Figuur 3-34 Diepte (cm) waarop de maximale indringingsweerstand bereikt wordt (blauw) en waarop de 3MPa-grens voor het eerst overschreden wordt (oranje).



Figuur 3-35 Maximale gemiddelde indringingsweerstand per locatie per laag, in geel de 3MPa-grens.

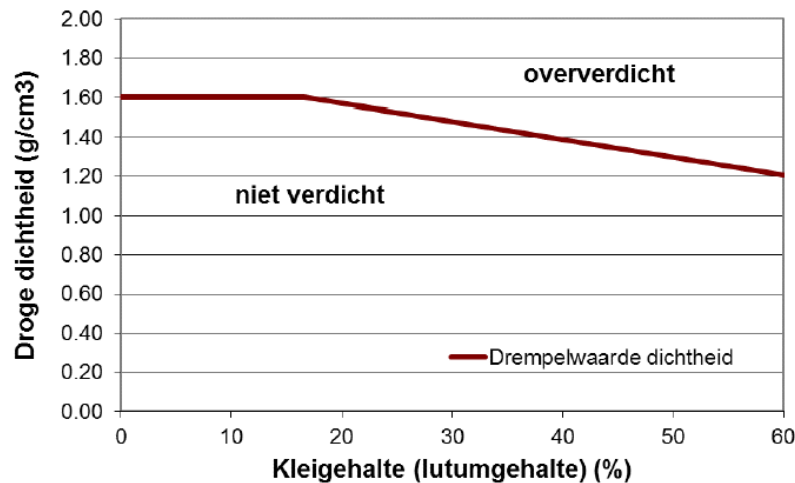
3.4.5 Bodemstructuur – bulkdichtheid

De bulkdichtheid, het gewicht van de bodem per volume (g/cm^3) is op 3 verschillende manieren gemeten, door het steken van ringen, het gebruik van een guts en een bulkdichtheidsensor. Deze methoden geven allen andersoortige informatie. De gebruikte standaardmethode is het steken van 100 cc ringen op verschillende dieptes (7,5, 15, 22,5, 30 cm-mv) die vervolgens in het lab zijn gedroogd en gewogen om de droge bulkdichtheid te bepalen. De resultaten staan in Figuur 3-36.



Figuur 3-36 Droge bulkdichtheid in de bouwvoor per grondsoort, en met oranje de referentiewaarde weergegeven.

Hieruit blijkt dat de spreiding in bulkdichtheid groter is op kleigronden dan op zandgronden. Ook is te zien dat het merendeel van de gronden onder de aangegeven referentiewaarde blijft. Voor droge bulkdichtheid is deze voor zand, lichte en matig zware zavelgronden ($<17.5\%$ lutum) 1.6 g/cm^3 . Voor zware zavel- en kleigronden ($>17.5\%$ lutum) is deze afhankelijk van het klei of lutumgehalte van een bodem volgens $1.75-0.009 \cdot \text{lutum}$. Dit is weergegeven in Figuur 3-36 Figuur 3-37 volgens NEN-EN-ISO 11272:2017.



Figuur 3-37 Referentiewaarde voor droge bulkdichtheid of drempelwaarde voor verdichting, afhankelijk van het kleigehalte.

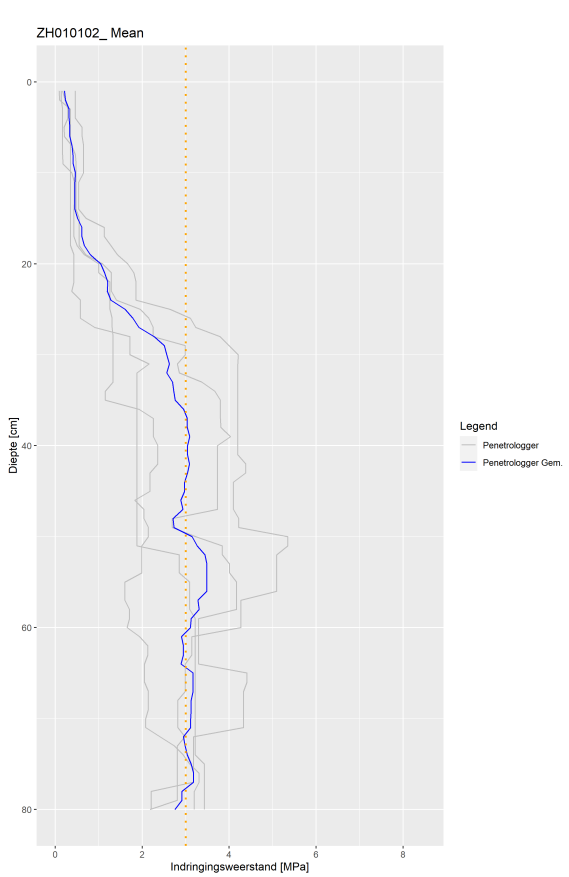
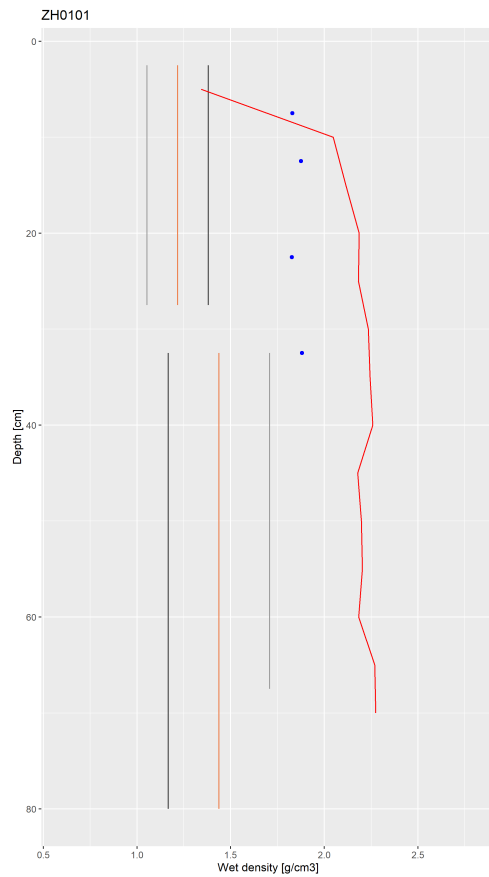
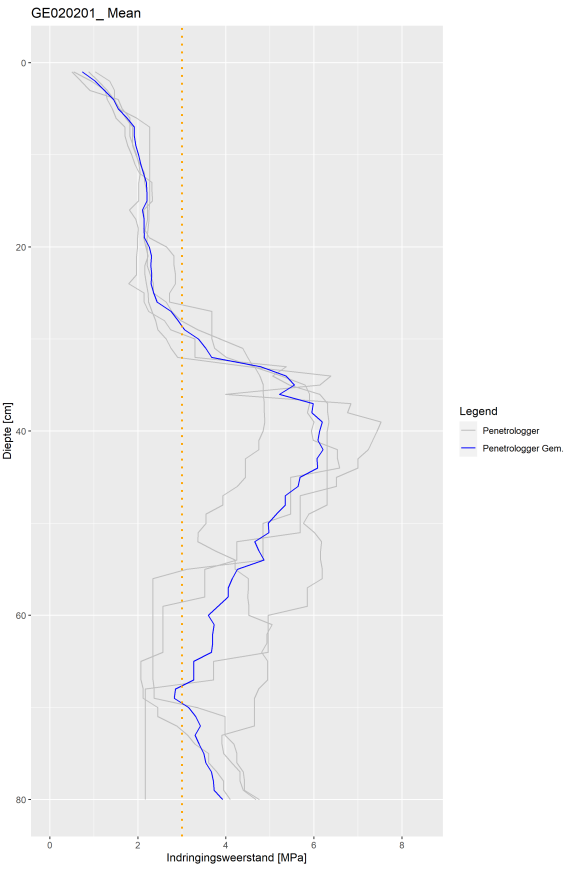
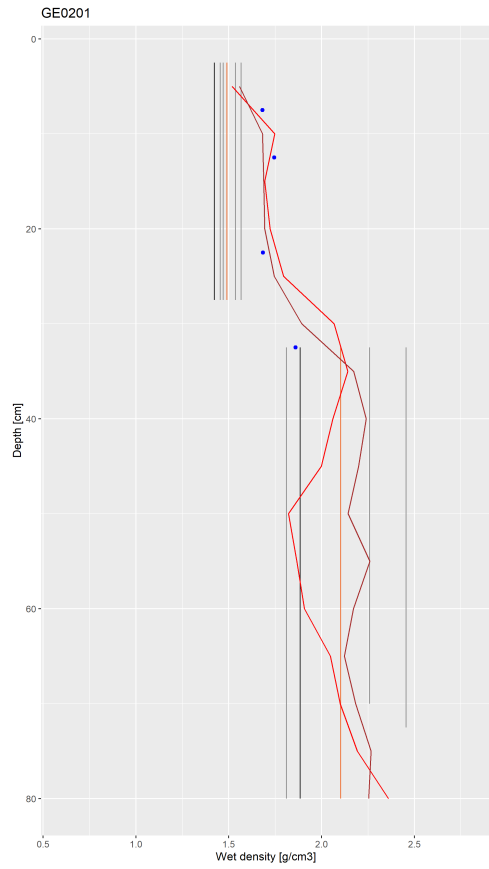
Voor percelen boven de referentiewaarde kan gekeken worden naar de resultaten voor indringingsweerstand en visuele beoordeling voor een beoordeling van mate of ernst van verdichting. De droge bulkdichtheid is ook gemeten door de vaste inhoud van een guts over een bepaalde diepte (0-30 en 30-80 cm) in het lab te drogen en wegen. Dit levert een gemiddelde bulkdichtheid over de gemeten diepte op. Voorbeelden van de resultaten staan in.

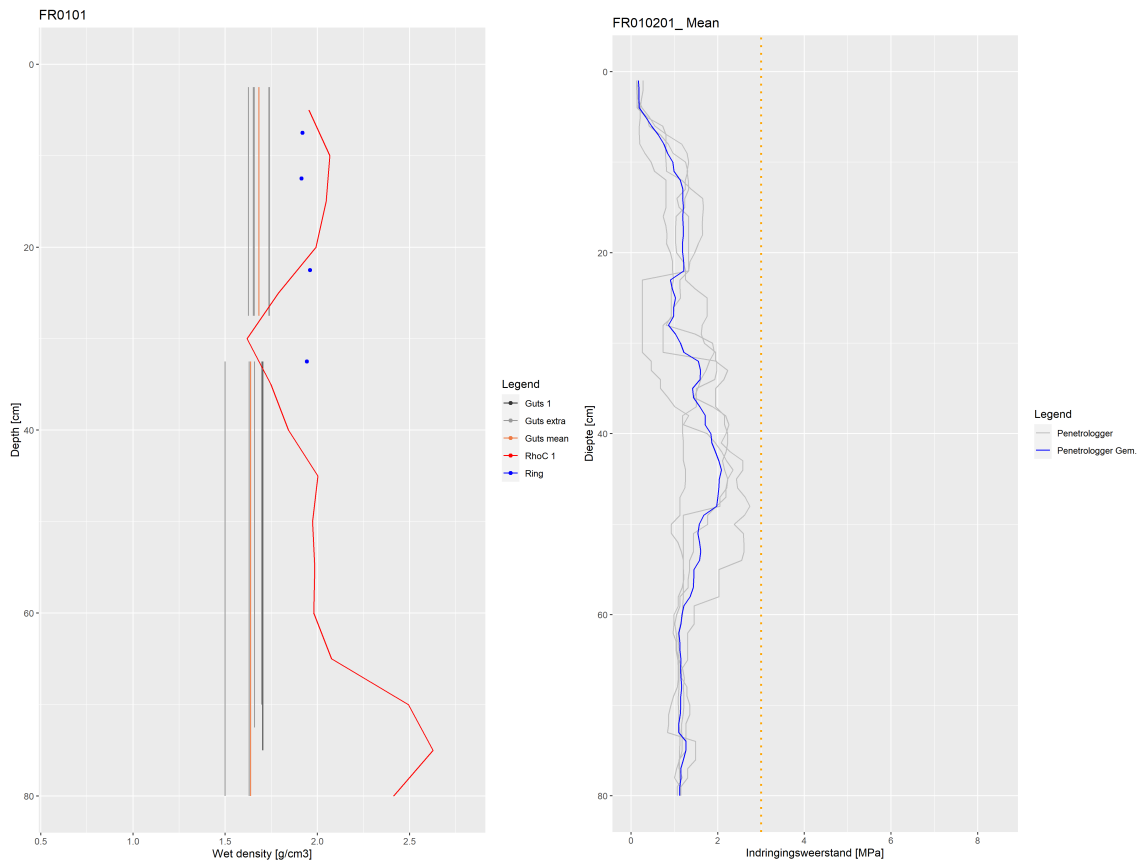
De derde methode waarmee de bulkdichtheid is bepaald is met behulp van een bulkdichtheidsensor, de MS-Rho. Deze meet de veldvochtige bulkdichtheid per 5 cm tot maximaal 1 meter diep (in dit onderzoek tot 80 cm). Dit levert een bulkdichtheidsprofiel op. Voorbeelden van de resultaten staan in Figuur 3-38. In deze voorbeelden komt naar voren dat in het bovenste voorbeeld waarschijnlijk sprake is van een verdichting vanwege de toenemende indringingsweerstand en bulkdichtheid op 40 cm, gevolgd door een afname. Het tweede voorbeeld laat een langzaam met de diepte oplopende indringingsweerstand en bulkdichtheid zien. Hier kan sprake zijn van een lichte natuurlijke verdichting. In het derde voorbeeld zijn zowel indringingsweerstand als bulkdichtheid laag, deze bodem is niet verdicht op basis van deze gegevens alleen.

Op de voorbeelden is ook te zien dat de ringen een hogere veldvochtige bulkdichtheid aangeven dan de guts. Ook is te zien dat de sensor op een aantal locaties goed overeenkomt met de guts en ringen en op andere niet of minder. Patronen in de profielen van de sensor en de indringingsweerstand komen voor een deel overeen, maar er zijn zeker verschillen. Dit kan komen door een verschillend effect van vocht. Vocht zorgt voor een hogere veldvochtige bulkdichtheid maar een lagere indringingsweerstand en is dus een belangrijke factor bij de interpretatie van de resultaten.

Voor de guts en de indringingsweerstand (en op een deel van de locaties voor de sensor) zijn herhalingen op korte afstand (1 meter) beschikbaar. Opvallend is dat een grote spreiding in herhalingen voor de guts ook een grote spreiding in herhalingen voor de indringingsweerstand lijkt te betekenen. Dit betekent dat het effect van meetfout waarschijnlijk beperkt is en sprake is van (verschillen in) korte afstandsvariatie. Op die locaties valt ook meer spreiding te verwachten in de metingen van de ringen en sensor waar niet voor wordt gecompenseerd door middeling.

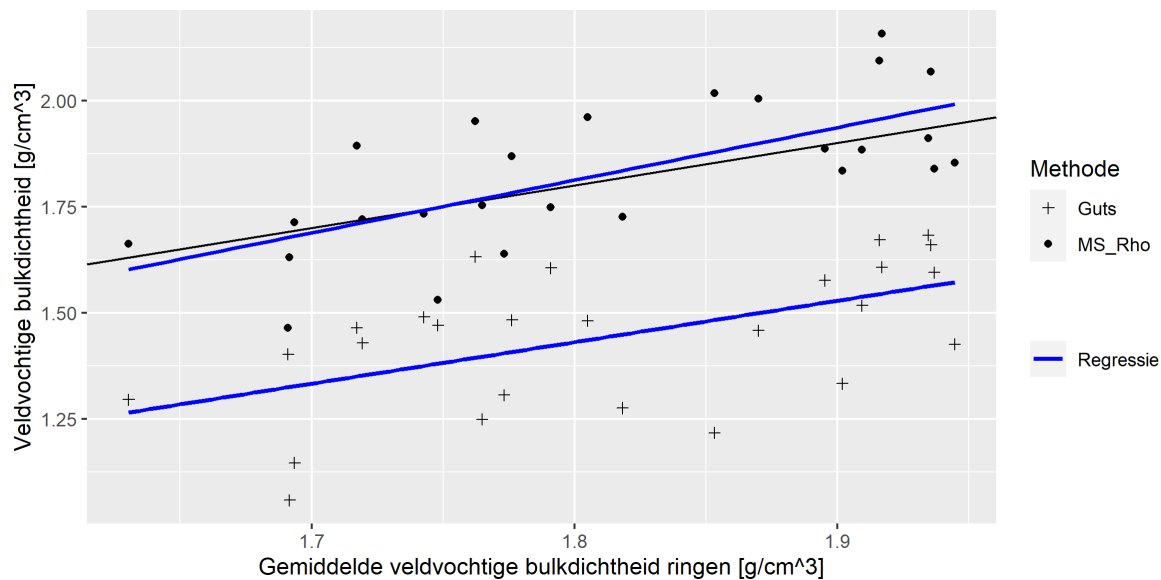
Per perceel kan deze data worden vergeleken met de resultaten in 3.4.1, 3.4.4 en Figuur 3-36 om een beeld te krijgen van de bodemstructuur.





Figuur 3-38 Voorbeelden van resultaten voor veldvochtige bulkdichtheid (links) en de indringingsweerstand van hetzelfde meetpunt (rechts). Bulkdichtheid van ringen is aangegeven met een punt, van de guts met een grijze lijn en oranje voor het gemiddelde, van de bulkdichtheidsensor met rode en bruine lijnen (niet hetzelfde gustgat). Voor indringingsweerstand zijn afzonderlijk steken in grijs en het gemiddelde in blauw aangegeven.

De resultaten van de verschillende methodes voor bulkdichtheid zijn ook in een grafiek (Figuur 3-39) tegen elkaar uitgezet. Hierbij gelden de ringen als de referentie waarmee de guts en sensor resultaten worden vergeleken. Om een vergelijk mogelijk te maken zijn de resultaten van de ringen en de sensor gemiddeld over 0-30 cm, de meetdiepte van de guts in de bovengrond. De resultaten laten zien dat beide een verband laten zien met de ringen en dat de waarden van de sensor op de 1:1 lijn liggen en dus in dezelfde orde van grootte zijn als de ringen. De gutsresultaten liggen onder de 1:1 lijn, dit kan een systematische afwijking zijn waarvoor gecorrigeerd kan worden. Beide methoden laten vrij veel spreiding zien. Dit kan deels te maken hebben met het middelen van de waarden voor een vergelijk, hier wordt nog nader naar gekeken. Meer informatie over deze vergelijking staat in van Egmond et al., (in druk).



Figuur 3-39 Vergelijking van de verschillende meetmethoden voor veldvochtige bulkdichtheid.

3.5 Bodembioologie en -gezondheid

3.5.1 Bodembioologie

3.5.1.1 Microbiologische parameters

Biologische bodemparameters zijn belangrijke indicatoren voor verschillende bodemdiensten, zoals de bodemvruchtbaarheid en ziektevering. In deze studie zijn een aantal parameters gemeten met als doel een parameter set te ontwikkelen die in staat is om verschillende bodemdiensten te meten. Onder andere is de schimmel- en bacteriebiomassa gemeten. Een hoge schimmelbiomassa is een indicator voor een goede retentie van stikstof en de aanwezigheid van moeilijk afbreekbare organische stoffen, terwijl een hoge bacterie biomassa wordt geassocieerd met een snelle omzetting van makkelijk afbreekbare organische stof. Beide groepen kunnen de bodemstructuur verbeteren en ziektevering verhogen. De traditionele manier voor de meting van schimmel- en bacteriebiomassa, het tellen van de organismen onder de microscoop, is een bewerkelijke en kostbare methode. In deze studie wordt daarom ook onderzocht of ergosterol als maat voor de schimmel biomassa en/of PLFAs (phospholipid fatty acids) voor zowel schimmels als bacteriën kunnen worden gebruikt.

Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN) is een onderdeel van de organische stikstof in de bodem dat voor een groot deel bestaat uit microbiële biomassa en dat beschikbaar is voor mineralisatie en de opname door planten (Curtin and Campbell, 2008, Mahal, et al., 2018). Het is een indicator voor de biologische activiteit en bodemvruchtbaarheid.

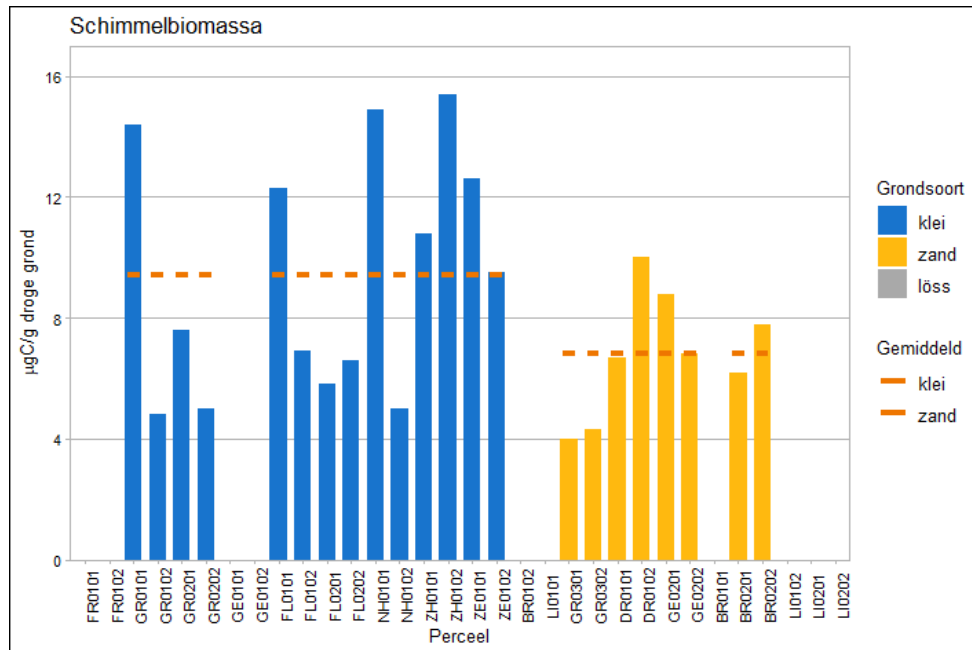
De meest relevante parameters, schimmelbiomassa, bacteriebiomassa, schimmel/bacterie verhouding, PMN en ergosterol zijn gekozen voor een grafische uitzetting. Schimmelbiomassa en bacterie biomassa zijn niet in alle percelen gemeten.

De schimmelbiomassa is microscopisch bepaald, en is gemiddeld hoger in kleigrond dan in zandgrond, maar er zijn wel zandgrondpercelen die een hogere schimmelbiomassa bevatten dan sommige kleigrond percelen (zie *Figuur 3-40*). Ook de bacteriebiomassa is gemiddeld hoger in kleigrond. De resultaten voor kleigrond laten een grotere spreiding zien. Percelen van hetzelfde bedrijf kunnen ook flink verschillen in bacteriebiomassa (zie *Figuur 3-41*). Gemiddeld gaven zandgronden een hogere waarde met betrekking tot schimmel-bacterie verhouding (zie *Figuur 3-42*). Dit betekent dat de zandgronden relatief meer schimmels bevatten dan bacteriën in vergelijking met de kleigrond. Perceel DR102 valt op omdat deze een bijzonder hoge waarde heeft in vergelijking met de andere percelen.

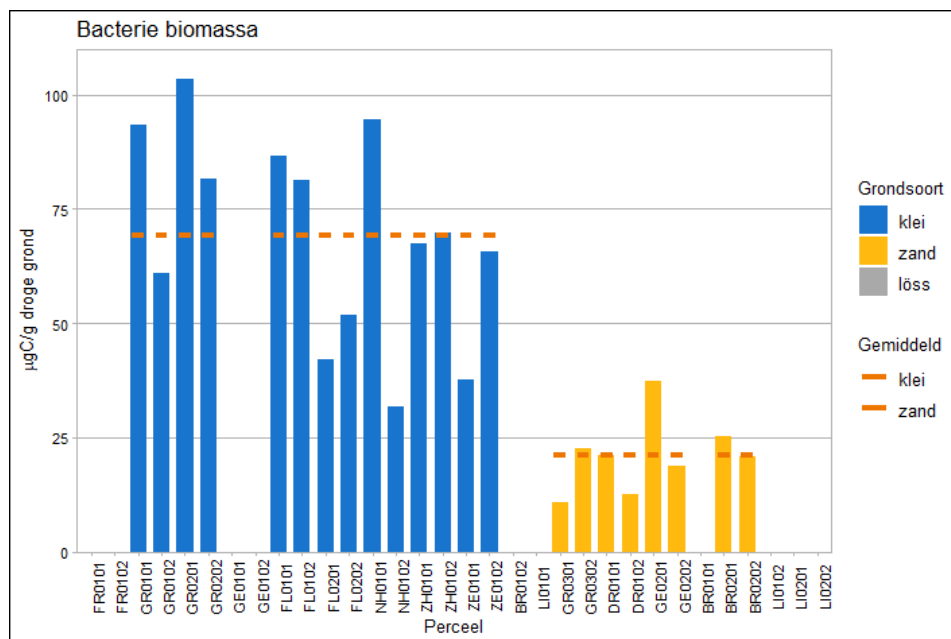
PMN is gemiddeld hoger in kleigrond dan in zandgrond, maar laat wel een grote spreiding zien (zie *Figuur 3-43*). Hoge PMN-waardes zijn met name aangetroffen in de percelen GR0102, GR0201, GR0202

en ZH0102. De gemiddelde waarde in lössgrond is vergelijkbaar met kleigrond. Er werden echter slechts twee percelen met lössgrond mee genomen in de metingen.

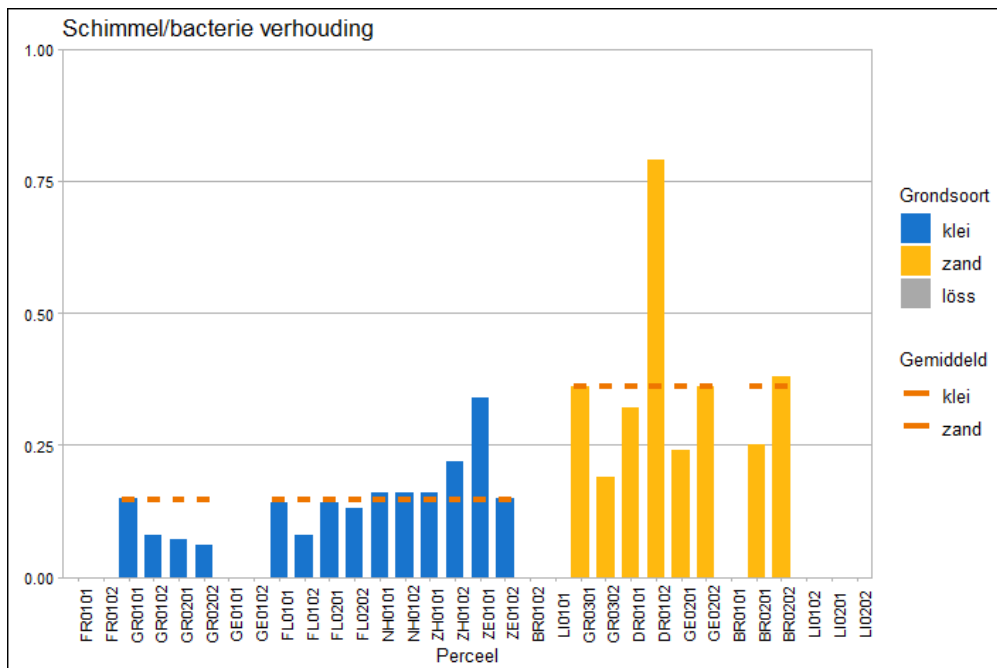
De gemiddelde hoeveelheid ergosterol, een maat voor de hoeveelheid actieve schimmels, verschilt nauwelijks tussen de grondtypes (zie *Figuur 3-44*). Wel is er een grote spreiding in ergosterol met bijzonder hoge waarden in de percelen FR0101, GR0101, GE0101 en GE0202.



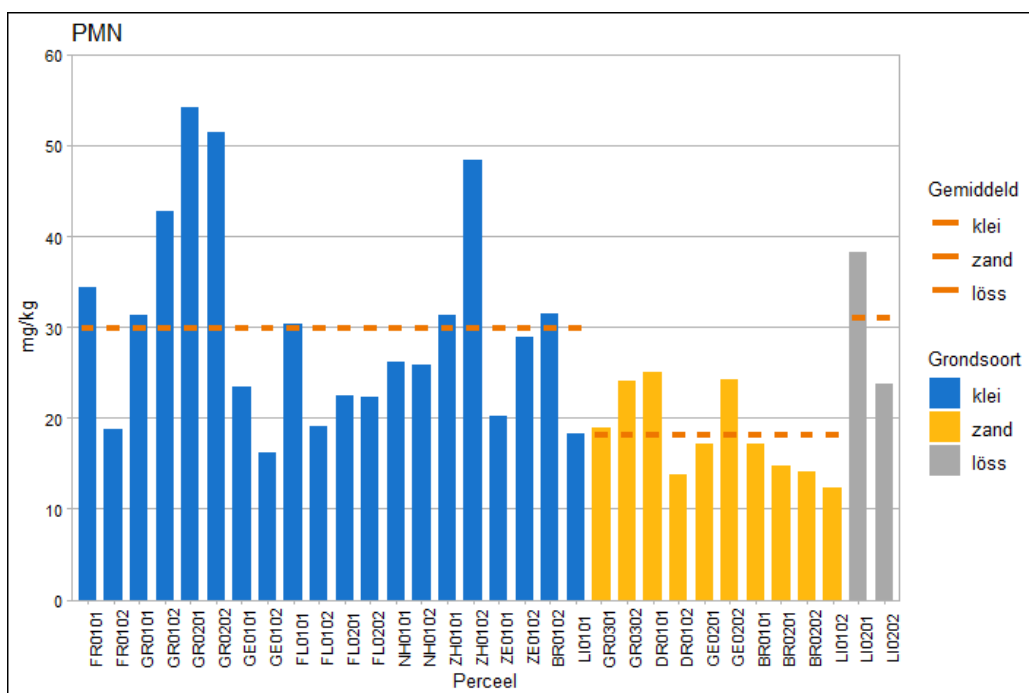
Figuur 3-40 Schimmelbiomassa in alle gemeten percelen, het gemiddelde voor respectievelijk klei- en zandgrond is aangeduid met een oranje lijn.



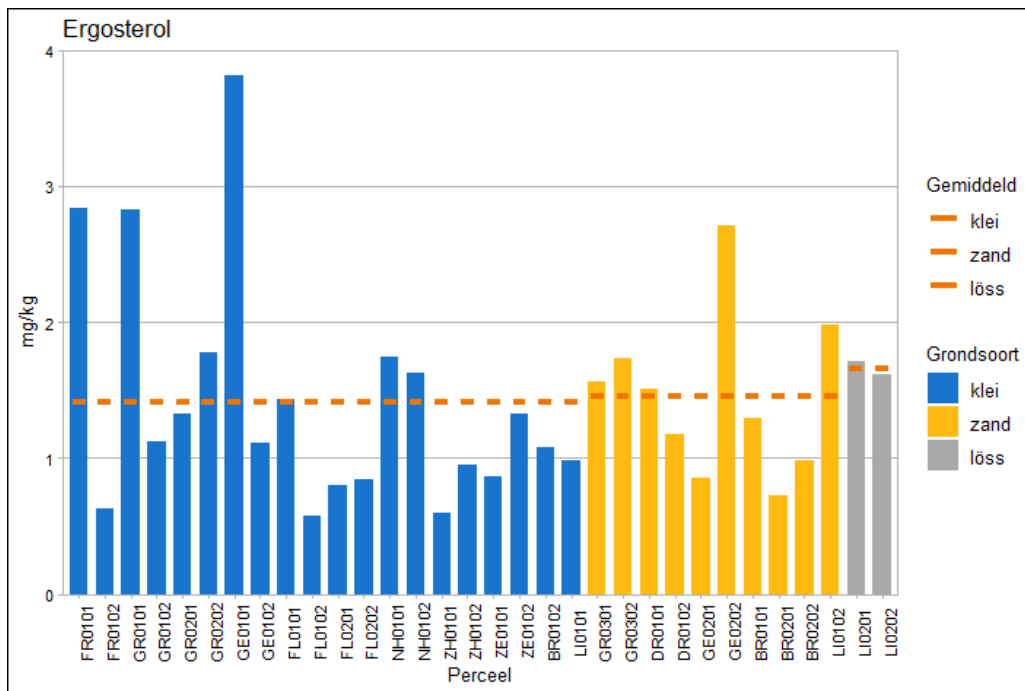
Figuur 3-41 Bacteriebiomassa in alle gemeten percelen, het gemiddelde voor respectievelijk klei- en zandgrond is aangeduid met een oranje lijn.



Figuur 3-42 Schimmel-bacterie verhouding in alle gemeten percelen, het gemiddelde voor respectievelijk klei- en zandgrond is aangeduid met een oranje lijn.



Figuur 3-43 Potentieel mineraliseerbaar N (PMN) in alle gemeten percelen, het gemiddelde voor respectievelijk klei- zand- en lössgrond is aangeduid met een oranje lijn.



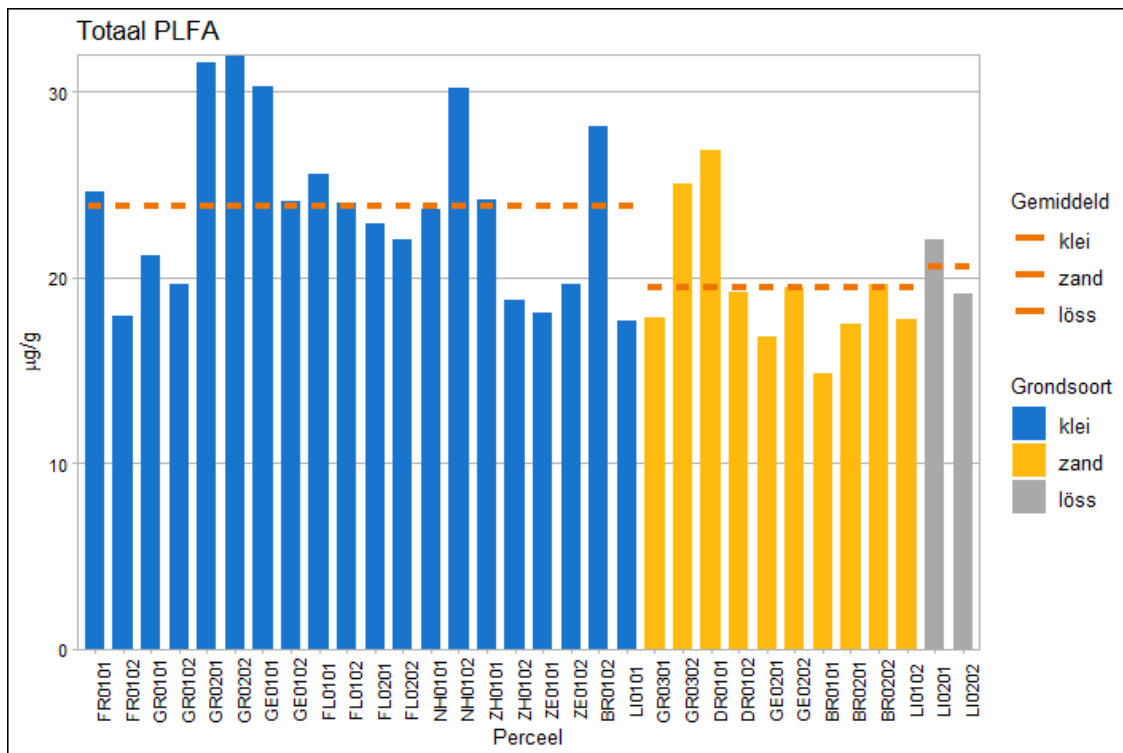
Figuur 3-44 Ergosterol in alle gemeten percelen, het gemiddelde voor respectievelijk klei- zand- en lössgrond is aangeduid met een oranje lijn.

3.5.1.2 PLFA-data

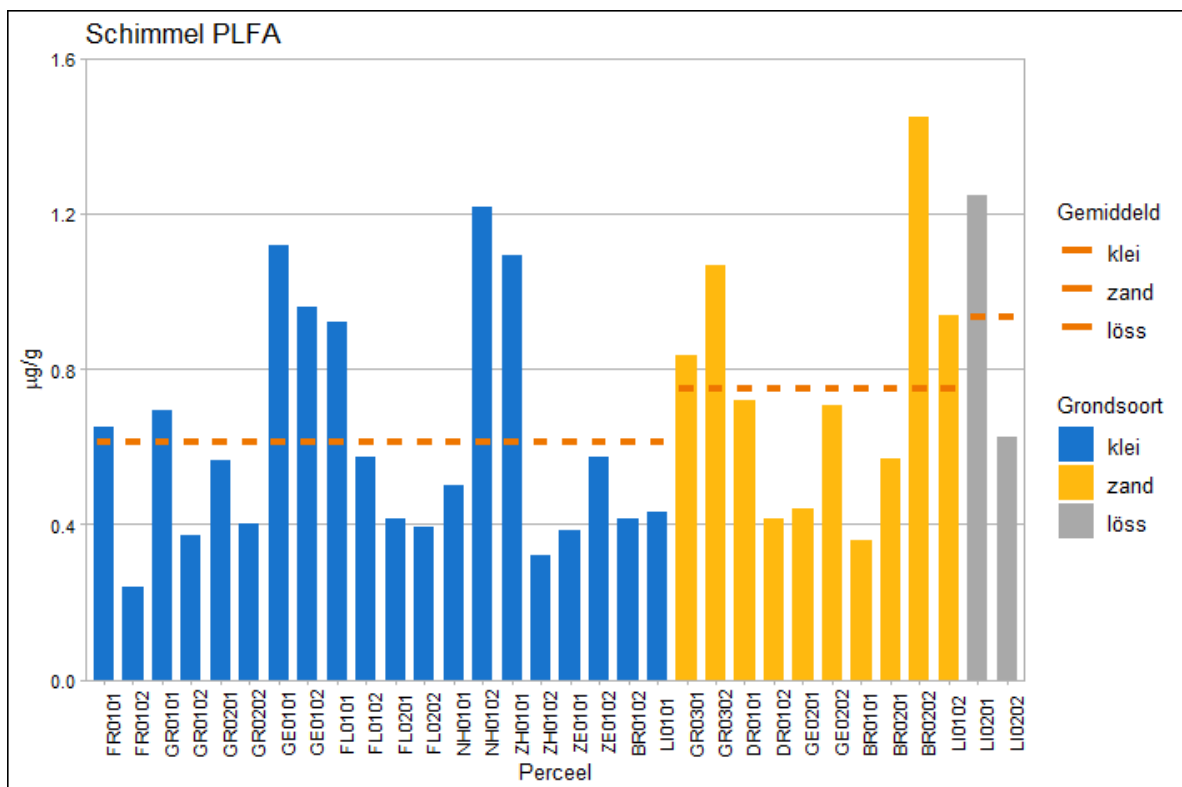
In de literatuur werd al beschreven dat PLFAs niet alleen in staat zijn om onderscheid te maken tussen schimmels en bacteriën, maar ook tussen verschillende groepen van micro-organismen, zoals Grampositieve en Gramnegatieve bacteriën, Actinobacteria en mycorrhiza (AMF). Grampositieve bacteriën zijn vooral langzaam groeiende soorten die in staat zijn om complexe verbindingen af te breken, terwijl Gramnegatieve bacteriën vooral snelgroeiende soorten bevatten. Een verschuiving in de verhouding tussen deze twee groepen kan een verandering in de microbiële gemeenschap indiceren. Actinobacteria zijn bekend om hun antagonistische werking tegen een groot aantal ziekteverwekkers (Barka, et al., 2016). Mycorrhiza zijn schimmels die een samenwerking aangaan met de plant en deze bijvoorbeeld kunnen voorzien van belangrijke nutriënten. Een grote hoeveelheid mycorrhiza is dus gunstig voor de opbrengst bij een beperkt nutriëntenaanbod. Als PLFAs goede indicatoren van bodemkwaliteit blijken dan zou deze goedkopere methode de klassieke microscopische metingen kunnen gaan vervangen.

De totale hoeveelheid PLFA is in het grondmonster bepaald. Daarnaast zijn zowel PLFA-markers behorend aan schimmels als PLFA-markers van bacteriën en Actinobacteria bepaald. Ook de verhouding van PLFAs afkomstig van schimmels en bacteriën is berekend, net als de verhouding van PLFAs afkomstig van Grampositieve en Gramnegatieve bacteriën. Voor de meting van mycorrhiza (AMF) zijn NLFAs (neutral lipid fatty acids) gebruikt.

De totale hoeveelheid gemeten PLFAs is gemiddeld hoger in kleigrond dan in zand- en lössgrond (zie *Figuur 3-45*). De spreiding binnen de grondtypes is relatief klein. In tegenstelling is de hoeveelheid PLFAs afkomstig van schimmels gemiddeld hoger in zand- en lössgrond dan in kleigrond (zie *Figuur 3-46*). Dit is in tegenstelling tot de meting van de schimmelbiomassa. Alle grondtypes laten een grote spreiding zien in de hoeveelheid schimmel PLFAs. De hoeveelheid NLFAs afkomstig van AMF verschilt sterk tussen de percelen (zie *Figuur 3-47*). Terwijl de hoogste waarde is gemeten in perceel DR0102 met zandgrond, bevatten zandgronden gemiddeld minder AMF PLFAs dan kleigronden.



Figuur 3-45 Totale hoeveelheid PLFAs in alle gemeten percelen, het gemiddelde voor respectievelijk klei-, zand- en lössgrond is aangeduid met een oranje lijn.

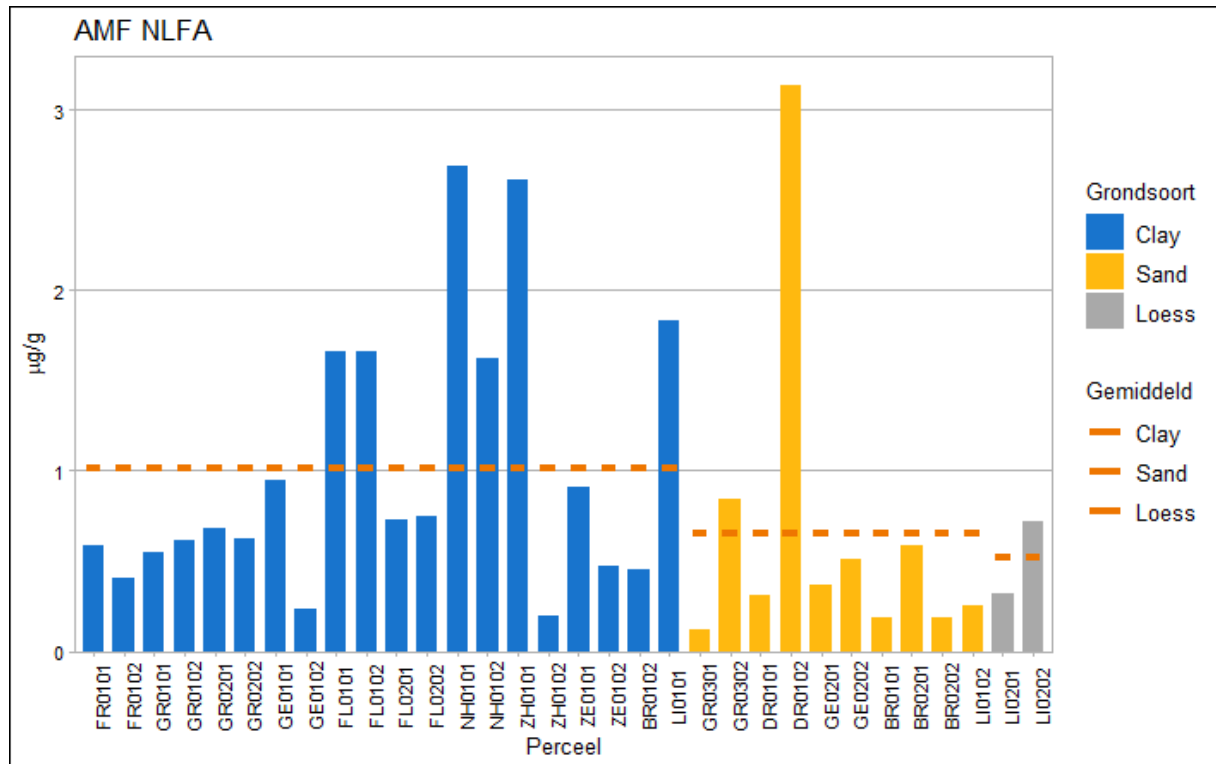


Figuur 3-46 Hoeveelheid PLFAs afkomstig van schimmels in alle gemeten percelen, het gemiddelde voor respectievelijk klei-, zand- en lössgrond is aangeduid met een oranje lijn.

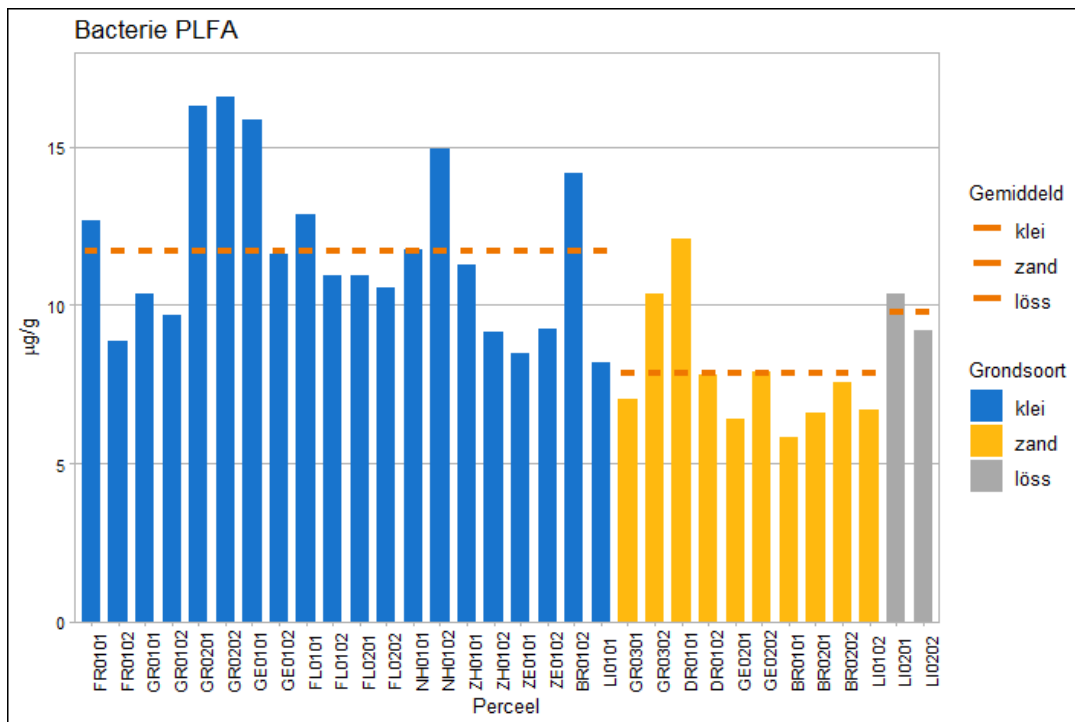
Gemiddeld is de hoeveelheid PLFAs afkomstig van bacteriën hoger in kleigrond dan in zand- en lössgrond (zie Figuur 3-48). Dit komt overeen met de metingen van bacteriebiomassa. Ook de hoeveelheid PLFAs afkomstig van Actinobacteria is gemiddeld hoger in klei- dan in zandgrond (zie Figuur 3-49). Lössgrond ligt gemiddeld tussen de beide waarden. De verhouding tussen PLFAs van Grampositieve en Gramnegatieve bacteriën is gemiddeld hoger in zand- dan in klei- en lössgrond (zie Figuur 3-50). Dit duidt aan dat zandgronden meer Grampositieve bacteriën bevatten relatief tot Gramnegatieve bacteriën

in vergelijking met de andere grondtypes. Grampositieve bacteriën zijn vooral langzaam groeiende soorten waartegen Gramnegatieve bacteriën vooral snelgroeiende soorten bevatten.

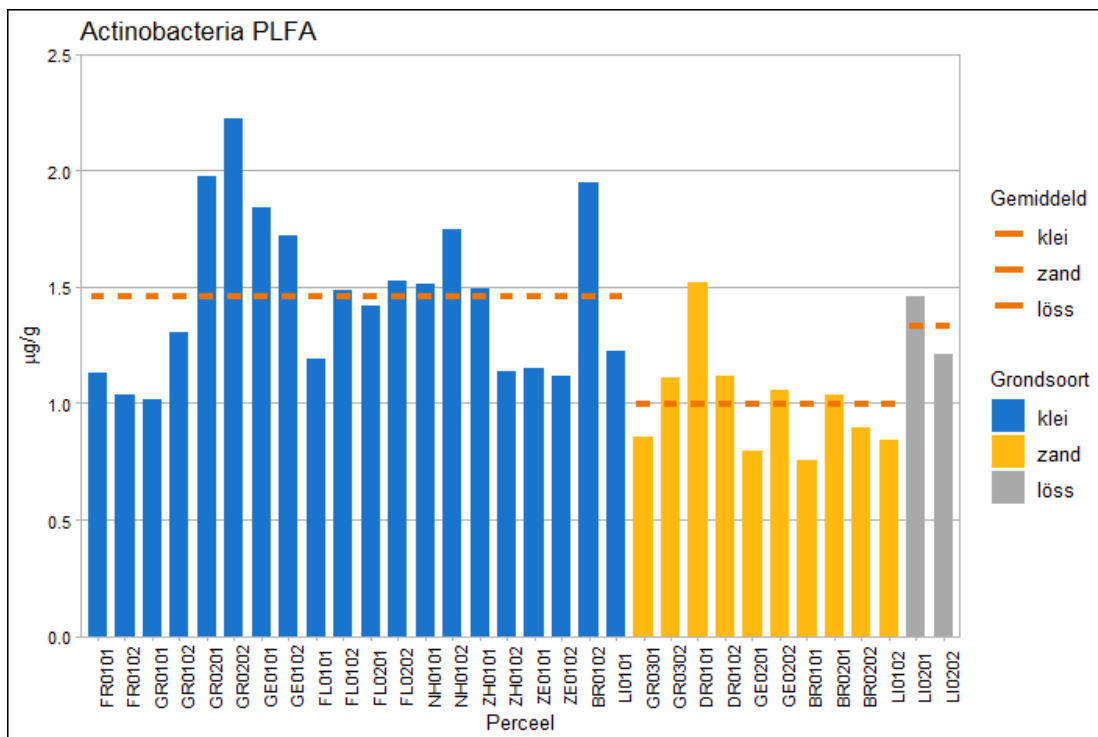
Vergelijkbaar als de verhouding schimmel- en bacteriebiomassa is de verhouding van PLFAs van schimmels en bacteriën gemiddeld hoger in zandgrond dan in kleigrond (zie *Figuur 3-51*). Dit geeft aan dat zandgrond gemiddeld relatief meer schimmels dan bacteriën bevat dan bij de kleigronden.



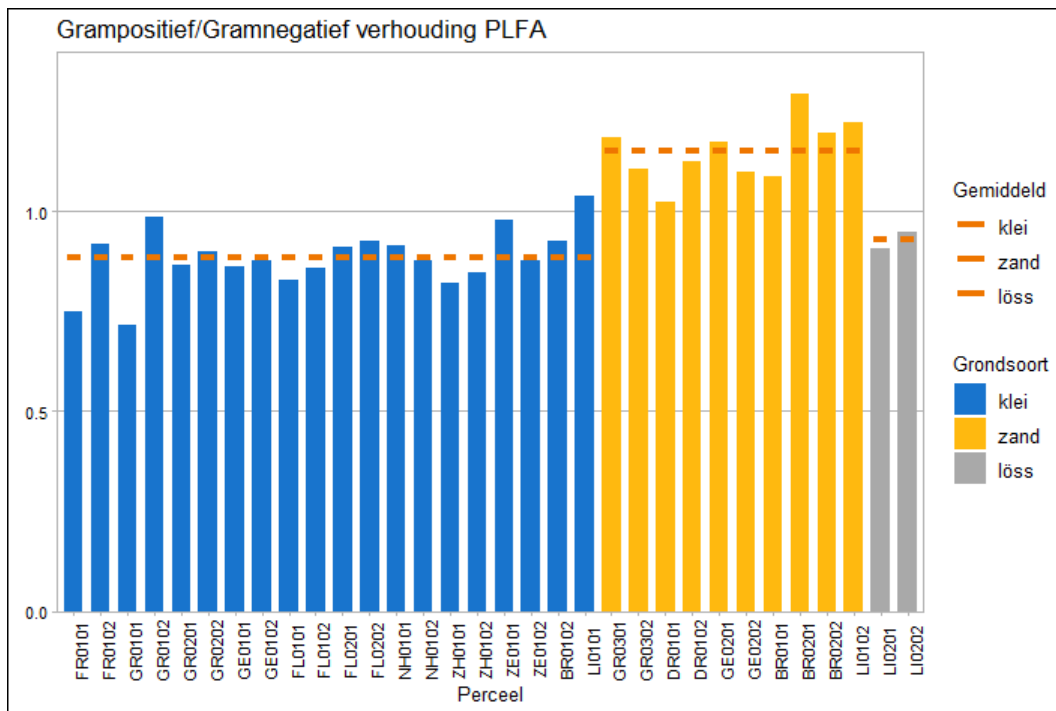
Figuur 3-47 Hoeveelheid NLFAs afkomstig van AMF in alle gemeten percelen, het gemiddelde voor respectievelijk klei-, zand- en lössgrond is aangeduid met een oranje lijn.



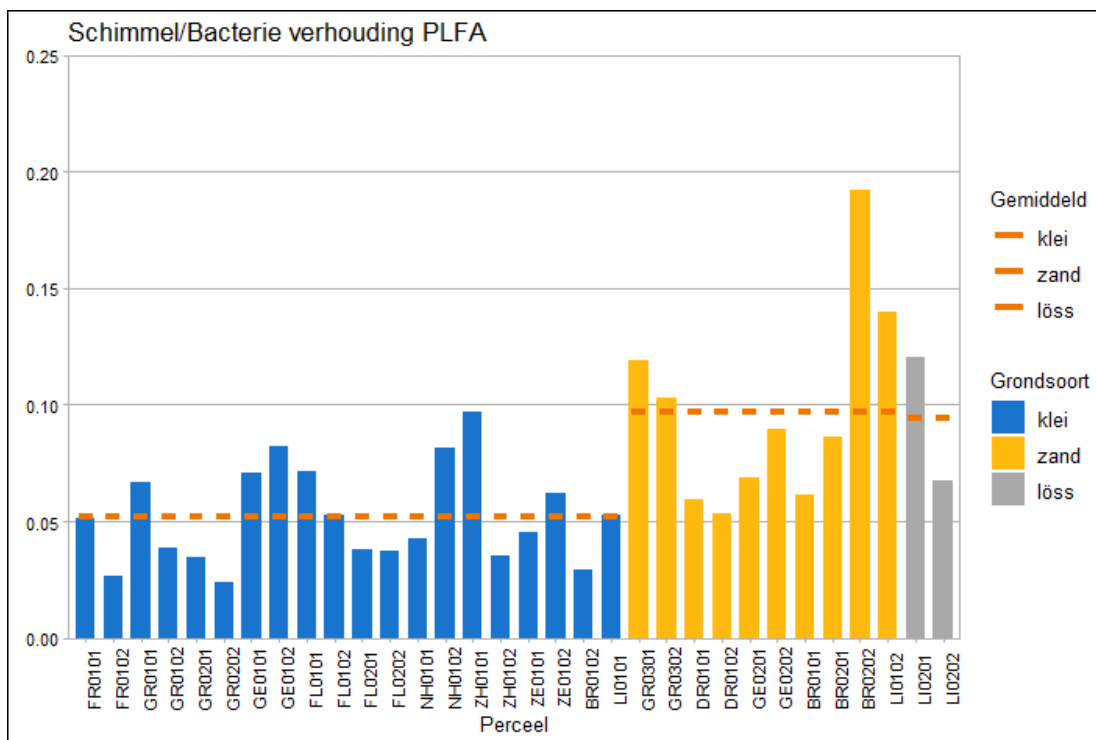
Figuur 3-48 Hoeveelheid PLFAS afkomstig van bacteriën in alle gemeten percelen, het gemiddelde voor respectievelijk klei-, zand- en lössgrond is aangeduid met een oranje lijn.



Figuur 3-49 Hoeveelheid PLFAs afkomstig van Actinobacteria in alle gemeten percelen, het gemiddelde voor respectievelijk klei-, zand- en lössgrond is aangeduid met een oranje lijn.



Figuur 3-50 Verhouding van PLFAs afkomstig van Grampositieve en Gramnegatieve bacteriën in alle gemeten percelen, het gemiddelde voor respectievelijk klei-, zand- en lössgrond is aangeduid met een oranje lijn.

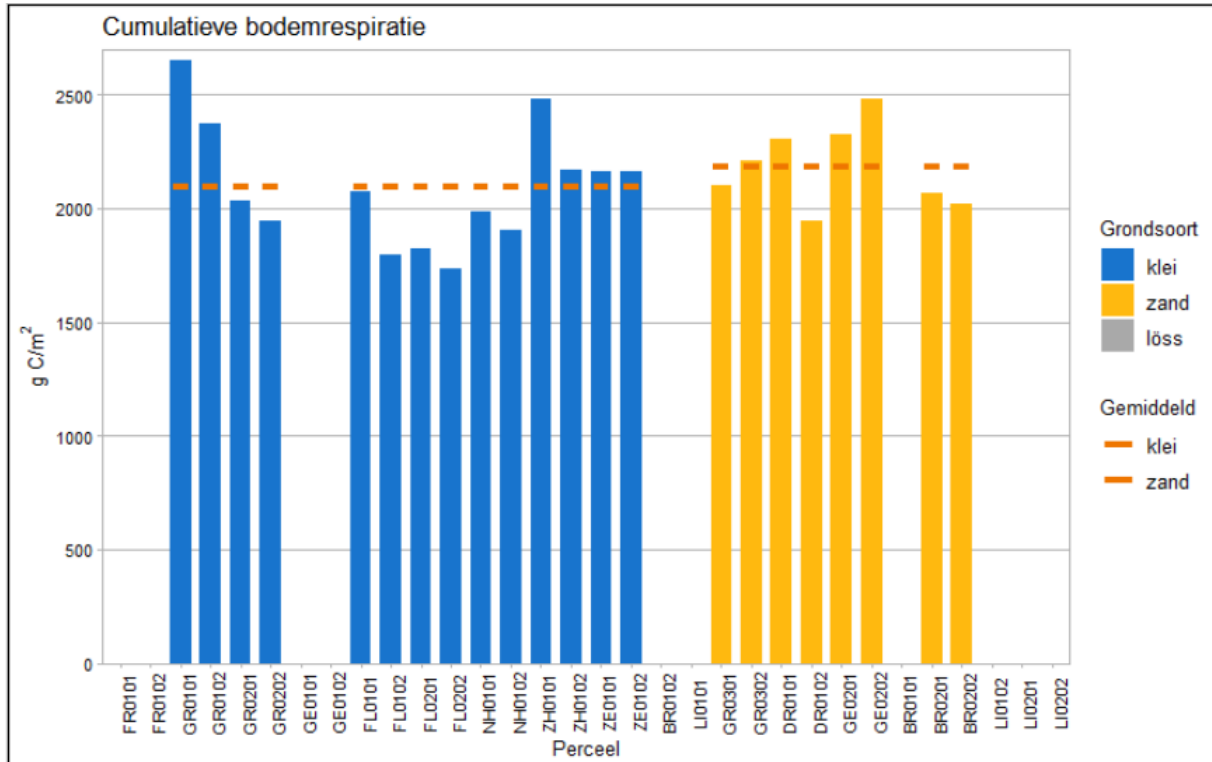


Figuur 3-51 Verhouding van PLFAs afkomstig van schimmels en bacteriën in alle gemeten percelen, het gemiddelde voor respectievelijk klei-, zand- en lössgrond is aangeduid met een oranje lijn.

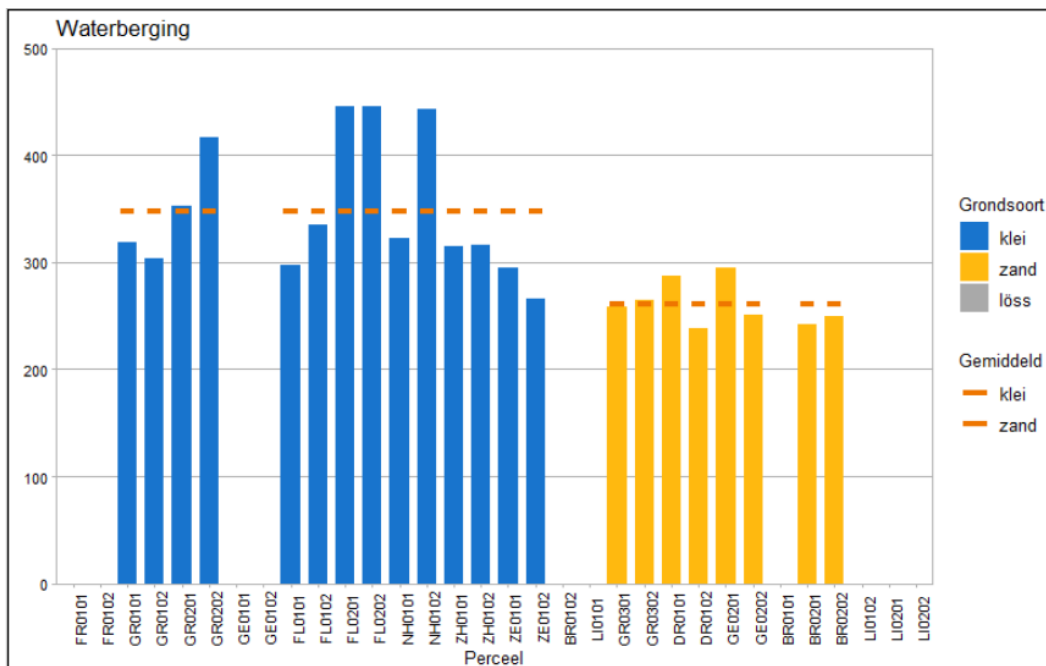
Naast de PMN is ook de cumulatieve bodemrespiratie is een benadering voor de biologische activiteit van micro-organismen en de snelheid van mineralisatie van nutriënten. Behalve van de microbiële activiteit is de cumulatieve respiratie ook afhankelijk van de kwaliteit van de organische stof die wordt afgebroken.

De gemiddelde cumulatieve bodemrespiratie is ongeveer gelijk in klei- en zandgrond. In allebei grondsoorten wordt natuurlijk wel de nodige variatie waargenomen (zie Figuur 3-52). De waterberging

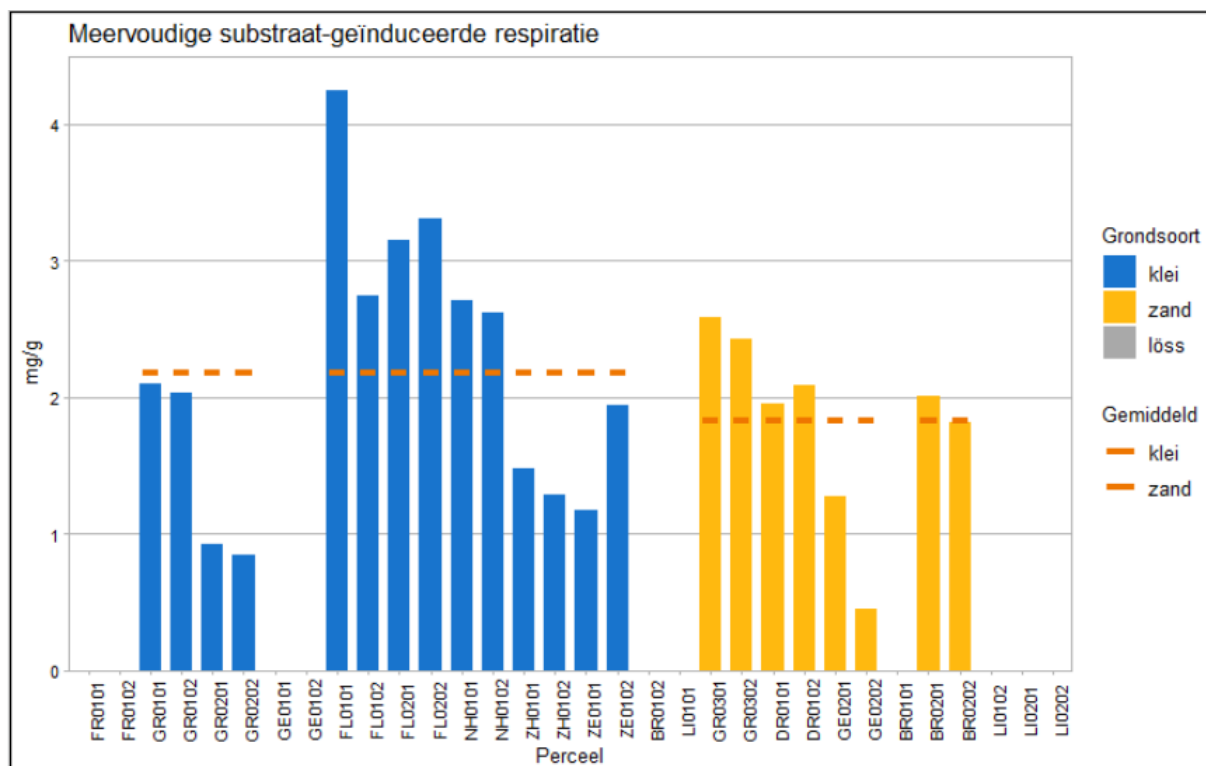
is gemiddeld hoger in klei- dan in zandgrond. Deze is gemeten om de variatie in bodemrespiratie en eventueel andere biologische parameters te verklaren. Alhoewel met name in kleigrond meer perceel-variatie wordt waargenomen zijn de meeste individuele waardes hoger dan in zandgrond (zie *Figuur 3-53*). De meervoudige substraat-geïnduceerde respiratie is gemiddeld hoger in kleigrond dan in zandgrond (zie *Figuur 3-54*). Echter in beide gronden is de variatie hoog. De Shannon diversiteitsindex is gemiddeld hoger in zand- dan in kleigrond (zie *Figuur 3-55*). Grond van de percelen in Groningen toonden de laagste Shannon index. Het moet worden opgemerkt dat de Shannon index wordt berekend uit de MSR.



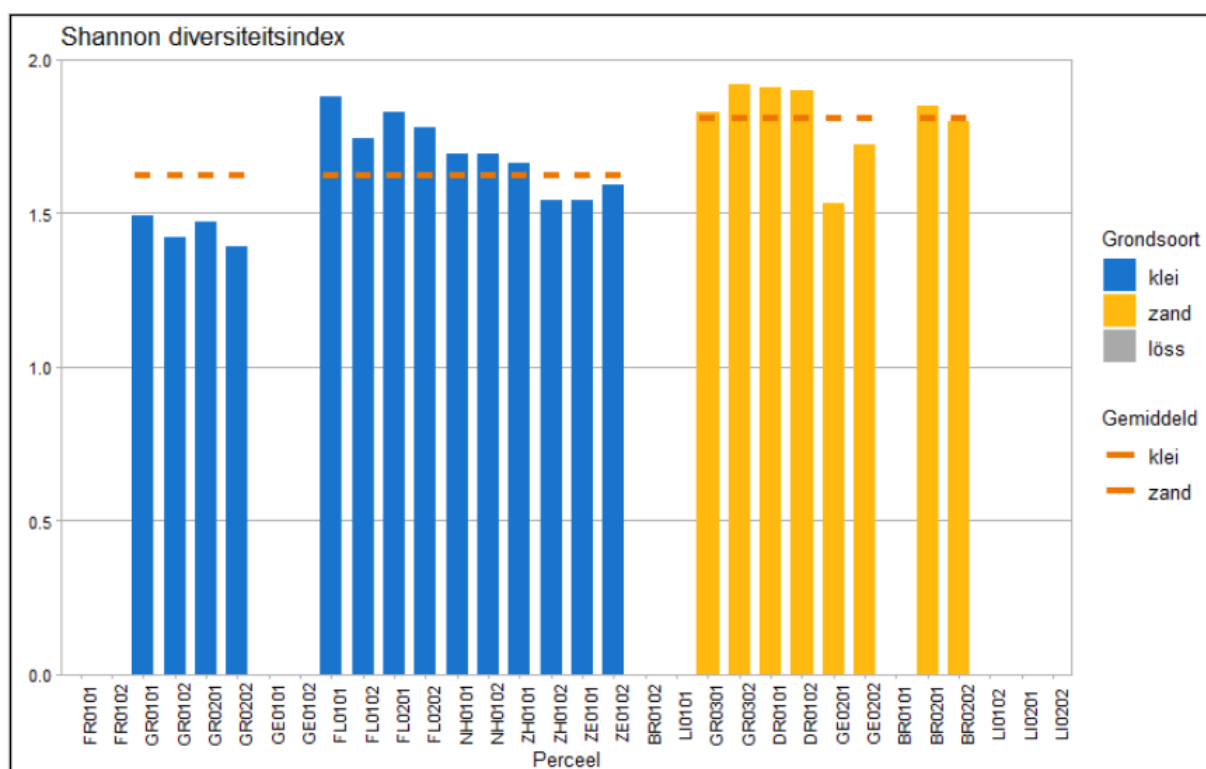
Figuur 3-52 Cumulatieve bodemrespiratie in alle gemeten percelen, het gemiddelde voor respectievelijk klei- en zandgrond is aangeduid met een oranje lijn.



Figuur 3-53 Waterberging in alle gemeten percelen, het gemiddelde voor respectievelijk klei- en zandgrond is aangeduid met een oranje lijn.



Figuur 3-54 Meervoudige substraat-geïnduceerde respiratie (MSR) in alle gemeten percelen, het gemiddelde voor respectievelijk klei- en zandgrond is aangeduid met een oranje lijn.



Figuur 3-55 Shannon diversiteitsindex in alle gemeten percelen, het gemiddelde voor respectievelijk klei- en zandgrond is aangeduid met een oranje lijn.

3.5.1.3 Nematoden

In het bedrijevnetwerk is ook onderzoek gedaan aan Plant parasitaire aaltjes (PPN). Bij de PPN gaat het om het totaal aantal PPN dat gevonden werd in zowel de minerale fractie en de incubatiefraction. Bij de Plant parasitaire aaltjes werd de soort *G. pallida/rostochiensis* slechts aangetroffen in zandgrond (zie Tabel 3-7), net als *Meloidogyne chitwoodi* en *M. fallax*. Als de beide *Meloidogyne* soorten zijn aangetroffen liggen de besmettingen doorgaans boven de shadedrempel. *M. naasi* is in klei en lössgrond gevonden, maar de shadedrempel voor deze soort is onbekend. *Paratylenchus projectus* is alleen gevonden in zandgrond, terwijl *P. microdorus* in kleigrond werd gevonden. *Trichodorus primitivus* is op enkele percelen met kleigrond aangetroffen. Enkele zand percelen zijn licht besmet met *Paratrichodorus teres*, *P. pachydermus* en *T. sparsus*. Op de löss percelen werden geen Trichodoriden gevonden. Op bijna alle klei- en zand percelen zijn aaltjes van het geslacht Tylenchorhynchus spp aangetroffen, maar niet op de löss percelen.

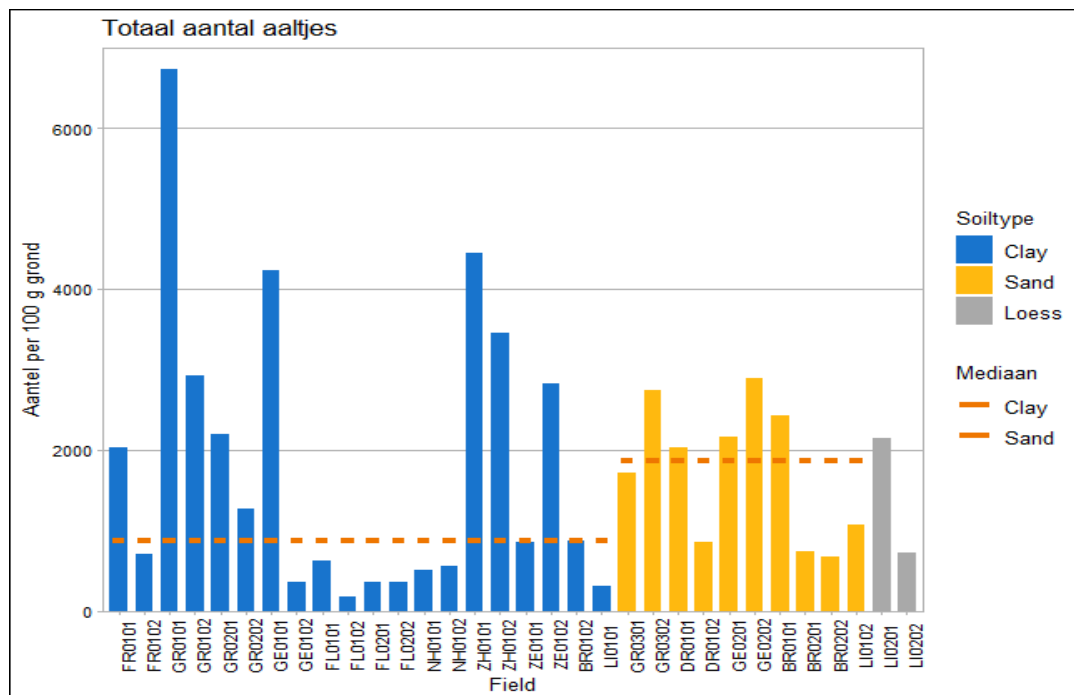
Tabel 3-7 Gemiddelden (mediaan van alle percelen, gemiddelde van alle percelen, gemiddelde van alleen de besmette percelen), zwaarste besmetting en percentage besmette percelen per grondsoort. Aantallen per 100 ml grond, m.u.v. de cysteaaltjes, deze zijn uitgedrukt in aantal per gram droge grond.

	klei (n=20)					zand (n=10)					loss (n=2)				
	mediaan	gem	gem_besmet	max	perc besmet	mediaan	gem	gem_besmet	max	perc besmet	mediaan	gem	gem_besmet	max	perc besmet
<i>G. pallida/rostochiensis</i>	0	0	0	0	0	1	4	9	21	20	0	0	0	0	0
<i>H. betae/schachtii</i>	0.01	0.01	0.09	0.15	15	0.01	0.01	0.04	0.05	20	0	0	0	0	0
niet_PPN	1162	1672	1672	5900	100	1897	2081	2081	3690	100	2154	2580	2580	4000	100
Meloidogyne spp	8	44	79	240	55	9	779	1948	6660	40	4	10	20	20	50
<i>M. chitwoodi</i>	0	0	0	0	0	8	441	1103	3663	40	0	0	0	0	0
<i>M. fallax</i>	0	0	0	0	0	3	338	1688	2997	20	0	0	0	0	0
<i>M. hapla</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>M. naasi</i>	6	51	128	240	30	0	0	0	0	0	4	10	20	20	50
<i>M. minor</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Paratylenchus spp	6	145	322	2320	45	9	102	204	640	50	35	40	40	60	100
<i>P. projectus</i>			0	0	0			345	640	20			0	0	0
<i>P. microdorus</i>			803	2320	15			0	0	0			0	0	0
Pratylenchus spp	30	185	264	1250	70	145	342	342	2030	100	18	20	20	30	100
<i>P. penetrans</i>	1	19	164	238	10	21	119	190	375	50	0	0	0	0	0
<i>P. neglectus</i>	10	132	280	1125	40	4	37	100	203	30	18	20	20	30	100
<i>P. crenatus</i>	0	0	0	0	0	23	250	400	1624	50	0	0	0	0	0
<i>P. thornei</i>	4	57	160	345	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(Para)Trichodorus spp	2	24	96	300	25	15	23	26	60	90	0	0	0	0	0
<i>P. teres</i>			0	0	0			20	20	10			0	0	0
<i>P. pachydermus</i>			0	0	0			30	40	20			0	0	0
<i>T. similis</i>			0	0	0			0	0	0			0	0	0
<i>T. primitivus</i>			152	300	15			0	0	0			0	0	0
<i>T. sparsus</i>			0	0	0			60	60	10			0	0	0
<i>T. viruliferus</i>			5	5	5			0	0	0			0	0	0
Tylenchorhynchus spp	39	83	92	390	90	23	47	59	130	80	0	0	0	0	0

Aaltjesgemeenschappen

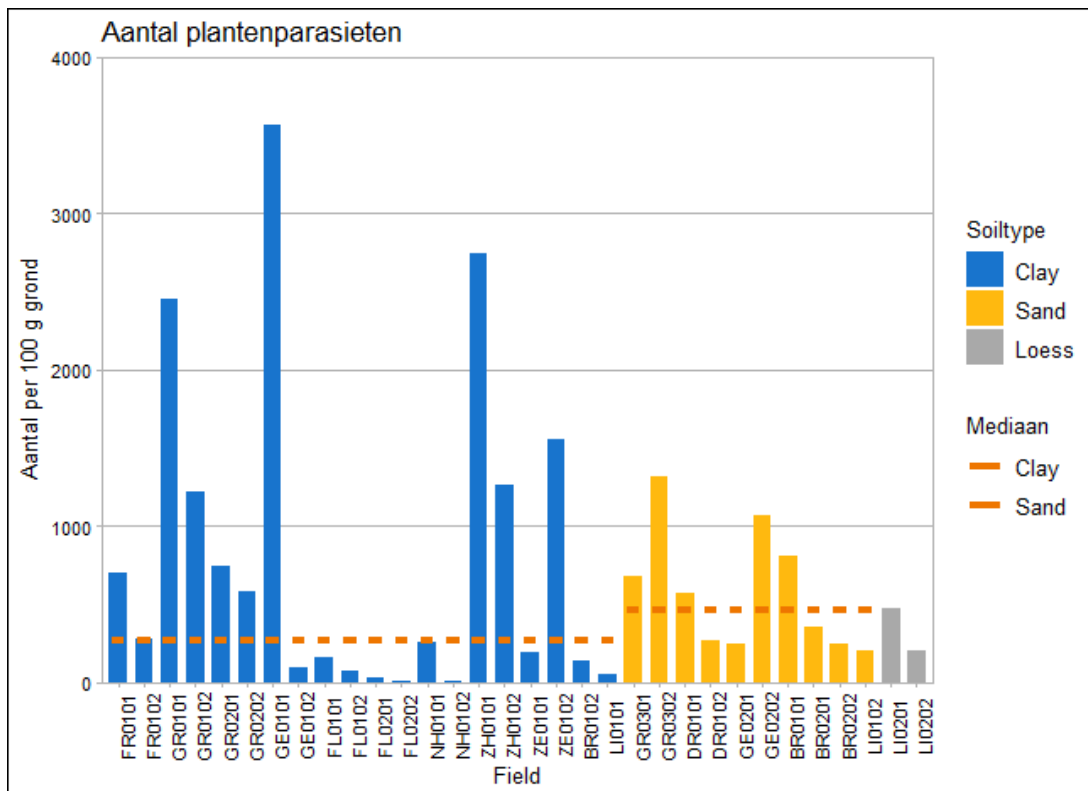
Naast het onderzoek aan plant parasitaire aaltjes zijn ook alle aaltjes in de bodem onderzocht. Nematoden of aaltjes zijn belangrijke grazers van bacteriën, schimmels en plantenwortels, en dragen bij aan de mineralisatie. Daarnaast zijn er ook predatoren (roofaaltjes) die protozoën en andere nematoden belagen. In elke bodem zitten al gauw 40-100 verschillende soorten, met naast de beruchte plant-parasitaire aaltjes ook heel veel niet plant-parasitaire aaltjes. Doordat ze zo talrijk, divers en belangrijk zijn worden ze al lang gebruikt als indicator, en verschillende indices geven een indicatie over de vruchtbaarheid en mate van verstoring in de bodem. In de grafieken met aantallen aaltjes is ter vergelijking de mediaan (middelste waarde) weergegeven, zodat uitschieters met zeer hoge waarden minder gewicht in de schaal leggen dan bij een gemiddelde. Voor löss is weergegeven van een mediaan niet mogelijk, omdat er slechts twee waarnemingen zijn. Bij de indexen speelt het probleem met extreme waarden niet en is het gemiddelde weergegeven. Met slechts twee waarnemingen voor de lössgronden is het lastig om een representatief beeld te schetsen voor deze grondsoort.

De mediaan van het totale aantal aaltjes per 100 g grond is in kleigrond lager dan in zandgrond (zie Figuur 3-56). De variatie in het totale aantal aaltjes tussen de bedrijven is groter in klei- dan in zandgronden, met uitschieters naar zowel zeer hoge als zeer lage waarden.

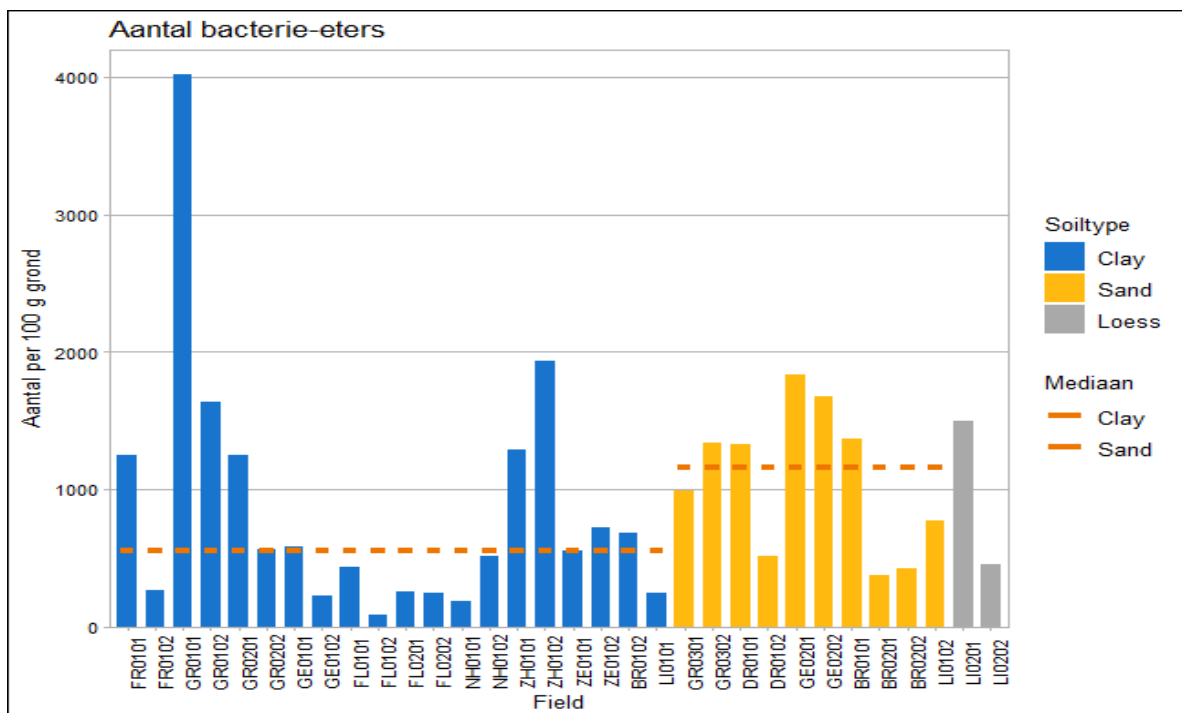


Figuur 3-56 Totaal aantal aaltjes per 100 g droge grond per bedrijf, de mediaan voor respectievelijk klei- en zandgrond is aangeduid met een oranje lijn.

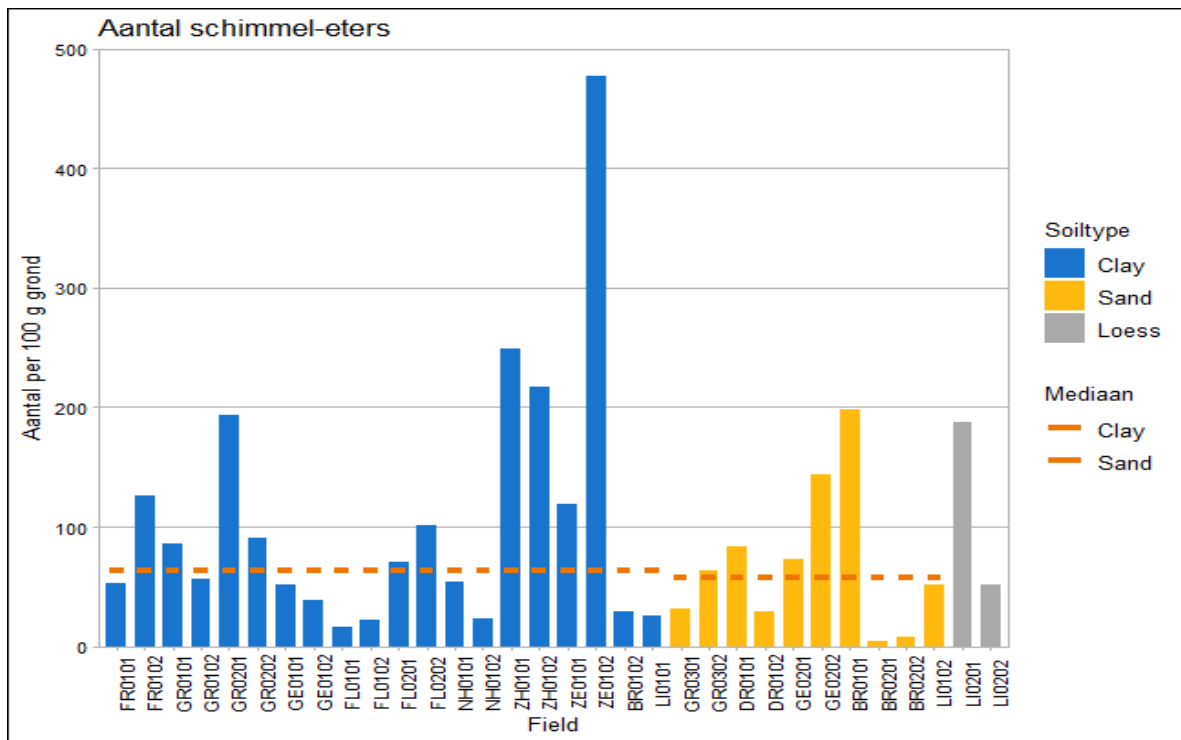
De mediaan van het aantal plantenparasieten per 100 g grond is lager in klei- dan in zandgrond (zie Figuur 3-57). Net als bij het totale aantal, is ook de variatie in het aantal plantenparasieten tussen de bedrijven groter in klei- dan in zandgrond. In het algemeen is het patroon van het totale aantal aaltjes en het aantal plantenparasieten bij de verschillende bedrijven vergelijkbaar. Ook de mediaan van het aantal bacterie-etende aaltjes per 100 g grond is lager in klei- dan in zandgrond (zie Figuur 3-58) en ook de variatie in het aantal bacterie-etters tussen de bedrijven is groter in klei- dan in zandgronden, al is deze variatie minder groot dan bij de plantenparasieten. In het algemeen is het aantal schimmeletende aaltjes in de bemonsterde gronden veel lager dan het aantal plantenparasieten en bacterie-etende aaltjes (zie Figuur 3-59). De mediaan van het aantal schimmeletende aaltjes per 100 g grond is iets hoger in klei- dan in zandgrond. Ook hier zijn de extremen groter in klei- dan in zandgronden.



Figuur 3-57 Aantal plantenparasieten per 100 g droge grond per bedrijf, de mediaan voor respectievelijk klei- en zandgrond is aangeduid met een oranje lijn.

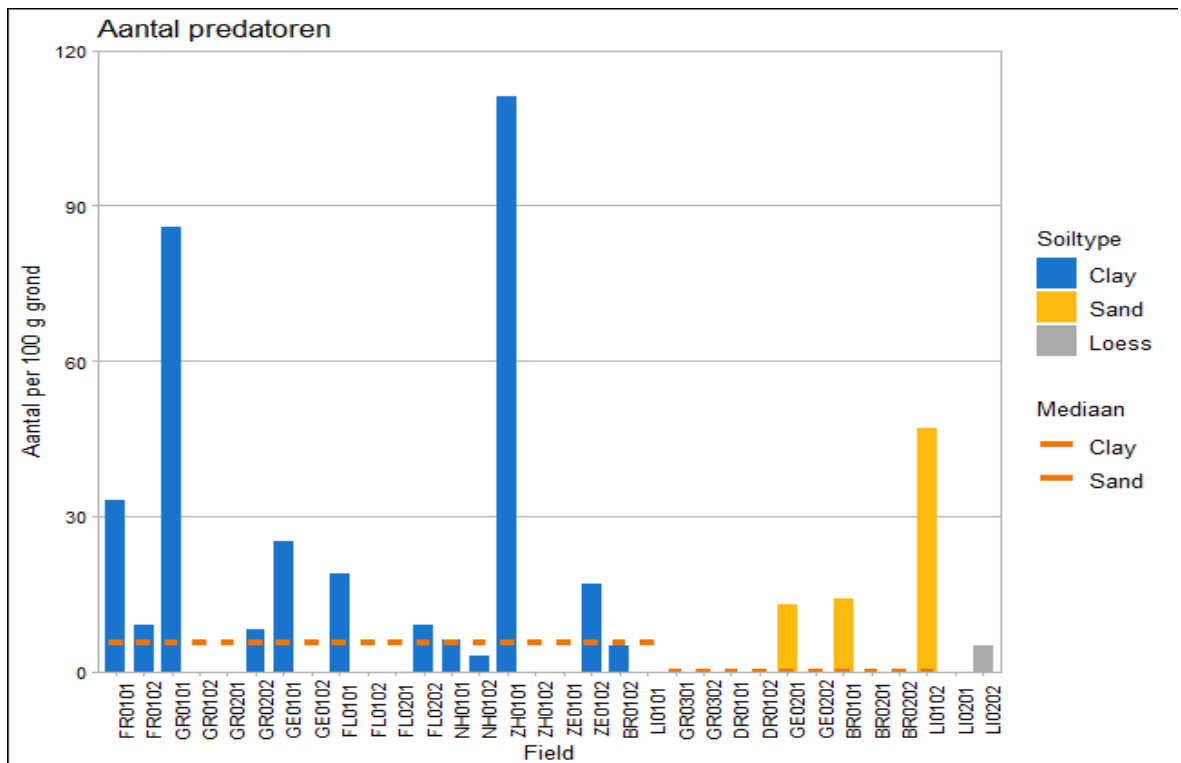


Figuur 3-58 Aantal bacterie-etters per 100 g droge grond per bedrijf, de mediaan voor respectievelijk klei- en zandgrond is aangeduid met een oranje lijn.

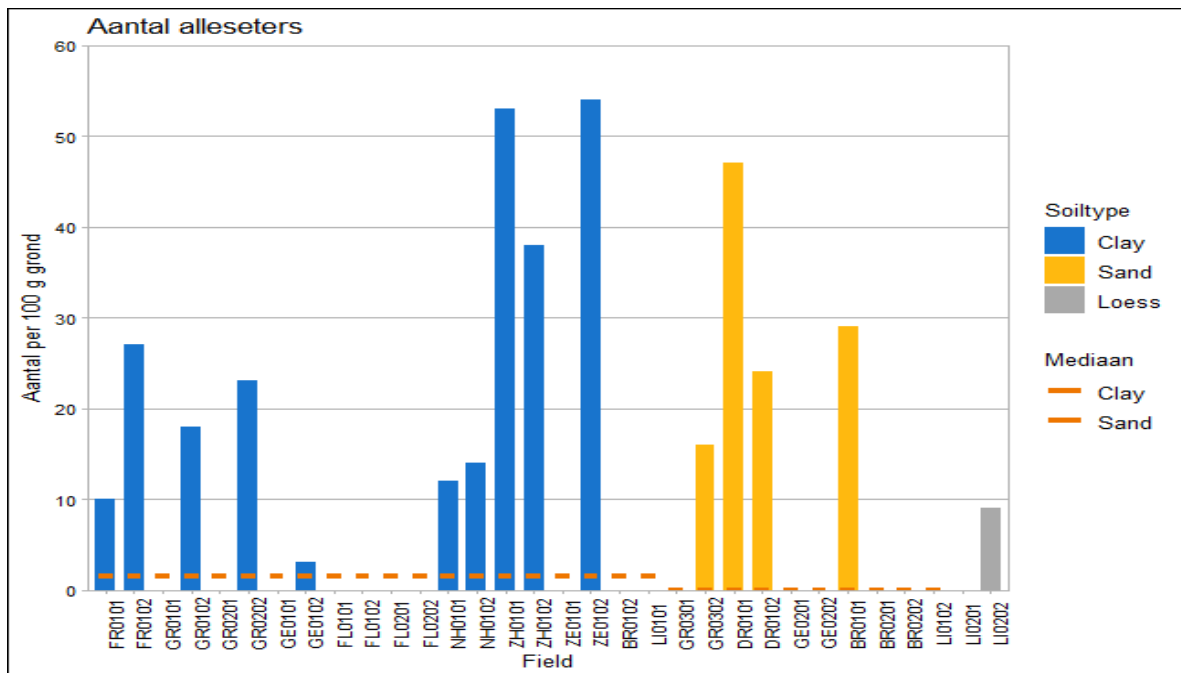


Figuur 3-59 Aantal schimmel-eters per 100 g droge grond per bedrijf, de mediaan voor respectievelijk klei- en zandgrond is aangeduid met een oranje lijn.

Het aantal predatoren per 100 g grond is veel lager dan van de andere groepen aaltjes, wat gebruikelijk is voor organismen in de top van de voedselketen (zie Figuur 3-60). De mediaan van het aantal predatoren in kleigrond is hoger dan in zandgrond, waar de mediaan nul is. Ook hier is de variatie groot en worden op veel bedrijven geen en op een aantal bedrijven hogere aantallen predatoren gevonden. Het aantal alleseters per 100 g grond, net als het aantal predatoren, is laag vergeleken met de andere groepen (zie Figuur 3-61). De mediaan van het aantal alleseters is iets hoger in klei- dan in zandgrond, waar de mediaan nul is. Er zijn veel bedrijven waar geen alleseters in de grond zijn aangetroffen, terwijl deze op een aantal andere bedrijven wel zijn gevonden.

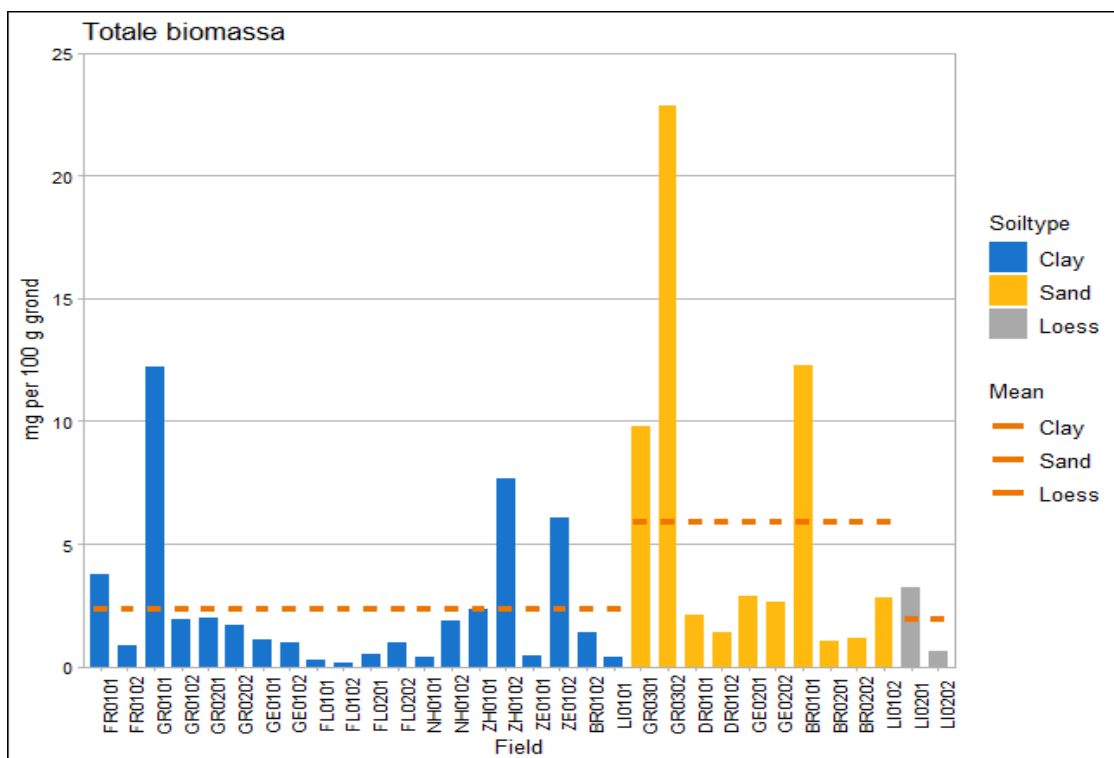


Figuur 3-60 Aantal predatoren per 100 g droge grond per bedrijf, de mediaan voor respectievelijk klei- en zandgrond is aangeduid met een oranje lijn.



Figuur 3-61 Aantal alleseters per 100 g droge grond per bedrijf voor klei- (blauw), zand- (geel) en lössgronden (grijs); de mediaan voor respectievelijk klei- en zandgrond is aangeduid met een oranje lijn.

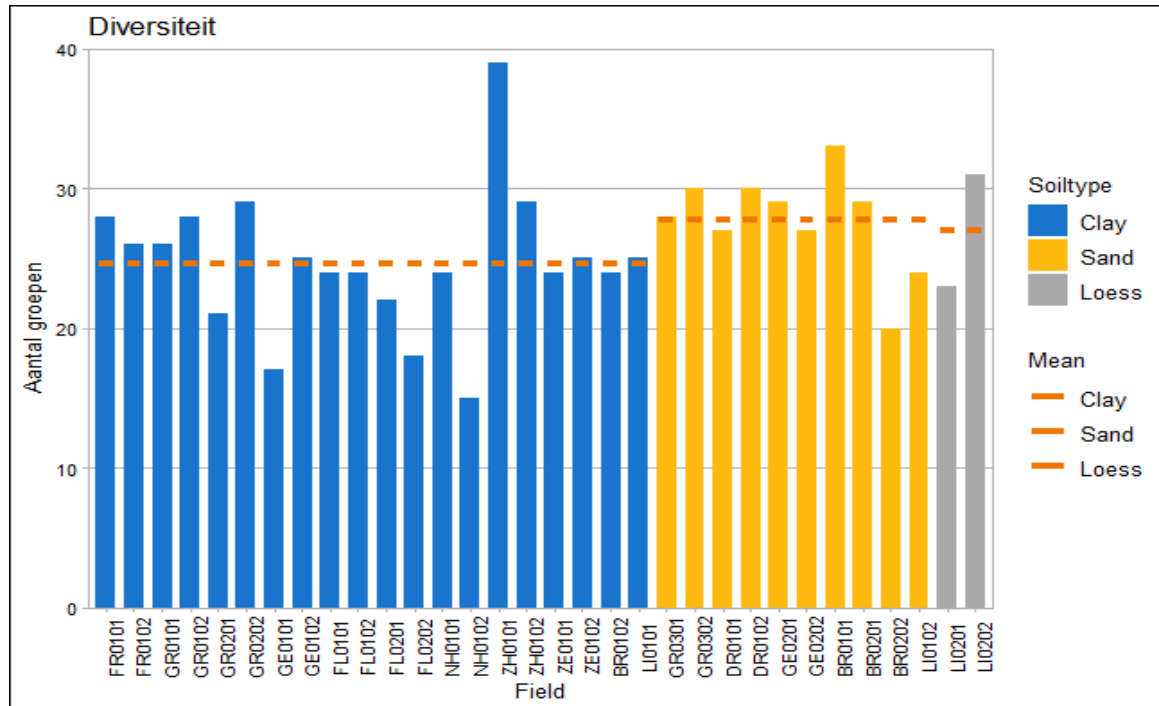
De gemiddelde totale biomassa aan aaltjes per 100 g grond is lager in klei- en löss- dan in zandgrond (zie Figuur 3-62). De biomassa is zowel gerelateerd aan het totale aantal aaltjes als aan de gevonden groepen, omdat er verschillen zijn in grootte tussen de aaltjes. Net als bij de aantallen is ook de variatie in biomassa tussen de bedrijven groot. De diversiteit, dat wil zeggen het aantal verschillende groepen aaltjes, is iets lager in klei- dan in zand- en lössgronden (zie Figuur 3-63). Er zijn een aantal uitschieters naar boven en naar beneden, maar de gevonden diversiteit ligt op veel bedrijven dicht bij het gemiddelde.



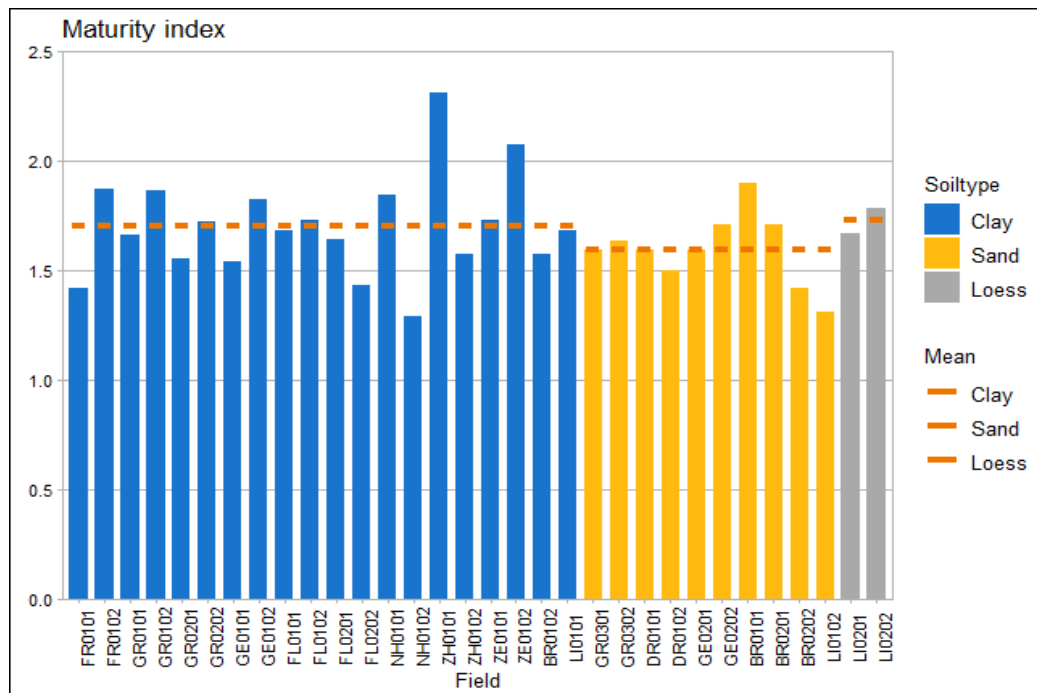
Figuur 3-62 Totale aaltjesbiomassa (mg per 100 g droge grond), en het gemiddelde voor respectievelijk klei- en zand- en lössgrond is aangeduid met een oranje lijn.

Aaltjesgroepen kunnen worden ingedeeld op basis van een CP-waarde (Colonizer-Persister waarde), die kan variëren van 1 tot 5. Deze waarden zijn toegekend afhankelijk van de levensstrategie van de aaltjes.

De aaltjes met een lage CP-waarde hebben een korte levenscyclus, produceren veel nakomelingen en kunnen snel reageren op een toename in voedsel. Aaltjes met een hoge CP-waarde hebben een langere levenscyclus, produceren weinig nakomelingen en zijn gevoelig voor verstoringen. Verschuivingen tussen CP-groepen kunnen worden weergegeven met indices, zoals de Maturity Index (MI). De MI is gebaseerd op alle aaltjesgroepen, met uitzondering van de plantenparasieten. De gemiddelde MI is 1,70 voor klei-, 1,60 voor zand- en 1,73 voor lössgrond (zie Figuur 3-64). De verschillen tussen de bedrijven zijn niet heel groot, al is er een aantal die wat afwijkt.



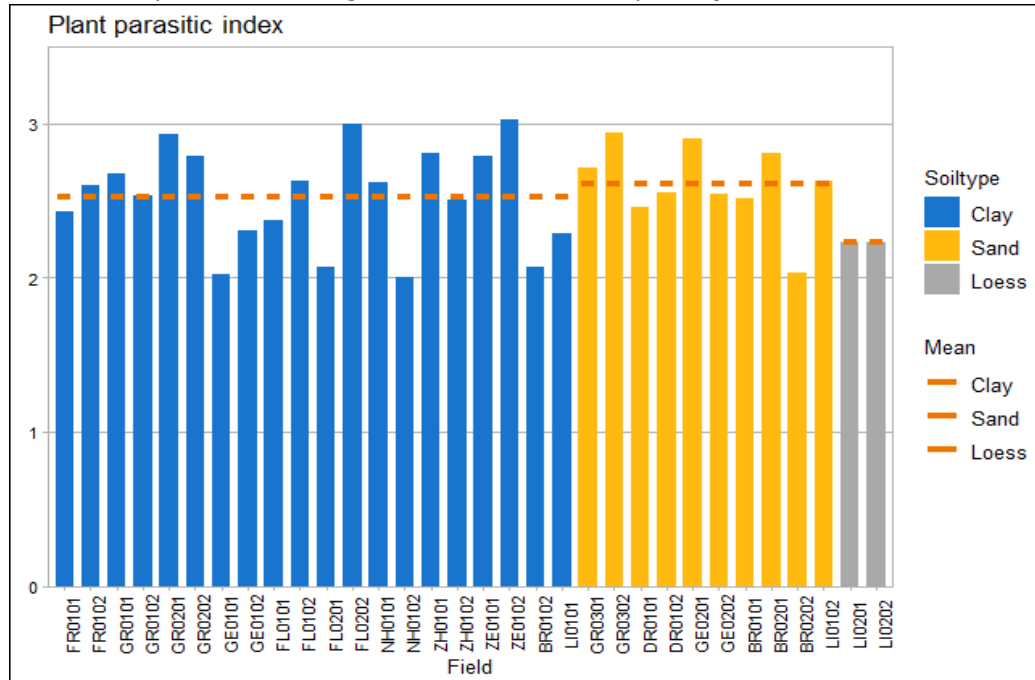
Figuur 3-63 Aaltjesdiversiteit per bedrijf (aantal groepen), en het gemiddelde voor respectievelijk klei- en zand- en lössgrond is aangeduid met een oranje lijn.



Figuur 3-64 Maturity Index (MI) per bedrijf, en het gemiddelde voor respectievelijk klei- en zand- en lössgrond is aangeduid met een oranje lijn.

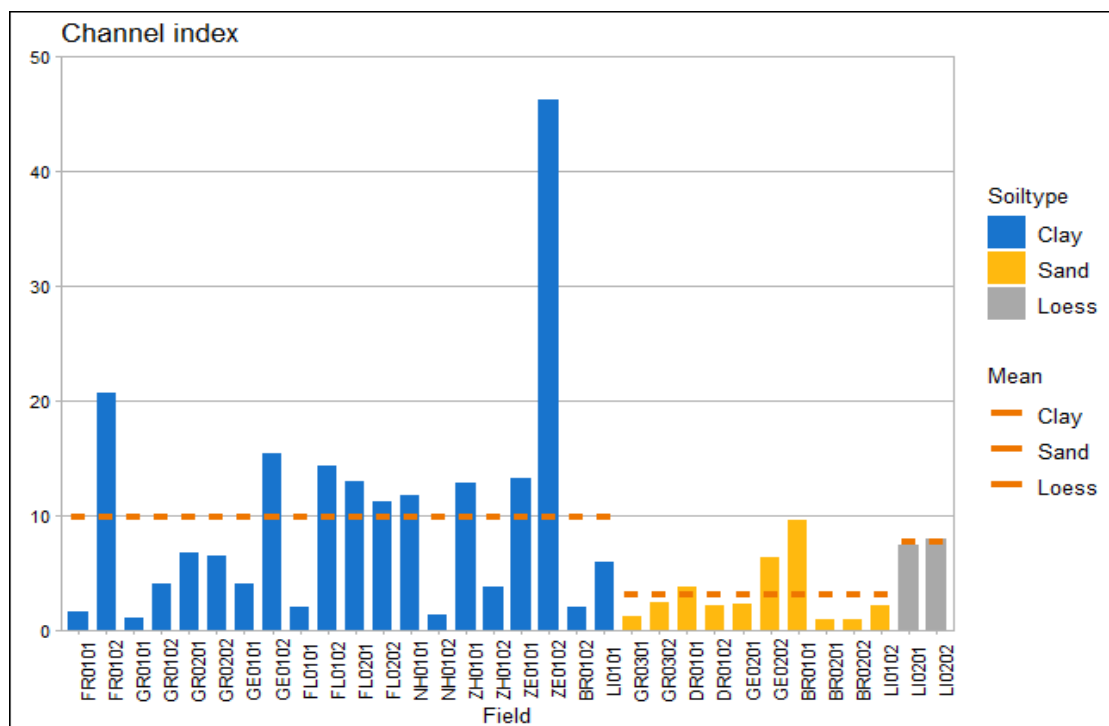
Parasitic Index (PPI) is gebaseerd op dezelfde classificatie in CP-waarden als de MI, maar is alleen gebaseerd op de plantenparasieten. De waarden van de PPI zijn wat hoger dan van de MI, wat gebruikelijk is in akkergrond (zie Figuur 3-65). In tegenstelling tot de MI is de gemiddelde PPI van de

kleigronden juist iets lager dan van de zandgronden, en nog iets lager voor löss. Deze tegengestelde trend is niet per definitie terug te zien in de waarden op bedrijfsniveau.



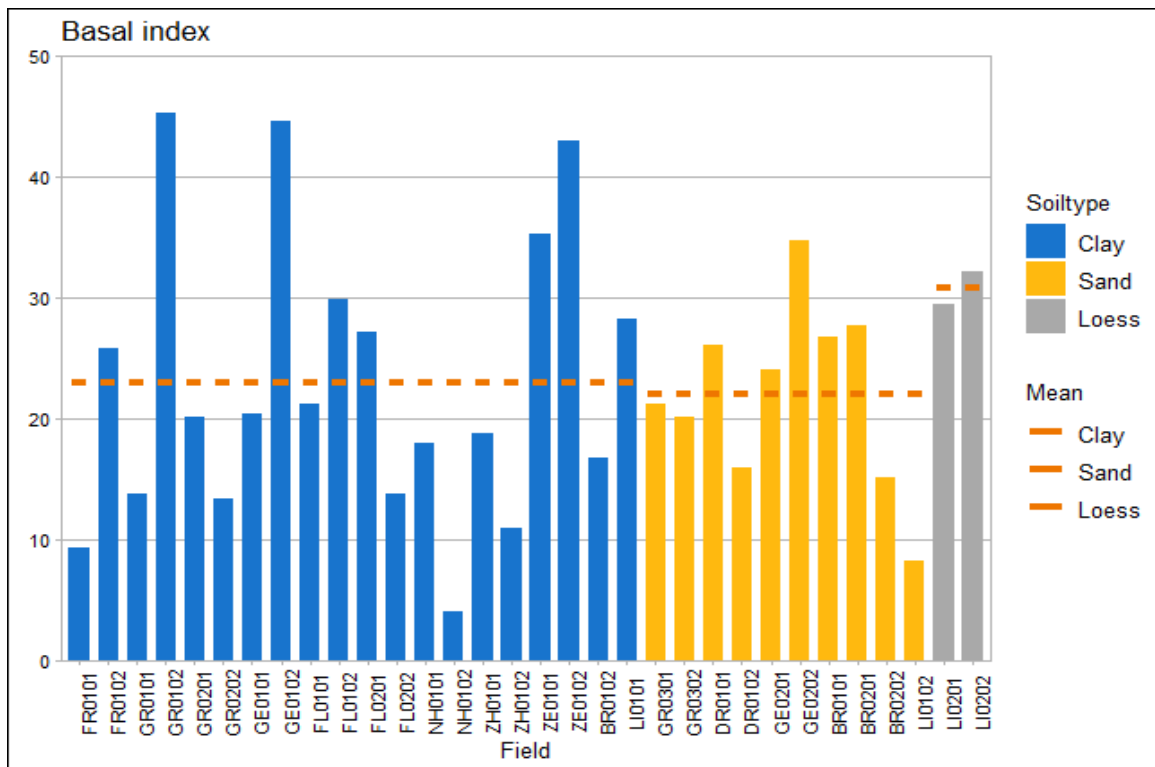
Figuur 3-65 Plant Parasitic Index per bedrijf, en het gemiddelde voor respectievelijk klei- en zand- en lössgrond is aangeduid met een oranje lijn.

De Channel Index (CI) geeft weer of de aaltjesgemeenschap meer is gedomineerd door schimmel-etende (hogere waarden) of bacterie-etende aaltjes (lage waarden). In het algemeen zijn de CI-waarden in alle akkerbouwgronden laag (zie Figuur 3-66). De waarden van de CI in klei- zijn hoger dan in zandgronden, met een grotere spreiding rond het gemiddelde dan voor de MI en PPI.



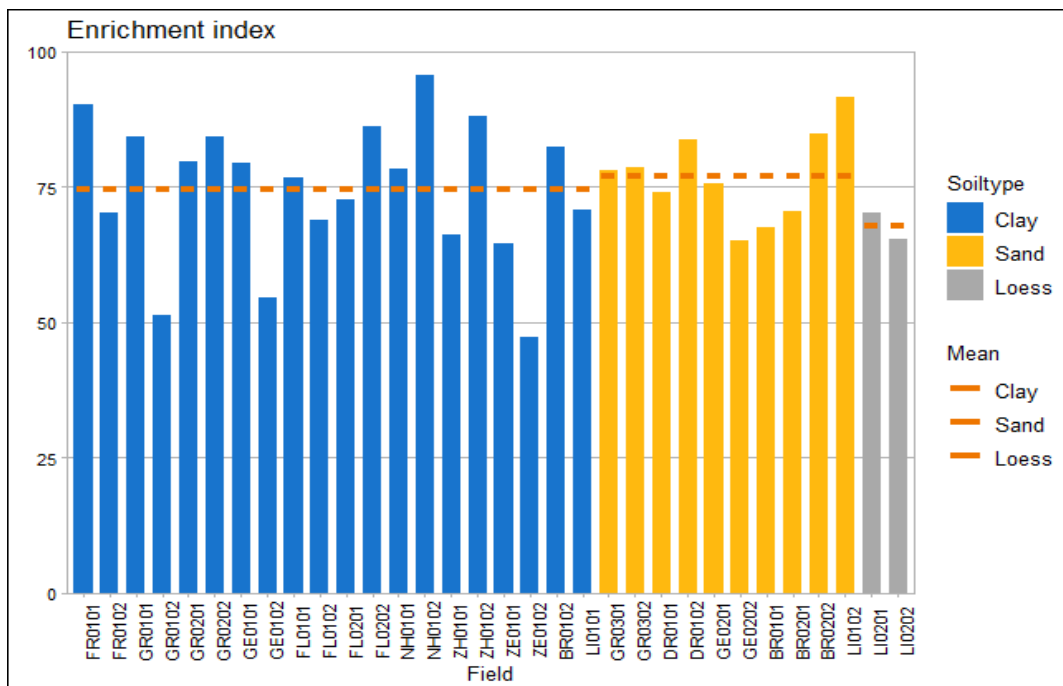
Figuur 3-66 Channel Index per bedrijf, en het gemiddelde voor respectievelijk klei- en zand- en lössgrond is aangeduid met een oranje lijn.

De Basal Index (BI) is een indicatie voor de mate van voorkomen van aaltjes met een hoge stresstolerantie. Er is weinig verschil in de gemiddelde hoogte van de BI tussen de klei- en zandgronden, terwijl de BI voor de lössgronden wat hoger is (zie Figuur 3-67). De variatie in de waarde van de BI tussen de bedrijven is hoger voor klei- dan voor zandgronden.



Figuur 3-67 Basal Index (BI) per bedrijf, en het gemiddelde voor respectievelijk klei- en zand- en lössgrond is aangeduid met een oranje lijn.

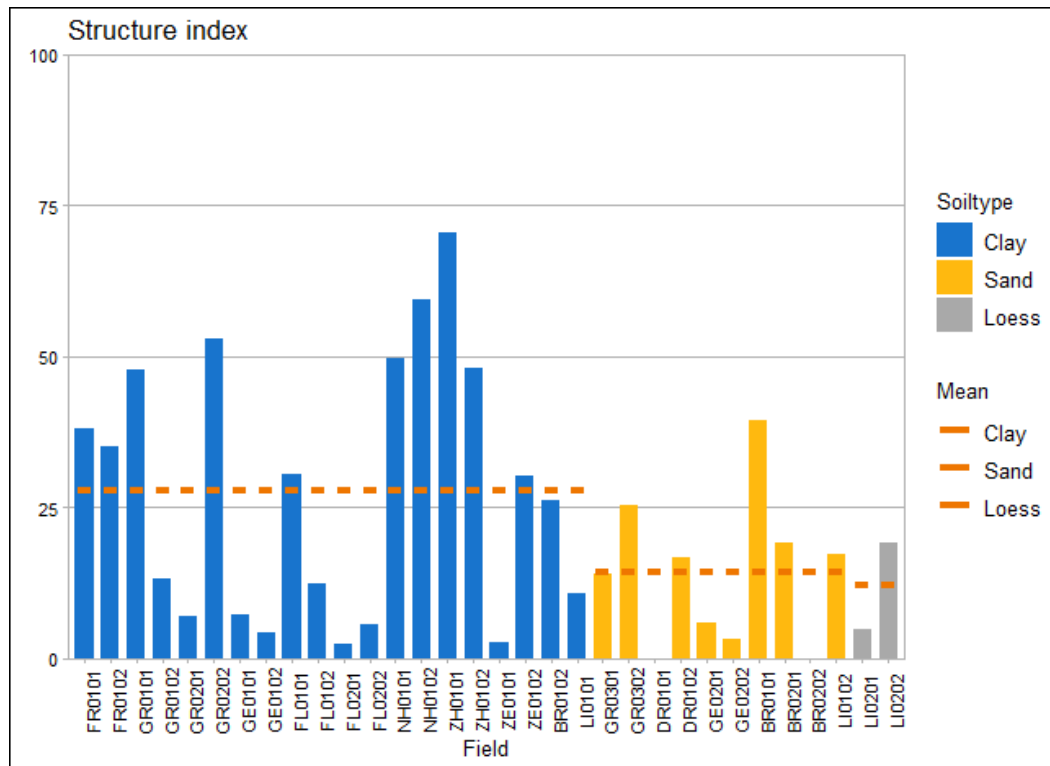
De Enrichment Index (EI) is een maat voor de aanwezigheid van aaltjes die snel reageren op een toename in voedselaanbod. De EI is voor alle bemonsterde gronden hoog, met nauwelijks verschil in gemiddelde tussen klei- en zandgronden (zie Figuur 3-68). Dit geeft aan dat het voedselaanbod voor de aaltjes hoog is. Ook voor de EI is de variatie tussen de bedrijven op kleigrond groter dan tussen de bedrijven op zandgrond.



Figuur 3-68 Enrichment Index per bedrijf, en het gemiddelde voor respectievelijk klei- en zand- en lössgrond is aangeduid met een oranje lijn.

De Structure Index (SI) is een maat voor de complexiteit, structuur en interacties tussen aaltjes in de grond. Lagere waarden geven aan dat het voedselweb basaal is met voornamelijk bacterie- en schimmelaars met lage CP-waarden. Hogere waarden van de SI daarentegen zijn een indicatie voor een complexer voedselweb, waarin ook groepen voorkomen die gebruik maken van andere voedselbronnen (zoals predatoren en omnivoren) en met hogere CP-waarden. Dit zijn nematoden die

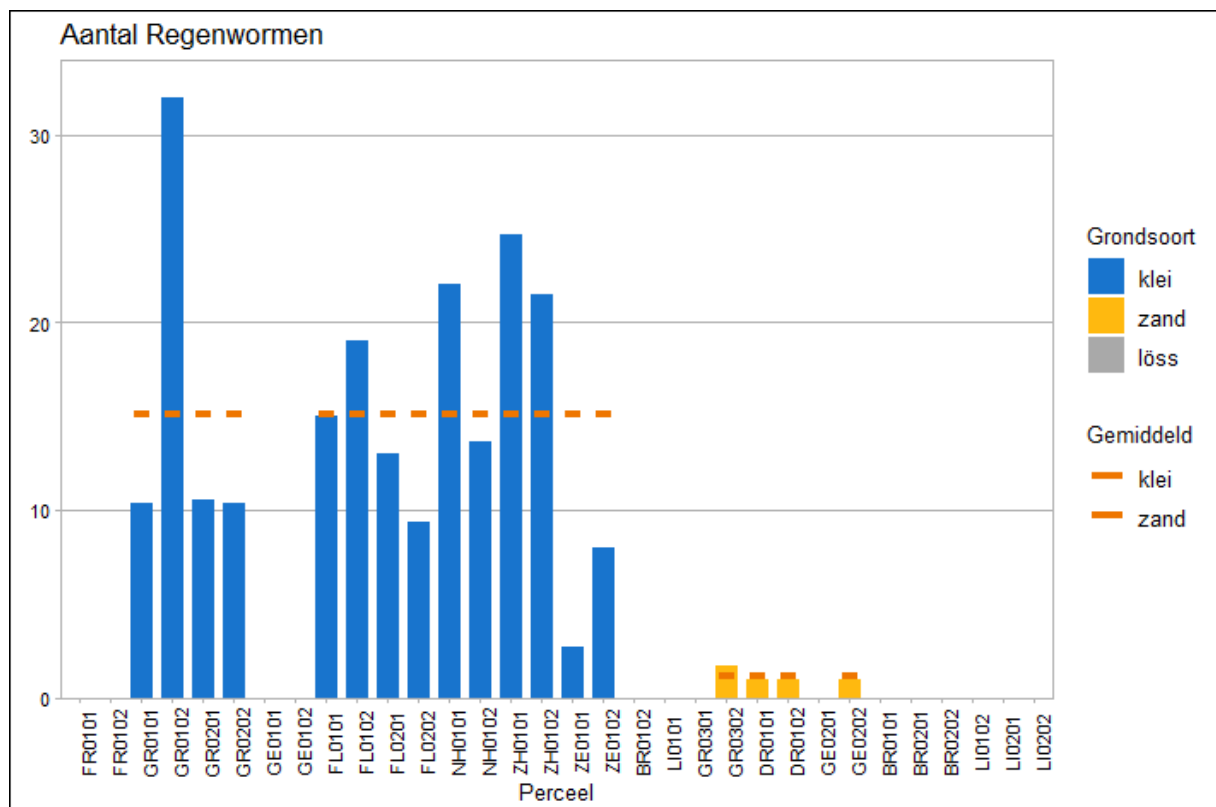
gevoeliger zijn voor versterking (zie Figuur 3-69). De gemiddelde gevonden SI is vrij laag, waarbij de gemiddelde SI van de kleigronden hoger is dan van de zandgronden. Voor beide grondtypen is de variatie tussen de verschillende bedrijven vrij groot.



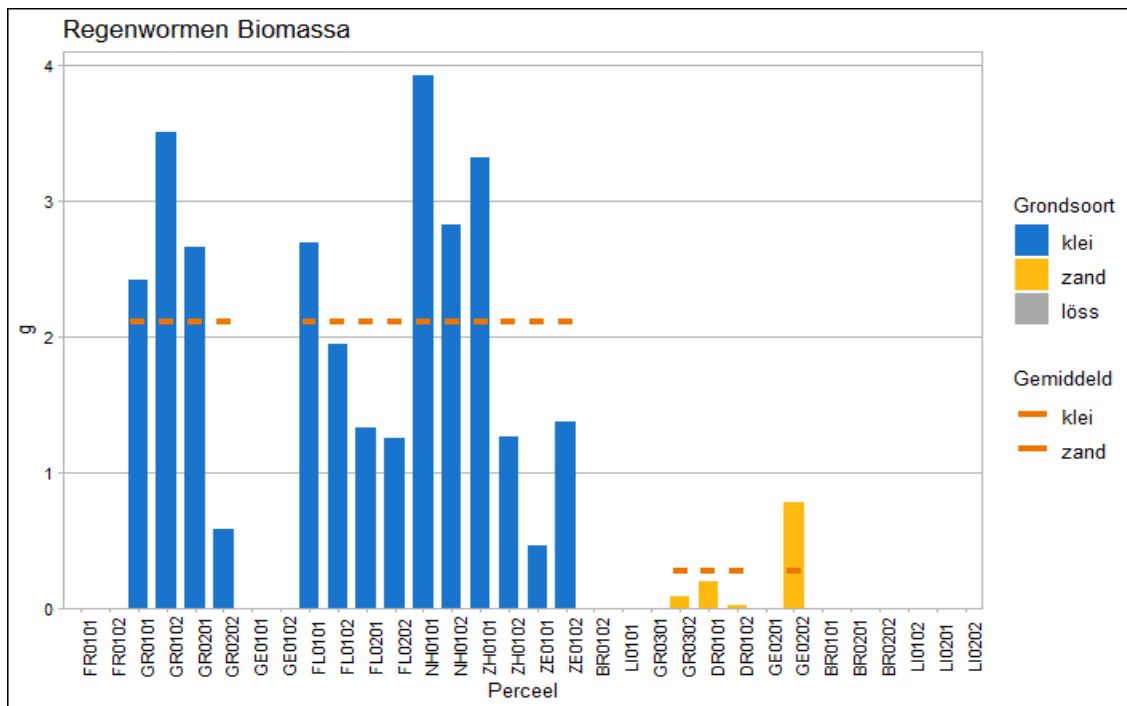
Figuur 3-69 Structure Index per bedrijf, en het gemiddelde voor respectievelijk klei- en zand- en lössgrond is aangeduid met een oranje lijn.

3.5.1.4 Regenwormen

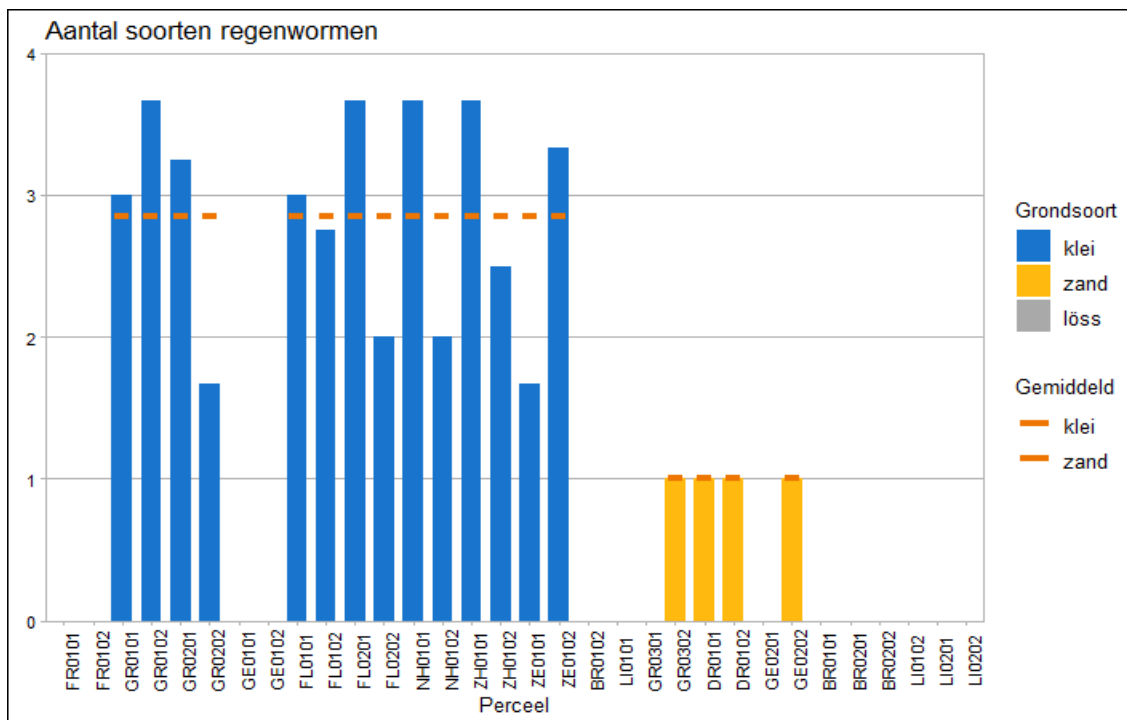
Grotere bodemdieren, met name regenwormen, spelen een grote rol in de bodemkwaliteit. Regenwormen zijn bekend om hun rol in de afbraak van organisch materiaal, de mineralisatie van nutriënten en het verbeteren van de bodemstructuur. Door deze activiteiten zijn regenwormen betrokken bij het vergroten van de bodemdiversiteit en de plantengroei. In deze studie is daarom zowel het aantal regenwormen op een deel van de percelen gemeten als de biomassa en het aantal soorten. Omdat verschillende soorten actief zijn in verschillende bodemlagen is een diverse gemeenschap van verschillende soorten gunstig voor de bodemvruchtbaarheid. Regenwormen zijn niet in alle percelen gemeten. In de grafieken hebben de niet-gemeten percelen een waarde van 0. Perceel BR202 is wel bemonsterd, maar er werden geen wormen gevonden. Het aantal regenwormen was gemiddeld hoger in kleigrond. In zandgrond zijn maar weinig wormen gevonden (zie Figuur 3-70). Ook de biomassa van regenwormen is hoger in klei- dan in zandgrond. De spreiding is in kleigrond ook groot (zie Figuur 3-71). Het gemiddelde aantal soorten is hoger in klei- dan in zandgronden. In zandgronden werd doorgaans maar een soort gevonden (zie Figuur 3-72).



Figuur 3-70 Aantal regenwormen in alle gemeten percelen, het gemiddelde voor respectievelijk klei- en zandgrond is aangeduid met een oranje lijn.



Figuur 3-71 Regenworm biomassa in alle gemeten percelen, het gemiddelde voor respectievelijk klei- en zandgrond is aangeduid met een oranje lijn.



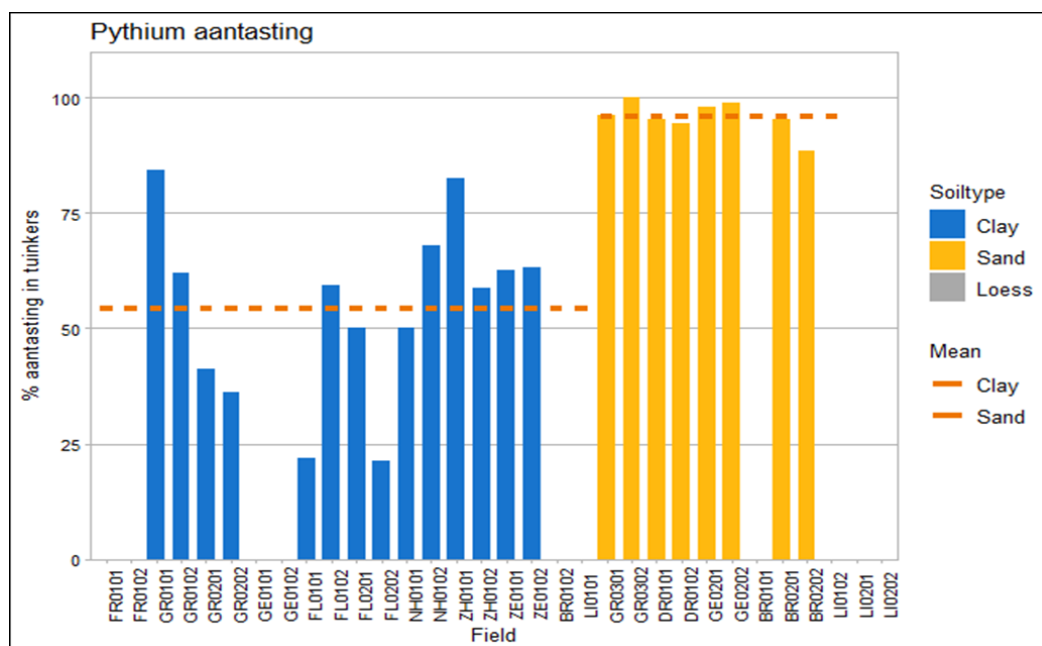
Figuur 3-72 Aantal regenworm-soorten in alle gemeten percelen, het gemiddelde voor respectievelijk klei- en zandgrond is aangeduid met een oranje lijn.

3.5.2 Ziektewering

Een andere belangrijke functie van het (microbiële) bodemleven is het ziekteverwendende vermogen. Ziekteverwendende gronden kenmerken zich erdoor dat ziekteverwekkers zich niet kunnen vestigen, geen ziekte veroorzaken of dat de ziekte incidentie snel afneemt (Schlatter, et al., 2017). Een generalistische ziekteverwendende wordt vooral in verband gebracht met een divers bodemleven dat ziekteverwekkers door competitie en antagonistische werking onderdrukt. *Pythium ultimum*, veroorzaker van de omvalziekte, is waarschijnlijk gevoelig voor deze generalistische ziekteverwendende. Een hoge microbiële biomassa en microbiële activiteit was gecorreleerd met een tragere groei van *P. ultimum* (Van Os and Van Ginkel, 2001). Een specifieke ziekteverwendende, daarentegen, is afhankelijk van enkele antagonistische micro-organismen die in staat zijn om een specifieke ziekte te onderdrukken. Dit is het geval voor *Rhizoctonia solani*, die kan worden gecontroleerd door *Pseudomonas*, *Streptomyces* en *Lysobacter* soorten (Postma, et al., 2008). Ziekteverwendende kan worden bepaald door een biotoets waarbij grond uit het veld wordt vermengd met de ziekteverwekker. Vervolgens worden gevoelige planten ingezaaid en de ziekte incidentie wordt bepaald. Omdat deze toets plaats vindt onder gecontroleerde omstandigheden kan de ziekteverwendende onafhankelijk van andere omstandigheden, zoals het weer, worden bepaald.

3.5.2.1 Pythium

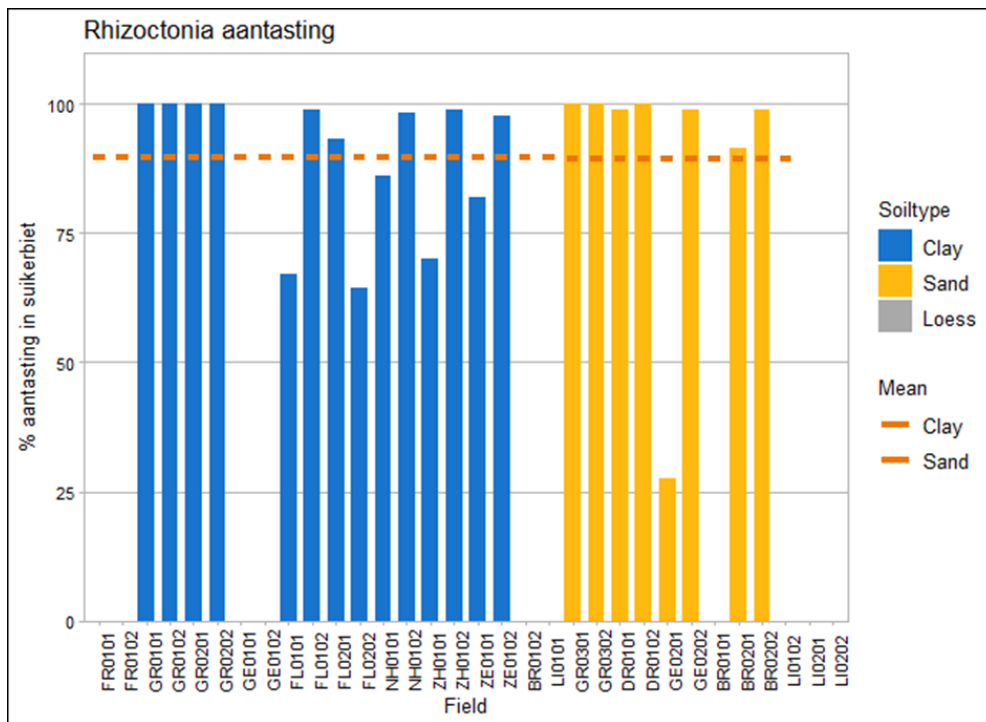
In *Figuur 3-74* is te zien dat in alle zandgronden tuinkers maximaal ziek wordt, er is dus geen ziekteverwendende. In kleigrond wordt de tuinkers gemiddeld minder aangetast. Hier zijn echter ook percelen die heel weinig worden aangetast: GR0201, GR0202, FL0101, FL0202. Deze zijn dus het meest ziekteverwendende. Interessant is dat soms 1 van de 2 percelen van een bedrijf duidelijk ziekteverwendender is dan het andere perceel.



Figuur 3-73 Aantasting (% oppervlak) in tuinkers na Pythium inoculatie en gemiddelde per grondsoort, blauwe en gele staven zijn respectievelijk klei- en zandgrond. LSD = 14,7

3.5.2.2 Rhizoctonia

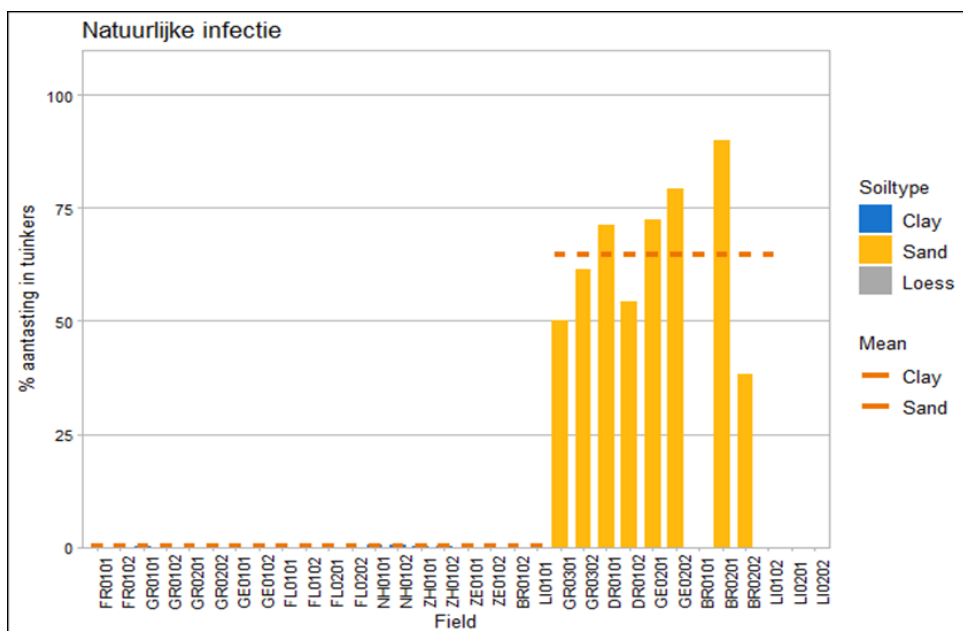
Rhizoctonia ziekteverwendende kwam veel minder voor, in totaal in slechts vier van de tweeëntwintig percelen (zie *Figuur 3-75*). De ziekteverwendende bleek niet grondsoort afhankelijk. Opvallend was dat niet beide maar slechts één perceel van een bedrijf ziekteverwendende was.



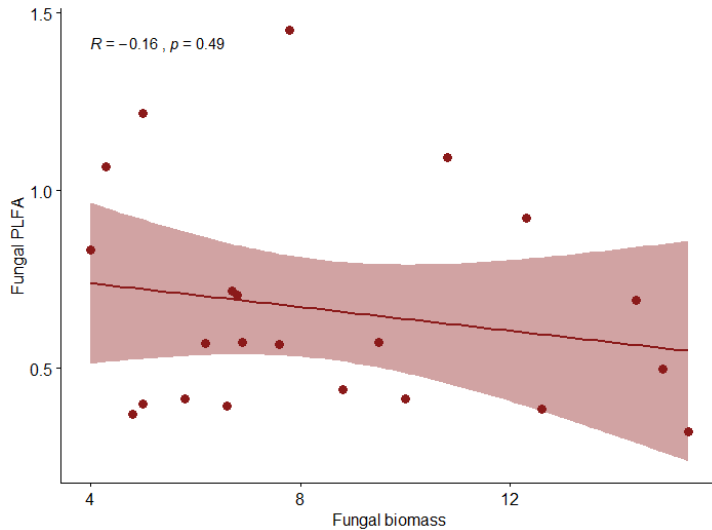
Figuur 3-74 Aantasting (% oppervlak) in suikerbiet na *Rhizoctonia* inoculatie en gemiddelde per grondsoort, blauwe en gele staven zijn respectievelijk klei- en zandgrond. LSD = 11,8

Voor het tuinkers toetsysteem geldt dat er soms al een natuurlijke infectie in de grond aanwezig is die de tuinkers aantast (zie Figuur 3-76). Dit is eigenlijk alleen in de zandgronden het geval.

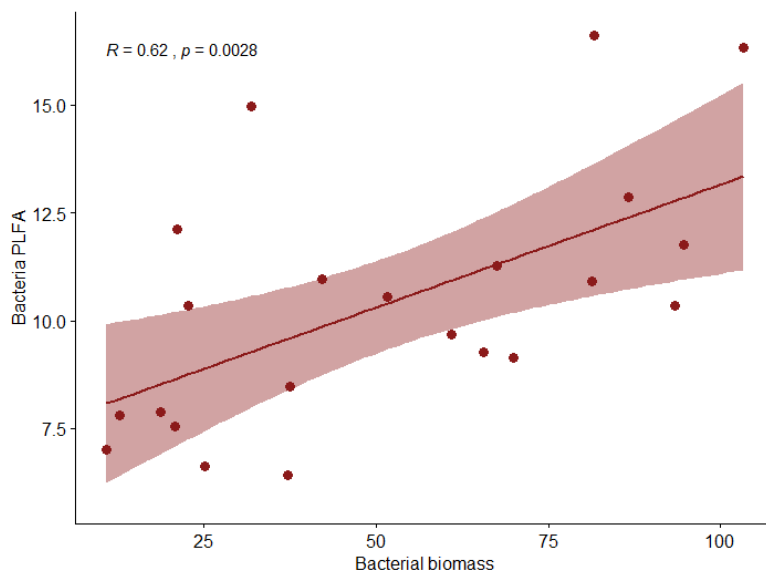
De ziektevering van een perceel kan verschillen per ziekteverwekker. In Figuur 3-76 zie je dat de mate van *Pythium* en *Rhizoctonia* aantasting verschillen in een perceel.



Figuur 3-75 Aantasting (% oppervlak) in tuinkers zonder inoculatie en gemiddelde per grondsoort, blauwe en gele staven zijn respectievelijk klei- en zandgrond. LSD = 4,3

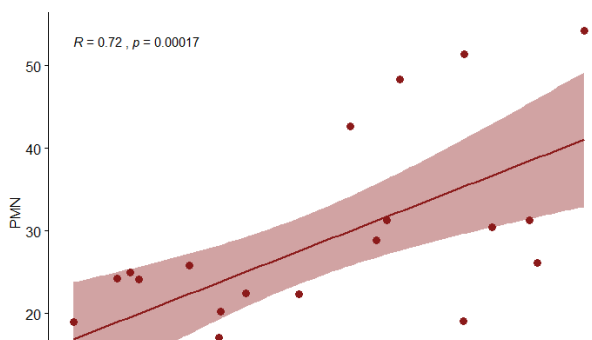


Figuur 3-77 Spearman correlatie tussen PLFAs afkomstig van schimmels en schimmel biomassa gemeten met een microscopische methode. De rode lijn is het resultaat van de voorspelling van een lineair model met de onzekerheid aangeduid in een rode halo.

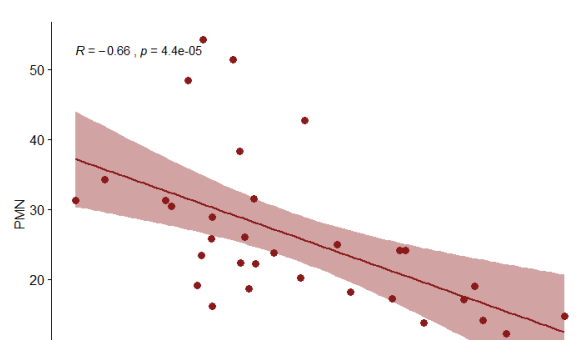


Figuur 3-78 Spearman correlatie tussen PLFAs afkomstig van bacteriën en bacteriebiomassa gemeten met een microscopische methode. De rode lijn is het resultaat van de voorspelling van een lineair model met de onzekerheid aangeduid in een rode halo.

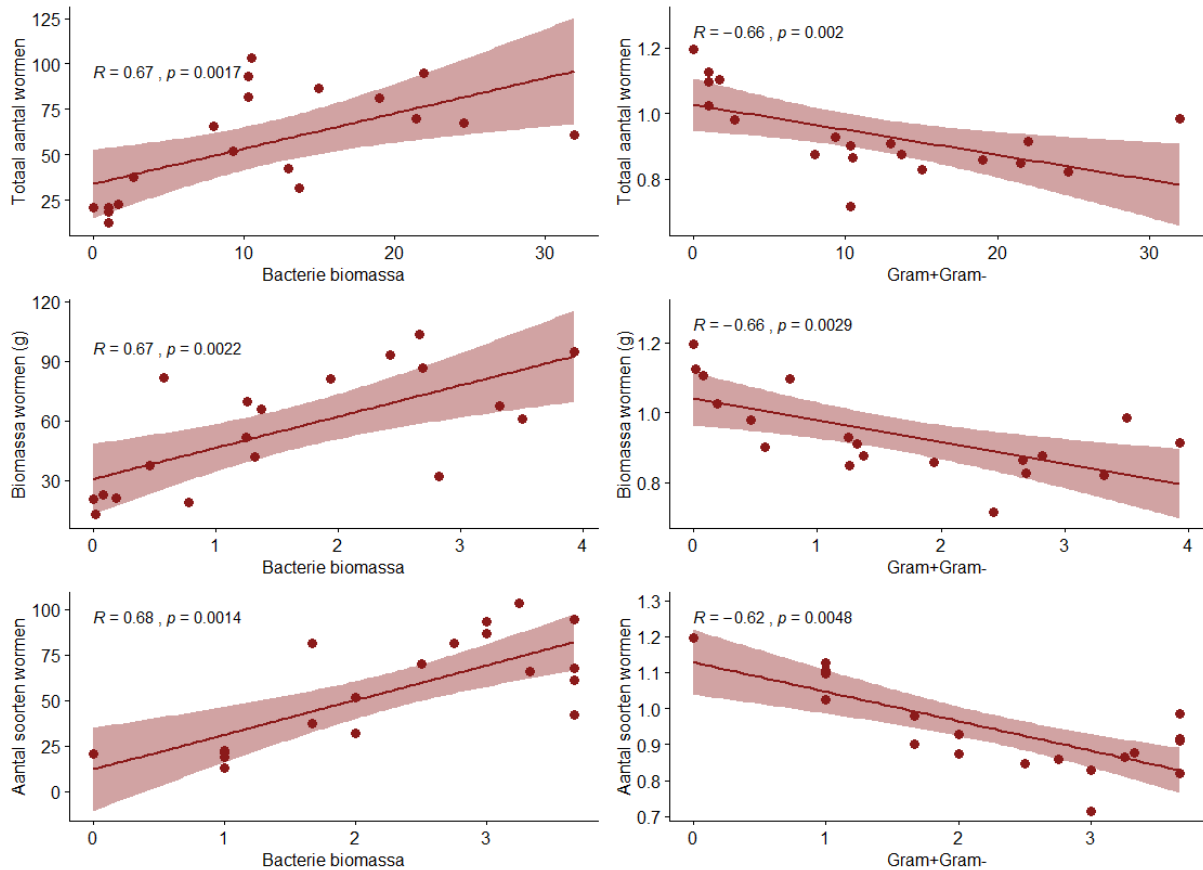
a



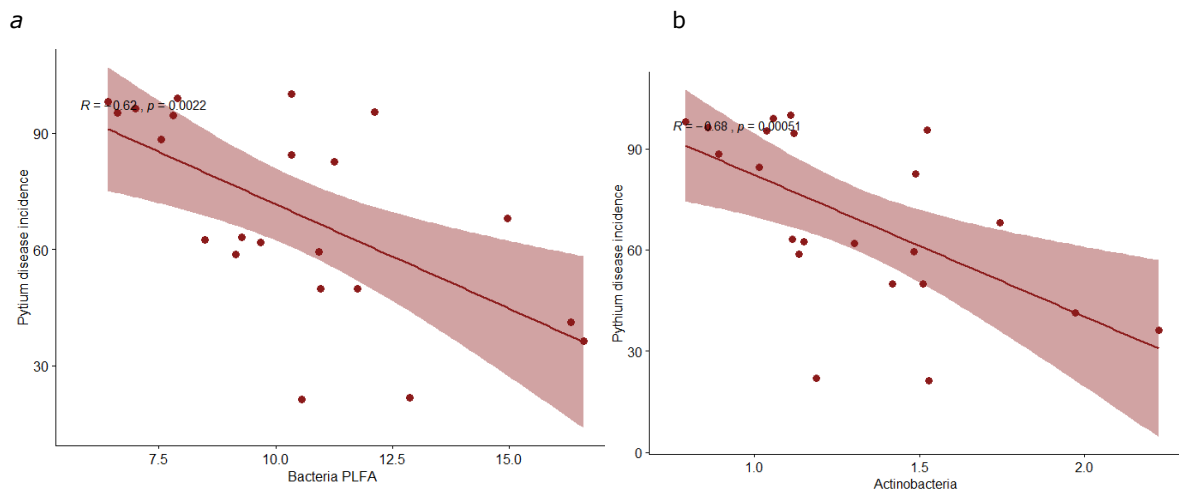
b



Figuur 3-79 Spearman correlatie tussen a) PMN en bacterie biomassa en b) PMN en Grampositieve/Gramnegatieve verhouding (PLFAs). De rode lijn is het resultaat van de voorspelling van een lineair model met de onzekerheid aangeduid in een rode halo.



Figuur 3-80 Spearman correlatie tussen totaal aantal regenwormen, regenwormbiomassa, aantal wormen en respectievelijk de bacterie biomassa en de verhouding tussen Grampositieve en Gramnegatieve bacteriën. De rode lijn is het resultaat van de voorspelling van een lineair model met de onzekerheid aangeduid in een rode halo.

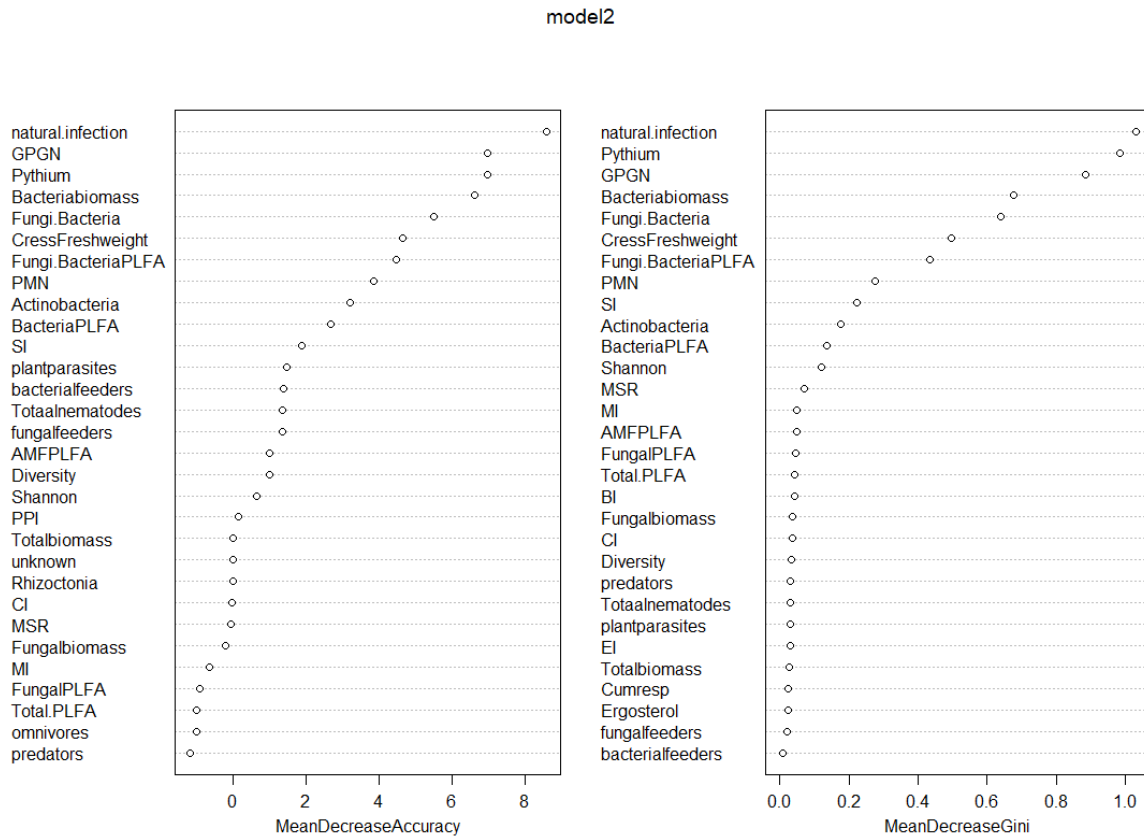


Figuur 3-81 Spearman correlatie tussen de Pythium aantasting en a) de PLFAs afkomstig van bacteriën, b) de PLFAs afkomstig van Actinobacteria. De rode lijn is het resultaat van de voorspelling van een lineair model met de onzekerheid aangeduid in een rode halo.

3.5.3.2 Integrale analyse

Een integrale analyse van alle data met betrekking tot variabelen zoals grondsoort, grondbewerking en bemesting is vaak niet mogelijk, omdat het management tussen de bedrijven heel variabel is en herhalingen ontbreken. Desondanks is het mogelijk om een onderscheid te maken tussen klei- en

zandgrond. Een random forest analyse moet uitwijzen welke parameters het meest bijdragen aan het onderscheid tussen klei- en zandgronden. Uit deze analyse blijkt dat vooral de verhouding tussen Grampositieve en Gramnegatieve bacteriën, natuurlijke infectie, de aantasting door Pythium, de bacteriële biomassa, de verhouding tussen schimmels en bacteriën, het tuinkers-versgewicht en de PMN geassocieerd zijn met het verschil tussen de twee grondtypes (zie Figuur 3-82). Hierbij wordt echter geen rekening gehouden met andere factoren zoals grondbewerking en bemesting.



Figuur 3-82 Invloed van bodemparameters op het onderscheid tussen klei- en zandgrond. De MeanDecreaseAccuracy is een maat voor het verlies van nauwkeurigheid van het model bij het weglaten van de respectievelijke parameter. De Gini-coëfficiënt is een statistische maatstaf voor ongelijkmatige spreiding. De MeanDecreaseGini is maat voor het verlagen van de Gini coëfficiënt bij het weglaten van de respectievelijke parameter.

3.5.3.3 Interpretatie van de resultaten

De resultaten uit het bedrijsvennetwerk met betrekking tot de biologische parameters laten duidelijke verschillen zien tussen klei- en zandgronden voor de meeste parameters. Verder kan een behoorlijke variatie tussen bedrijven en zelfs tussen percelen van hetzelfde bedrijf worden vastgesteld.

Opvallend is dat zowel de schimmel- als de bacteriebiomassa doorgaans hoger zijn in kleigrond dan in zandgrond. In zandgrond is echter de schimmel/bacterie-verhouding hoger, wat duidt op een relatief hoger aandeel aan schimmels en een relatief lager aandeel van bacteriën. Dit komt overeen met de aanname dat in zandgrond met grotere poriën bacteriën minder beschermd zijn tegen predatoren zoals nematoden en protozoa (Hassink, et al., 1993). Het hogere aantal bacterie-etende aaltjes in zandgrond past bij deze hypothese.

Terwijl de hoeveelheid PLFAs afkomstig van bacteriën positief was gecorreleerd met het aantal bacteriën zoals gemeten met de klassieke methodiek, was dit niet het geval voor schimmels, zoals ook werd gevonden in eerdere studies (van der Wal, et al., 2006). Dit resultaat kan verschillende oorzaken hebben. Aan de ene kant werd met de microscopische bepaling alleen de lengte van de schimmeldraden gemeten. Het volume van de draden wordt niet meegenomen in de berekening van de schimmelbiomassa. Ook kan niet altijd worden bepaald of de schimmeldraden levend zijn. Aan de andere kant is er geen consensus over welke PLFAs worden beschouwd als markers voor schimmels (Kaiser, et

al., 2010, Müller, et al., 2017). PLFA 18:2w6 is het meest specifiek voor saprotrofe schimmels, andere PLFAs komen ook in sommige bacteriën voor. PLFA 18:2w6 correleert in het algemeen goed met ergosterol. Beide zijn membraanlipiden van saprotrofe schimmels. Dat is een ongebruikelijk resultaat (Stahl and Parkin, 1996). Ergosterol in de grond kan ook afkomstig zijn van dode schimmels of extracellulair aanwezig zijn (Zhao, et al., 2005). Ook verschilt het ergosterol-gehalte per schimmelsoort en met de leeftijd van het mycelium (Bermingham, et al., 1995). Omdat de verschillende metingen voor schimmel biomassa geen goede correlatie vertonen lijkt het raadzaam om de klassieke bepaling aan te houden. Echter, alle hier gebruikte methoden hebben zich al bewezen met goede correlaties (o.a. van Groenigen, et al. (2010). Toch geven ze niet altijd hetzelfde resultaat omdat ze alle hun beperkingen hebben en verschillende aspecten (lengte, volume, hoeveelheid membraanlipiden) van microbiële cellen meten. Zo hebben dunne schimmeldraden een grotere lengte maar een geringer membraanoppervlak dan eenzelfde biomassa aan dikkere schimmeldraden (de Vries, et al., 2009). Verder wordt bij directe microscopische metingen geen onderscheid gemaakt tussen saprotrofe schimmels en mycorrhiza schimmels. PLFA 18:2w6 en ergosterol zit alleen in saprotrofe schimmels. Mycorrhiza in akkers (arbusculaire mycorrhiza) kunnen worden gemeten met PLFA 16:1w5 en NLFA16:1w5 maar alleen de laatste is specifiek voor mycorrhiza schimmels.

De hoeveelheid aan potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN) is eveneens hoger in kleigrond en is positief gecorreleerd met de bacteriële biomassa en negatief met de verhouding tussen Grampositieve en Gramnegatieve bacteriën. Het wordt aangenomen dat Gramnegatieve bacteriën vooral snelgroeiende soorten bevatten en het kan dus worden gesteld dat PMN geassocieerd is met een hogere bacteriële activiteit. Dit ondersteunt de hypothese dat PMN voor een groot deel bestaat uit stikstof dat afkomstig is uit de microbiële biomassa (Bonde, et al., 1988). Het moet nog verder worden onderzocht of PMN kan dienen als indicatormeting voor bacteriële biomassa.

De cumulatieve bodemrespiratie verschilde nauwelijks tussen zand- en kleigrond, terwijl over het algemeen een lagere respiratie wordt verwacht in zandgronden vanwege een lagere hoeveelheid organische stof en minder waterbergend vermogen vergeleken met kleigrond (Riaz and Marschner, 2020). Dit is echter ook afhankelijk van het gehalte aan organische stof en de cation-exchange-capacity (CEC) in de kleigrond die wordt vergeleken. Ook de Shannon diversiteitsindex is licht verhoogd in zandgrond. Dit duidt aan dat activiteit en diversiteit van de microbiële gemeenschap niet lager maar zelfs iets hoger zijn in de zandgrond van dit bedrijvennetwerk, alhoewel de microbiële biomassa hoger is in zandgrond dan in kleigrond. De meervoudige substraat geïnduceerde respiratie (MSR) is wel hoger in kleigrond, maar laat ook variatie zijn, wat erop duidt dat andere factoren dan het grond type een rol spelen, zoals grondbewerking en de hoeveelheid organische stof (Creamer, et al., 2016).

In totaal zijn er meer aaltjes gevonden in zand- dan in kleigrond. Dit zou kunnen komen door de relatief grote poriën grootte in zandgrond wat zorgt voor een goede ventilatie en makkelijkere bewegelijkheid van de aaltjes (Kung, et al., 1990). Het aantal plant parasitaire aaltjes is relatief hoog in deze studie. In tegenstelling tot de resultaten met betrekking tot specifieke plantenparasieten, zijn in deze analyse ook epidermis- en wortelhaarvoeders tot de plantenparasieten gerekend. Dit verklaart de hogere aantallen die hier zijn weergegeven. In het algemeen wordt aangenomen dat deze groepen een beperkte invloed hebben op de plantengroei.

De aantallen regenwormen waren fors hoger in klei- dan in zandgrond, wat overeenkomt met eerdere studies die laten zien dat regenwormen talrijker zijn in grond met een fijne structuur (Lapied, et al., 2009). Het aantal regenwormen, net als regenwormbiomassa en het aantal soorten was positief geassocieerd met de bacteriële activiteit. Het werd al eerder vastgesteld dat microbiële biomassa en activiteit kunnen worden verhoogd door ingestie door regenwormen (Binet, et al., 1998, Daniel and Anderson, 1992). In het bijzonder de bacteriële gemeenschap kan grote wijzigingen ondergaan door het passeren van de regenworm darmen (Lemtiri, et al., 2014, Yakushev, et al., 2011). De verhoogde activiteit kan vervolgens leiden tot een hogere mineralisatie van organische stof met als gevolg meer beschikbare nutriënten voor planten en een hogere bodemvruchtbaarheid.

Kleigronden hebben over het algemeen minder aantasting in tuinkers na toevoeging van de ziekteverwekker *Pythium* dan de zandgronden, wat ook is te zien in onze resultaten. De aantasting door *Pythium* is negatief gecorreleerd met de aantallen van bacteriën en specifiek Actinobacteria. Dit is een aanwijzing dat de ziekteverweering vooral is gebaseerd op generalistische ziekteverweering die afhankelijk is van de algemene activiteit van het bodemleven en de concurrentie met de ziekteverwekker. Van *Rhizoctonia* is bekend dat ziekteverweering eerder specifiek dan algemeen is; er wordt aangenomen dat specifieke groepen van het bodemleven de ziekteverweering veroorzaken. Dit komt overeen met de observatie dat de ziekteverweering slechts in enkele percelen optreedt en niet gecorreleerd is met de ziekteverweering tegen *Pythium*.

De grens van wat ziekteverend is, is enigszins arbitrair gekozen. Op dit moment is er nog te weinig ervaring met dergelijke ziekteveringstoetsen in verschillende grondsoorten uit praktijkpercelen om een referentiewaarde aan te kunnen geven. Ook is er nog geen informatie over de correlatie met de praktijkervaring van de boer. Wel is er ervaring met proeven waarin gekeken wordt welke maatregelen ziektevering kunnen verhogen. Zo werd *Pythium* ziektevering (zelfde type biotoets) gestimuleerd door minder grondbewerking (Bongiorno et al., 2019 en recente resultaten uit de systeemproof BASIS te Lelystad). *Rhizoctonia* ziektevering kan in kasproeven met verschillende typen organisch materiaal gestimuleerd worden (chitine, verenmeel, cellulose) (Postma and Schilder, 2015). Maar *Rhizoctonia* ziektevering kan ook door de aanwezigheid van de ziekteverwekker zelf ontstaan (Lucas, et al., 1993; Postma et al., 2010).

Zowel de random forest analyse als de verschillende bodembioologische parameters laten zien dat er vaak grote verschillen zijn tussen klei- en zandgronden. Dit bevestigt dat gegevens van deze twee grondtypes apart moeten worden geanalyseerd en moeten worden vergeleken met referentiewaardes die specifiek zijn voor de respectievelijke grondsoort.

Literatuur

Andriuzzi, W. S., M. M. Pulleman, D. Cluzeau, and G. Pérès (2017). Comparison of two widely used sampling methods in assessing earthworm community responses to agricultural intensification. *Applied Soil Ecology* 119:145-151.

Atlas, R.M. en R. Bartha (1993). *Microbial Ecology. Fundamentals and Applications*, pp. 140-145. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Redwood City, Ca.

Barka, E.A., P. Vatsa, L. Sanchez, N. Gaveau-Vaillant, C. Jacquard, J.P. Meier-Kolthoff, H.P. Klenk, C.

Clément, Y. Ouhdouch en G.P. van Wezel (2016). Taxonomy, Physiology, and Natural Products of >Actinobacteria. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 80(1), 1-43. doi:10.1128/mnbr.00019-15.

Bermingham, S., L. Maltby en R. C. Cooke (1995). A critical assessment of the validity of ergosterol as an indicator of fungal biomass. *Mycological Research*, 99(4), pp. 479-484. doi:[https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(09\)80650-3](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(09)80650-3).

Binet, F., L. Fayolle, M. Pussard, J. J. Crawford, S. J. Traina en O. H. Tuovinen (1998). Significance of earthworms in stimulating soil microbial activity. *Biology and Fertility of Soils*, 27(1), pp. 79-84. doi:10.1007/s003740050403.

Bloem, J. en A. Vos (2004). Fluorescent staining of microbes for total direct counts. In: Kowalchuk, G.A., De Bruijn, F.J., Head, I.M., Akkermans, A.D.L., Van Elsas, J.D. (Eds), *Molecular Microbial Ecology Manual*, 2nd edition, pp. 861-874. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Bloem, J., A.J. Schouten, S.J. Sørensen, M. Rutgers, A. van der Werf en A.M. Breure (2006). Monitoring and evaluating soil quality. In: Bloem J., Hopkins, D.W., Benedetti, A. (Eds), *Microbiological Methods for Assessing Soil Quality*, pp. 23-49. CABI, Wallingford, UK

Bloem, J., M. Veninga en J. Shepherd (1995a). Fully automatic determination of soil bacterium numbers, cell volumes and frequencies of dividing cells by confocal laser scanning microscopy and image analysis. *Applied and Environmental Microbiology* 61: 926-936.

Bloem, J., P.R. Bolhuis, M.R. Veninga en J. Wieringa (1995b). Microscopic methods for counting bacteria and fungi in soil. In "Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry" (K. Alef and P. Nannipieri, editors), pp. 162-173. Academic Press, London.

Bonde, T.A., J. Schnürer en T. Rosswall (1988). Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable nitrogen in soils from long-term field experiments. *Soil Biology and Biochemistry*, 20(4), 447-452. doi:[https://doi.org/10.1016/0038-0717\(88\)90056-9](https://doi.org/10.1016/0038-0717(88)90056-9).

Bongers, T. (1990). The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 83, pp. 14-19.

Bongers, T., H. van der Meulen en G. Korthals (1997). Inverse relationship between the nematode maturity index and plant parasite index under enriched nutrient conditions. *Appl. Soil Ecol.* 6, pp. 195-199.

Bongiorno, G., J. Postma, E.K. Bünemann, L. Brussaard, R.G.M. de Goede, P. Mäder, L. Tamm en B. Thuerig (2019). Soil suppressiveness to *Pythium ultimum* in ten European long-term field experiments and its relation with soil parameters. *Soil Biology and Biochemistry*, 133, pp. 174-187. doi:10.1016/j.soilbio.2019.03.012

Bongiorno, G., N. Bodenhausen, E.K. Bünemann, L. Brussaard, S. Geisen, P. Mäder, C.W. Quist, J.C. Walser en R.G.M. de Goede (2019). Reduced tillage, but not organic matter input, increased nematode diversity and food web stability in European long-term field experiments. *Molecular Ecology*, 28, pp. 4987-5005. doi: 10.1111/mec.15270

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), pp. 5-32.

Campbell, C.D., S.J. Chapman, C.M. Cameron, M.S. Davidson en J.M. Potts (2003). A rapid microtiter plate method to measure carbon dioxide evolved from carbon substrate amendments so as to determine the physiological profiles of soil microbial communities by using whole soil. *Applied environmental microbiology*, 69(6), pp. 3593-3599.

Canali, S., en A. Benedetti (2006). Soil nitrogen mineralization. In: Bloem J., Hopkins, D.W., Benedetti, A. (Eds), *Microbiological Methods for Assessing Soil Quality*, pp. 23-49. CABI, Wallingford, UK, pp. 127-135.

Curtin, D. en C. Campbell (2008). Mineralizable nitrogen. *Soil sampling and methods of analysis*, 2, pp. 599-606.

Daniel, O. en J. M. Anderson (1992). Microbial biomass and activity in contrasting soil materials after passage through the gut of the earthworm *Lumbricus rubellus* hoffmeister. *Soil Biology and Biochemistry*, 24(5), 465-470. doi:[https://doi.org/10.1016/0038-0717\(92\)90209-G](https://doi.org/10.1016/0038-0717(92)90209-G).

de Goede R.G.M., Bongers, T. en Ettema, C.H. (1993) Graphical presentation and interpretation of nematode community structure: c-p triangles. *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent*, 58(2b), pp. 743-747.

de Haan, J.J., S. Rombout, L. Molendijk, T. Thoden, H. Hoek, P. de Wolf en W. Sukkel (2019). Meten is weten anno 2015. Ontwikkeling van de WUR Minimale Data Set tot 2015 voor het meten van bodemkwaliteit in de open teelten als basis voor verdere ontwikkeling. Wageningen University and Research, WPR-821. doi: 10.18174/511394

de Ridder-Duine, A.S., W. Smant, A. van der Wal, J.A. van Veen en W. de Boer (2006). Evaluation of a simple, non-alkaline extraction protocol to quantify soil ergosterol. *Pedobiologia*, 50(4), pp. 293-300. doi: 10.1016/j.pedobi.2006.03.004

Eijkelkamp Soil & Water (2018). *Wet Sieving Apparatus - Manual*

Eijkelkamp Soil & Water (2020). *Penetrologger – Handleiding M-0615SAN*. Beschikbaar via: <https://www.eijkelkamp.com/producten/veldmeetapparatuur/penetrologger-set-a.html>

Ferris, H., T. Bongers en R.G.M. de Goede (2001). A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology*, 18(1), pp. 13-29. doi: 10.1016/S0929-1393(01)00152-4

Frazão, J., R.G.M. de Goede, T.E. Salánki, L. Brussaard, J.H. Faber, M. Hedde en M. Pulleman (2019). Responses of earthworm communities to crop residue management after inoculation of the earthworm *Lumbricus terrestris* (Linnaeus, 1758). *Applied Soil Ecology* 142, pp. 177-188.

Ghani, A., M. Dexter en K.W. Perrott (2003). Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilization, grazing and cultivation. *Soil Biol. Biochem.* 35: pp. 1231-1243. doi: 10.1016/S0038-0717(03)00186-X

Gong, P., X. Guan en E. Witter (2001). A rapid method to extract ergosterol from soil by physical disruption. *Applied Soil Ecology*, 17(3), pp. 285-289. doi: 10.1016/S0929-1393(01)00141-X

Hanegraaf, M.C., H.C. de Boer, N. van Eekeren en D.W. Bussink (2009). Schatting van C- en N-mineralisatie met indicatoren voor labiele organische stof en stikstof. NMI, 1230.

Hassink, J. (1995). Organic matter dynamics and N mineralization in grassland soils. <https://edepot.wur.nl/206831>

Hassink, J., L.A. Bouwman, K.B. Zwart, J. Bloem en L. Brussaard (1993). Relationships between soil texture, physical protection of organic matter, soil biota, and c and n mineralization in grassland soils. *Geoderma*, 57(1-2), pp. 105-128. doi: 10.1016/0016-7061(93)90150-J

Heinen, M., G. Bakker, en J.H.M. Wösten (2018). Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Wageningen University and Research, 2978.

Kaiser, C., A. Frank, B. Wild, M. Koranda en A. Richter (2010). Negligible contribution from roots to soil-borne phospholipid fatty acid fungal biomarkers 18:2 ω 6,9 and 18:1 ω 9. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(9), 1650-1652. doi:<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.05.019>.

Knotters, M., F.M. van Egmond, G. Bakker, D.J.J. Walvoort en F. Brouwer. (2017). A selection of sensing techniques for mapping soil hydraulic properties. Wageningen University and Research, 2853.

Koopmans, C.J. en L. Brands (2002). Ondersteuning van duurzaam bodembeheer - Testkit bodemkwaliteit. Louis Bolk Instituut, 96 p.

Kung, S.P., R. Gaugler en H. K. Kaya (1990). Soil type and entomopathogenic nematode persistence. *Journal of Invertebrate Pathology*, 55(3), pp. 401-406. doi:[https://doi.org/10.1016/0022-2011\(90\)90084-J](https://doi.org/10.1016/0022-2011(90)90084-J).

Kurmies, B. (1949). Determination of humus by the dichromate method without potassium iodide. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde*, 44, 121 - 125 (Chem. Abstr. 44: 41 79 1950).

Lapied, E., J. Nahmani en G. X. Rousseau (2009). Influence of texture and amendments on soil properties and earthworm communities. *Applied Soil Ecology*, 43(2), pp. 241-249. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.08.004>.

Lemtiri, A. et al. (2014). Impacts of earthworms on soil components and dynamics. A review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 18.

Lucas, P., R. Smiley en H. Collins (1993). Decline of *Rhizoctonia* root rot on wheat in soils infested with *Rhizoctonia solani* AG-8. *Phytopathology (USA)*. M-0813E, Eijkelkamp, Giesbeek, NL. Beschikbaar via: https://www.eijkelkamp.com/download.php?file=M0813e_

Mahal, N.K., M. J. Castellano en F. E. Miguez (2018). Conservation Agriculture Practices Increase Potentially Mineralizable Nitrogen: A Meta-Analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 82(5), pp. 1270-1278. doi:<https://doi.org/10.2136/sssaj2017.07.0245>.

Müller, K., S. Marhan, E. Kandeler en C. Poll (2017). Carbon flow from litter through soil microorganisms: From incorporation rates to mean residence times in bacteria and fungi. *Soil Biology and Biochemistry*, 115, pp. 187-196. doi:<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.08.017>.

NEN 5753 en/of ISO 11277 - Bepaling van het lutumgehalte en de korrelgrootteverdeling in grond en waterbodem met behulp van zeef en pipet.

NEN-EN-ISO 11272:2017 - Bepaling van de droge bulkdichtheid

Nimmo, J.R. en K.S. Perkins (2002). Aggregate Stability and Size Distribution. In: J.H. Dane & G.C. Topp (eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*, pp. 317-328. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Postma J. en M. T. Schilder (2015). Enhancement of soil suppressiveness against *Rhizoctonia solani* in sugar beet by organic amendments. *Applied Soil Ecology*, 94, pp. 72-79.

Postma, J. M. T. Schilder, J. Bloem en W. K. van Leeuwen-Haagsma (2008). Soil suppressiveness and functional diversity of the soil microflora in organic farming systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(9), pp. 2394-2406.

Postma, J. R.W.A. Scheper, M.T. Schilder, 2010. Effect of successive cauliflower plantings and *Rhizoctonia solani* AG 2-1 inoculations on disease suppressiveness of a suppressive and a conducive soil. *Soil Biology & Biochemistry* 42: pp. 804-812.

Reijneveld, J.A., M. Knotters, K. Tueling, D. van Tol-Leenders, J.P. Lesschen, J. van der Kolk & P.J. Kuikman (in druk). Het aandeel bodemorganische koolstof (SOC) in bodemorganische stof (SOM); Een eerste verkenning. CCNL project (in progress).

Rutgers, M., C. Mulder, A.J. Schouten, J. Bloem, J.J. Bogte, A.M. Breure, L. Brussaard, R.G.M. de Goede, J.H. Faber, G.A.J.M. Jagers op Akkerhuis, H. Keidel, G. Korthals, F.W. Smeding, C. ter Berg en N. van Eekeren (2008). Beoordeling bodemkwaliteit zandgrond 2008. Soil ecosystem profiling in the Netherlands with ten references for biological soil quality. RIVM, 607604009.

Schlatter, D., L. Kinkel, L. Thomashow, D. Weller en T. Paulitz (2017). Disease suppressive soils: new insights from the soil microbiome. *Phytopathology*, 107(11), pp. 1284-1297.

Schouten, A.J., J. Bloem, W. Didden, G. Jagers op Akkerhuis, H. Keidel en M. Rutgers (2002). Bodembioologische Indicator 1999: Ecologische kwaliteit van graslanden op zandgrond bij drie categorieën melkveehouderijbedrijven. RIVM, 607604003.

Sebag, D., E.P. Verrecchia, L. Cécillon, T. Adatte, R. Albrecht, M. Aubert, F. Bureau, G. Gailleau, Y. Copard, T. Decaens, J.R. Disnar, M. Hetényi, T. Nyilas en L. Trombino (2016). Dynamics of soil organic matter based on new Rock-Eval indices. *Geoderma*, 284, p. 185-203.

Sebag, D., J.R. Disnar, B. Guillet, C. Giovanni, E.P. Verrecchia en A. Durand (2006). Monitoring organic matter dynamics in soil profiles by 'Rock-Eval pyrolysis': bulk characterization and quantification of degradation. *European Journal of Soil Science*, 57, p. 344-355.

Sparling, G.P. (1992). Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Australian Journal of Soil Research*, 30(2), 195-207. doi: 10.1071/SR9920195

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer [STOWA] (1997). Bepaling van organische stof, gloeirest en organische koolstof. Beschikbaar op <https://www.stowa.nl/publicaties>

Todorova, M., R.S. Llieva, en S. Atanassova (2009). Determination of soil organic carbon using near-infrared. *Agricultural science and technology*.

van den Elsen, H.G.M., M. Knotters, M. Heinen, P.F.A.M. Römkens, J. Bloem en G.M. Korthals (2019). Noodzakelijke indicatoren voor de beoordeling van de gezondheid van Nederlandse landbouwbodems; selectie van fysische, chemische en biologische indicatoren voor het meten van de bodemgezondheid. Wageningen University and Research, 2944.

van Eekeren, N. en J. Bokhorst (2009). Beoordeling bodemkwaliteit zandgrond: een inventarisatie van bodemindicatoren in de veehouderij. Louis Bolk Instituut, LV77.

van Eekeren, N., J. Deru, N. Hoekstra en J. de Wit (2018). Carbon valley: organische stofmanagement op melkveebedrijven. Louis Bolk Instituut, kenmerk: 2018-002LBD.

van Os G. en J. van Ginkel (2001). Suppression of Pythium root rot in bulbous Iris in relation to biomass and activity of the soil microflora. *Soil Biology and Biochemistry*, 33(11), pp. 1447-1454.

van Os, G., A. Straathof, J. Bloem, W. van den Berg, en E. Hoffland (2016). Een indicator voor bodemweerbaarheid. *Gewasbescherming*, 17(3).

van Tol-Leender, D., M. Knotters, W. de Groot, P. Gerritsen, A. Reijneveld, F. van Egmond, H. Wösten en P. Kuikman (2019). Koolstofvoorraad in de bodem van Nederland (1998-2018): CC-NL. Wageningen University and Research, 2974. <https://doi.org/10.18174/509781>

Weil, R.R., K.R. Islam, M.A. Stine, J.B. Gruver, and S.E. Samson-Liebig. 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *Am. J. of Alt. Agric.* 18, pp. 3-17. doi:10.1079/AJAA2003003
Wet_sieving_apparatus_d495.pdf

Yakushev, A.V., I. A. Bubnov en A. M. Semenov (2011). Estimation of the effects of earthworms and initial substrates on the bacterial community in vermicomposts. *Eurasian Soil Science*, 44(10), pp. 1117. doi:10.1134/S1064229311100164.

Zaborski, E.R. (2003). Allyl isothiocyanate: an alternative chemical expellant for sampling earthworms. *Applied Soil Ecology* 22:87-95.

Zhao, X.R., Q. Lin en P. C. Brookes (2005). Does soil ergosterol concentration provide a reliable estimate of soil fungal biomass? *Soil Biology and Biochemistry*, 37(2), pp. 311-317. doi:<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.07.041>.

Zwart, K.W. (2007). Mineralisatie van mest en organische stof in de bodem – een indicator op basis van (bio) chemische parameters. Alterra, 1504.

Bijlage 1 Teeltregistratie van de meetlocaties

Over het bodembeheer van de meetlocaties zijn er per perceel de volgende gegevens verzameld:

- Doelen van de ondernemer
- Bouwplan
- Perceelsgegevens
 - Oppervlakte (in ha);
 - Drainafstand (in m);
 - Draindiepte (in cm);
- Bodemgebonden ziekten, plagen en aaltjes
 - Ziekten;
 - Plagen;
 - Aaltjes;
 - Onkruiden
- Teeltgegevens
 - Gewas:
 - Ras (en motivatie);
 - Tijdstip zaaien/poten (datum);
 - Hoeveelheid zaaizaad/pootgoed (in kg/ha);
 - Organische mest en reststromen:
 - Mestsoort;
 - Gift (in m³/ha of ton/ha);
 - Samenstelling (mestanalyses);
 - Groenbemester:
 - Samenstelling (en motivatie);
 - Hoeveelheid zaaizaad (in kg/ha);
 - Grondbewerking methode;
 - Diepte grondbewerking (in cm);
 - Tijdstip grondbewerking (datum);
 - Omstandigheden
 - Onkruidbestrijding:
 - Middel;
 - Dosering (in kg/ha);
 - Tijdstip (datum);
 - Berekening:
 - Methode;
 - Tijdstip (datum);
 - Hoeveelheid (in mm);
 - Oogst:
 - Tijdstip (datum);
 - Opbrengst (in ton/ha);
 - Kwaliteit.

Bijlage 2 Beschrijving van indicatoren

Indicatoren met een * zijn opgenomen in de BLN (Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland, Hanegraaf et al., 2019), inclusief de daarin vermelde referentiewaarden.

Organische stof indicatoren

Naam indicator	OS-gehalte*
Doel	Het organisch stofgehalte in de bodem vaststellen
(Meet)eenheid	Percentage (kwantiteitsindicator)
Streef- en/of referentiewaarden	Er zijn geen officieel vastgestelde streefwaarden voor het percentage organische stof. Een vuistregel voor een minimaal organische-stofgehalte is: $1,5 + 0,1 * \text{lutum\%}$ (b.v. bij 15% lutum, minimaal 3% o.s.). Het gewenste percentage organische stof verschilt dus per grondsoort. In het BLN zijn referentiewaarden beschikbaar voor het organisch stof gehalte gemeten met de gloeiverliesmethode.
Stuurbaarheid	Gering. Er moeten zeer grote hoeveelheden organisch materiaal worden aangevoerd of afgevoerd om een meetbaar verschil in de bodem te kunnen aantonen.
Meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
Meetfrequentie ruimtelijk	40-50 steken in een W-patroon, zie Bijlage 3.
Methodiek bemonstering	Mengmonster verkregen door middel van guts 0-25cm, zoals omschreven in Bijlage 3.
Methodiek analyse	<u>Klassiek</u> Gloeiverlies: Een monster wordt verast bij 550°C gedurende 4 uur en het gewichtsverlies door verbranding wordt toegerekend aan de hoeveelheid organische stof (Hoogsteen, 2015, 2018). Deze methode berekent op directe wijze de organische stof en wordt daarom veel gebruikt als referentiemethode (STOWA, 1997). De analyse is, zonder kleicorrectie, uitgevoerd door het Soil Biology Laboratory. <u>Alternatief</u> NIRS: Maakt gebruik van elektromagnetische spectra (300-2500 nm) die organische en minerale verbindingen absorbeert (Todorova et al., 2009). Vervolgens wordt een kalibratiemethode gebruikt om de bodem organische stof te bepalen. Een overzicht van deze toepassingen wordt gegeven door Knotters et al. (2017). De analyse is uitgevoerd door Eurofins Agro.
Omschrijving	Organische stof speelt een belangrijke rol bij tal van bodemeigenschappen en -processen. Hierbij kan je denken aan nutriëntenlevering en -buffering (ook wel bodemvruchtbaarheid genoemd), lucht- en waterhuishouding en aggregaatstabiliteit (denk hierbij aan bodemstructuur) en het dienen als bron van voedsel voor het bodemleven.
Naam indicator	C-gehalte*
Doel	Vaststellen totale hoeveelheid koolstof in de bodem
(Meet)eenheid	Percentage (kwantiteitsindicator)
Streef- en/of referentiewaarden	Er zijn geen officieel vastgestelde streef- of referentiewaarden.
Stuurbaarheid	Gering. Er moeten zeer grote hoeveelheden organisch materiaal worden aangevoerd om een meetbaar verschil in de bodem te kunnen aantonen.
Meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
Meetfrequentie ruimtelijk	40-50 steken in een W-patroon, zie het protocol van Korthals en Barel (2019).
Methodiek bemonstering	Mengmonster verkregen door middel van guts 0-25cm, zoals omschreven in Bijlage 3.
Methodiek analyse	<u>Klassiek</u> Kurmies: Deze methode maakt gebruik van natte oxidatie met dicromaat. Kurmies (1957) beschreef een dergelijke methode, welke hiervoor is toegepast. De analyse is uitgevoerd door het Soil Biology Laboratory.

	<p><u>Alternatief</u> NIRS: Maakt gebruik van elektromagnetische spectra (300-2500 nm) die organische en minerale verbindingen absorbeert (Todorova et al., 2009). Vervolgens wordt een kalibratiemethode gebruikt om de bodem organische koolstof te bepalen. Een overzicht van deze toepassingen wordt gegeven door Knotters et al. (2017). De analyse is uitgevoerd door Eurofins Agro.Rock Eval: Met behulp van een Flame Ionization Detector en infrarooddetectoren worden vrijkomende koolwaterstof en koolstofmonoxide- en dioxide gemeten gedurende een oxidatie en pyrolyse fase (Sebag et al., 2006). Naast het organische stofgehalte is het belangrijk om het koolstofgehalte in de bodem te bepalen. Dit onder andere met het oog op karakterisatie van de kwaliteit van organische stof en koolstofvastlegging in de bodem in relatie tot klimaatverandering (klimaatmitigatie).</p>
Omschrijving	
Naam indicator	CINOS
Doel	Het aandeel koolstof in de organische stof vaststellen.
(Meet)eenheid	Ratio
Streef- en/of referentiewaarden	De maat varieert tussen de 0,40 en 0,55; hogere waarden (tot 0,71) zijn gerapporteerd.
Stuurbaarheid	Gering
Meetfrequentie in de tijd	Niet van toepassing (berekende waarde).
Meetfrequentie ruimtelijk	Niet van toepassing (berekende waarde).
Methodiek bemonstering	Niet van toepassing (berekende waarde).
Methodiek analyse	Berekende waarde. De maat wordt berekend uit het C-gehalte en het OS% (Reijneveld, in press).
Omschrijving	CINOS is een maat voor de kwaliteit van de organische stof. Een hoger gehalte aan koolstof is een stabielere stof.
Naam indicator	C/Norg-ratio
Doel	De verhouding tussen koolstof en stikstof vaststellen.
(Meet)eenheid	Ratio
Streef- en/of referentiewaarden	Er zijn geen streef- of referentiewaarden beschikbaar.
Stuurbaarheid	Beperkt, via de N-bemesting en de aanvoer van organische stof kan gestuurd worden op de C/N-ratio.
Meetfrequentie in de tijd	Niet van toepassing (berekende waarde).
Meetfrequentie ruimtelijk	Niet van toepassing (berekende waarde).
Methodiek bemonstering	Niet van toepassing (berekende waarde).
Methodiek analyse	Berekende waarde. De maat wordt berekend uit het C en Norg-gehalte.
	<u>Klassiek</u> Berekend uit C (Kurmies) en N-organisch.
	<u>Alternatief</u> Berekend uit C (NIRS) en N-totaal (NIRS), dus geen Norg.
Omschrijving	De C/N-ratio is een indicatie voor de stabiliteit van de humus in de bodem en snelheid van N-mineralisatie uit de bodem organische stof.
Naam indicator	Actieve fracties*
Doel	De actieve fracties van organische stof vaststellen.
(Meet)eenheid	mg kg ⁻¹
Streef- en/of referentiewaarden	Voor de actieve fractie gemeten met HWC zijn referentiewaarden beschikbaar voor akkerbouw op klei (500), akkerbouw op zand (500-2000) en melkveehouderij op zand (700-2300) (Hanegraaf en van Alendonk, 2017). Voor de POXC methode zijn geen referentiewaarden beschikbaar.
Stuurbaarheid	Redelijk, via organische bemesting, bekalking en bodembewerking.
Meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
Meetfrequentie ruimtelijk	40-50 steken in een W-patroon, zie het protocol van Korthals en Barel (2019).
Methodiek bemonstering	Mengmonster verkregen door middel van guts 0-25cm, zoals omschreven in Bijlage 3.
Methodiek analyse	<i>Hot water extractable carbon (HWC):</i> HWC werd bepaald als de hoeveelheid opgelost organische koolstof die vrijkomt tijdens incubatie van een grondmonster in heet water gedurende 16 uur bij 80°C

	<p>(Ghani et al. 2003). Dit kan worden gezien als het lichtste oplosmiddel. HWC zou een maat zijn voor de meest makkelijke afbreekbare organische stof. Deze analyse is uitgevoerd door WUR OT en SBL.</p> <p><i>Oxidatie in permanganaat (POXC):</i> POXC werd bepaald met behulp van permanganaat (Weil et al., 2003), een sterker extractiemiddel dan water. De POXC-fractie zou groter kunnen zijn dan de HWC fractie en ook iets moeilijker afbreekbaar materiaal bevatten. De analyse is uitgevoerd door het CBLB.</p>
Omschrijving	<p>Van de omvang van de actieve fracties wordt gedacht dat deze een indicator kunnen zijn voor mogelijke veranderingen in het totale gehalte aan organische stof in de bodem, voordat deze verandering meetbaar is in het totale gehalte (Sparling, 1992). Bovendien vertoont de HWC een sterke correlatie met de bodemstructuur (Ghani, 2003), de N-mineralisatie (Hanegraaf et al., 2010) en de bodemweerbaarheid (van Os et al., 2015).</p>
Naam indicator	Rock-Eval
Doel	Organisch materiaal karakteriseren.
(Meet)eenheid	Index
Streef- en/of referentiewaarden	Er zijn geen vastgestelde referentie of streefwaarden beschikbaar.
Stuurbaarheid	Niet bekend
Meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
Meetfrequentie ruimtelijk	40-50 steken in een W-patroon, zie het protocol van Korthals en Barel (2019).
Methodiek bemonstering	Mengmonster verkregen door middel van guts 0-25cm, zoals omschreven in Bijlage 3.
Methodiek analyse	Met behulp van een Flame Ionization Detector en infrarooddetectoren worden vrijkomende koolwaterstof en koolstofmonoxide- en dioxide gemeten gedurende een oxidatie en pyrolyse fase. Verschillende fracties worden onderscheiden en omgerekend tot de I/R-index, volgens de methodiek zoals omschreven door Sebag et al. (2016).
Omschrijving	<p>Een nieuwe methode voor gebruik in landbouwgrond is van de Rock Eval, een pyrolyse meting waarbij de verbranding wordt gemeten bij toenemende temperatuur. Hiermee wordt een beeld verkregen van de langdurige vastlegging van koolstof in de bodem, uitgedrukt met de I- en de R-index (I=immature, 'onrijp' R = resistant). De I-index wordt verkregen door de logaritme van een tussenuitkomst te nemen, een getal tussen 0 en 1; de logaritme van een dergelijk klein getal is negatief. De verhouding tussen de I- en de R-index geeft aan in hoeverre het materiaal is verteerd en is een maat voor de rijpheid, de leeftijd van de organische stof in de bouwvoor.</p>
Naam indicator	Afbraaksnelheid
Doel	Schatten van de perceelspecifieke afbraaksnelheid (jaarbasis).
(Meet)eenheid	g C per kg grond
Streef- en/of referentiewaarden	Een algemene vuistregel is 2% per jaar.
Stuurbaarheid	Via bekalking en N-bemesting
Meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
Meetfrequentie ruimtelijk	40-50 steken in een W-patroon, zie het protocol van Korthals en Barel (2019).
Methodiek bemonstering	Mengmonster verkregen door middel van guts 0-25cm, zoals omschreven in Bijlage 3.
Methodiek analyse	<p><u>Klassiek</u> Aerobe incubatie: Een tijdreeks van CO₂-emissies is vastgesteld middels een aerobe incubatie onder gestandaardiseerde condities (Zwart, 2003). De analyse is uitgevoerd over een periode van 112 dagen, door het SBL.</p> <p><u>Alternatief</u> Modelmatig: De afbraaksnelheid per jaar, en de omvang van de stabiele en een afbreekbare pool organische stof is geschat uit de C/N-ratio en het N-gehalte van de grond. Het model hiervoor is in eerder onderzoek geparameteriseerd uit een tijdreeks van CO₂-emissie in een aerobe incubatie (Hanegraaf et al., 2019).</p>
Omschrijving	<p>Elk jaar breekt de in de bouwvoor aanwezige organische stof af, in minerale gronden met ongeveer 2%. Perceelsfactoren kunnen hierop van invloed zijn. Meer afbraak kan betekenen dat er meer stikstof beschikbaar komt, maar ook leiden tot</p>

daling van het OS%. Minder afbraak kan gunstig zijn voor het OS%, maar ook inhouden dat stikstof wordt vastgelegd en dus minder beschikbaar is.

Naam indicator	Afbraakcapaciteit
Doel	Indicatie van de afbraak
(Meet)eenheid	$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{u}^{-1}$
Streef- en/of referentiewaarden	Er zijn geen streef- of referentiewaarden bekend.
Stuurbaarheid	
Meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
Meetfrequentie ruimtelijk	40-50 steken in een W-patroon, zie het protocol van Korthals en Barel (2019).
Methodiek bemonstering	Mengmonster verkregen door middel van guts 0-25cm, zoals omschreven in Bijlage 3.
Methodiek analyse	MicroResp. Deze methode bestaat uit toediening van enkele substraten (organische stof) die verschillen in afbreekbaarheid, van moeilijk (bijv. lignine) tot makkelijk (bijv. glucose) aan de grond en meting van de CO ₂ die ontwijkt (Campbell et al., 2003). De analyse is uitgevoerd door WUR Open Teelten Lelystad.
Omschrijving	Elke bodem heeft een kenmerkende samenstelling aan bodemleven, waaronder bacteriën en schimmels (microbiële biomassa). Deze organismen zijn betrokken bij het afbraakproces van organische stof. De samenstelling van de microbiële biomassa is mede bepalend welke soorten organische stof kunnen worden afgebroken en in welke mate.

Naam indicator	Mineralisatie van stikstof
Doel	Potentiele mineralisatie van stikstof vaststellen.
(Meet)eenheid	mg N per kg grond
Streef- en/of referentiewaarden	Er zijn geen referentie- of streefwaarden beschikbaar.
Stuurbaarheid	Via bekalking, bemesting en grondbewerking.
Meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
Meetfrequentie ruimtelijk	40-50 steken in een W-patroon, zie het protocol van Korthals en Barel (2019).
Methodiek bemonstering	Mengmonster verkregen door middel van guts 0-25cm, zoals omschreven in Bijlage 3.
Methodiek analyse	De potentiële mineralisatie is in het lab gemeten worden door middel van een aerobe incubatie waarbij op twee tijdstippen het gehalte aan nitraat en ammonium wordt gemeten en opgeteld tot N _{min} . Het verschil tussen beide tijdstippen is de N-mineralisatie over die periode. Het resultaat is mede afhankelijk van de aanwezigheid van meststoffen, groenbemester en gewasresten. Voor deze meetronde zijn de tijdstippen t=0 en t=112 d. aangehouden. De analyse is uitgevoerd door het Soil Biology Laboratory.
Omschrijving	Bij de omzettingen van organische stof in de bodem (grond + gewasresten, groenbemesters en organische meststoffen) komt stikstof vrij.

Chemische indicatoren

Naam indicator	pH*
Doel	Het vaststellen van de zuurgraad.
(Meet)eenheid	De zuurgraad wordt weergegeven als pH. Dit is de absolute waarde van de negatieve logaritme van de concentratie H ⁺ ionen.
Streef- en/of referentiewaarden	Afhankelijk van grondsoort, organische stof percentage en bouwplan. De streefwaarden staan in het "Handboek bodem en Bemesting".
Stuurbaarheid	Op kalkarme gronden (pH <7) is de pH goed stuurbaar via bekalking. Op kalkrijke gronden (pH >7) is de pH niet stuurbaar (verhoging is niet nodig, verlaging lukt niet).
Meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
Meetfrequentie ruimtelijk	40-50 steken in een W-patroon, zie het protocol van Korthals en Barel (2019).
Methodiek bemonstering	Mengmonster verkregen door middel van guts 0-25cm, zoals omschreven in Bijlage 3.
Methodiek analyse	<u>Klassiek</u>

	<p>Chemische extractiemethode (CaCl₂): Elektrometrische bepaling van de pH in een suspensie van 1 gewichtsdeel grond en 5 volumedelen 0,01 M CaCl. Deze methode wordt nader toegelicht in het protocol zoals omschreven door Houba et al. (2000).</p> <p><u>Alternatief</u> NIRS: Maakt gebruik van elektromagnetische spectra (300-2500 nm) die organische en minerale verbindingen absorbeert (Todorova et al., 2009). Vervolgens wordt een kalibratiemethode gebruikt om de pH te bepalen. Een overzicht van deze toepassingen wordt gegeven door Knotters et al. (2017). De analyse is uitgevoerd door Eurofins Agro.</p>
Omschrijving	<p>De zuurgraad is van invloed op onder andere de beschikbaarheid van nutriënten in de bodem voor opname door een gewas. Daarnaast beïnvloedt de zuurgraad ook het bodemleven (o.a. activiteit), afbraak van organische stof en de structuur van de bodem.</p>
Naam indicator	N-totaal*
Doel	Vaststellen totale hoeveelheid stikstof in de bodem
(Meet)eenheid	mg N per kg grond/ kg ha ⁻¹
Streef- en/of referentiewaarden	Referentiewaarden (kg ha ⁻¹) zijn beschikbaar voor akkerbouw op klei (3110-3890) en melkveehouderij op zand (1410-2060).
Stuurbaarheid	beperkt. Het overgrote deel van N totaal in de bodem bevindt zich in de organische stof.
Meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
Meetfrequentie ruimtelijk	40-50 steken in een W-patroon, zie het protocol van Korthals en Barel (2019).
Methodiek bemonstering	Mengmonster verkregen door middel van guts 0-25cm, zoals omschreven in Bijlage 3.
Methodiek analyse	<p><u>Klassiek</u> N-totaal wordt bepaald door 1 volumedeel grond te mengen met 2 volumedelen extractiemiddel (0,01 M CaCl₂). Spectrofotometrische bepaling van NH₄ bij 660 nm na omzetting tot een gekleurd indofenol-complex. Spectrofotometrische bepaling van NO₃/NO₂ bij 530 nm na reductie van nitraat tot nitriet door hydraziniumsulfaat en omzetting tot een gekleurd diazo-complex (HBB). Deze methode wordt nader toegelicht in het protocol zoals omschreven door Houba et al. (2000).</p> <p><u>Alternatief</u> NIRS: Maakt gebruik van elektromagnetische spectra (300-2500 nm) die organische en minerale verbindingen absorbeert (Todorova et al., 2009). Vervolgens wordt een kalibratiemethode gebruikt om N-totaal te bepalen. Een overzicht van deze toepassingen wordt gegeven door Knotters et al. (2017). De analyse is uitgevoerd door Eurofins Agro.</p>
Omschrijving	<p>Stikstof (N) is één van de essentiële nutriënten voor plantengroei en – ontwikkeling. N-totaal bestaat uit stikstof wat voor het grootste deel (ca. 99%) in organisch materiaal aanwezig is en daarmee niet direct beschikbaar is voor opname door een gewas. De totale hoeveelheid stikstof wordt samen met de C/N-quotiënt gebruikt om het stikstof leverend vermogen (NLV) van de bodem te berekenen.</p>
Naam indicator	Fosfaatstatus*
Doel	De fosfaattoestand, voorraad en beschikbaarheid vaststellen.
(Meet)eenheid	Mg 100 ml ⁻¹ (Pw), kg ha ⁻¹ (P-CaCl ₂), kg ha ⁻¹ of mg P ₂ O ₅ 100 g ⁻¹ (P-Al)
Streef- en/of referentiewaarden	Voor het Pw-getal zijn streefwaarden beschikbaar voor akkerbouw op zeelei en zeezand (25) en overige grondsoorten (30). Voor de fosfaatvoorraad (P-Al, mg P ₂ O ₅ 100 g ⁻¹) zijn referentiewaarden beschikbaar voor akkerbouw op klei (31-62), akkerbouw op zand (34-75), melkveehouderij op klei (19-57) en melkveehouderij op zand (30-90). Voor de fosfaatbeschikbaarheid (P-CaCl ₂ , kg ha ⁻¹) zijn referentiewaarden beschikbaar voor akkerbouw op klei (5,4-9,1) en melkveehouderij op zand (2,8-4,1).
Stuurbaarheid	Redelijk. Er is een evenwicht in de bodem tussen de verschillende P-pools. Fosfaatbemesting verhoogt de hoeveelheid snel beschikbaar P voor de korte termijn (het eerste groeiseizoen). Op langere termijn komt de P in stabielere pools terecht en is dan niet snel meer beschikbaar.

Meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
Meetfrequentie ruimtelijk	40-50 steken in een W-patroon, zie het protocol van Korthals en Barel (2019).
Methodiek bemonstering	Mengmonster verkregen door middel van guts 0-25cm, zoals omschreven in Bijlage 3.
Methodiek analyse	<p><u>Klassiek</u> Pw-getal: Het Pw wordt bepaald door 1 volumedeel luchtdroge grond te mengen met 60 volumedelen water van 20 °C. Spectrofotometrische bepaling van P₂O₅ bij 700 nm na kleuring met ammoniummolybdaat, tinchloride en zwavelzuur (HBB).</p> <p><u>Alternatief</u> P-CaCl₂ getal: Het P-CaCl₂ getal wordt bepaald door 1 volumedeel monster te mengen met 10 volumedelen extractievloeistof (calciumchloride 0,01M). Spectrofotometrische bepaling van P bij 880 nm na kleuring met ammoniummolybdaat, antimoon en ascorbinezuur (HBB). Deze methode wordt nader toegelicht in het protocol zoals omschreven door Houba et al. (2000).</p> <p>P-Al getal: Het P-Al getal wordt bepaald door 1 gewichtsdeel monster te mengen met 20 gewichtsdelen extractievloeistof (ammoniumlaxtaat-azijnzuur met pH 3,75). Spectrofotometrische bepaling van P₂O₅ bij 880 nm na kleuring met ammoniummolybdaat, antimoon en ascorbinezuur (HBB).</p>
Omschrijving	Fosfor is ook één van de essentiële nutriënten voor plantengroei en –ontwikkeling. Bij bemestingsadviezen voor het bepalen van de fosfaatgift wordt rekening gehouden met de fosfaattoestand (fosfaatstatus) in de bouwvoor van de bodem en de gewasbehoefte. Er bestaan verschillende chemische extractiemethoden om de fosfaattoestand van een bodem te karakteriseren.
Naam indicator	Kaliumstatus*
Doel	Kaliumbeschikbaarheid en voorraad vaststellen.
(Meet)eenheid	mg 100 g ⁻¹ (klassiek), mmol+ kg ⁻¹ of kg ha ⁻¹ (NIRS), kg ha ⁻¹ (kali beschikbaar).
Streef- en/of referentiewaarden	Voor de klassieke methode voor de kali voorraad zijn referentiewaarden beschikbaar voor akkerbouw op klei (16-20) en akkerbouw op zand (13-17). Voor de alternatieve methode (NIRS) voor de kali voorraad zijn referentiewaarden beschikbaar voor akkerbouw op klei (335-475) en melkveehouderij op zand (155-215). Voor de beschikbaarheid van kali zijn referentiewaarden beschikbaar voor akkerbouw op klei (210-330) en melkveehouderij op zand (95-135).
Stuurbaarheid	goed, door kalibemesting.
Meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
Meetfrequentie ruimtelijk	40-50 steken in een W-patroon, zie het protocol van Korthals en Barel (2019).
Methodiek bemonstering	Mengmonster verkregen door middel van guts 0-25cm, zoals omschreven in Bijlage 3.
Methodiek analyse	<p><u>Klassiek</u> Kali voorraad (K-CEC): De kali voorraad wordt bepaald door 1 gewichtsdeel grond te mengen met 10 gewichtsdelen extractievloeistof (0,1M HCl en 0,4M oxaalzuur). K₂O wordt bepaald via vlamfotometrie (HBB).</p> <p><u>Alternatief</u> NIRS: Maakt gebruik van elektromagnetische spectra (300-2500 nm) die organische en minerale verbindingen absorbeert (Todorova et al., 2009). Vervolgens wordt een kalibratiemethode gebruikt om kali te bepalen. Een overzicht van deze toepassingen wordt gegeven door Knotters et al. (2017). De analyse is uitgevoerd door Eurofins Agro.</p> <p>Kali beschikbaar (K-PAE): Een bepaling door middel van een extractie in CaCl₂. Deze methode wordt nader toegelicht in het protocol zoals omschreven door Houba et al. (2000).</p>
Omschrijving	Kalium is, net zoals fosfor en stikstof, één van de essentiële nutriënten voor plantengroei en –ontwikkeling. Er bestaan verschillende chemische extractiemethoden om de kaliumtoestand van de bodem te bepalen.

Fysische indicatoren

Naam indicator	Watervasthoudend vermogen*
----------------	----------------------------

Doel (Meet)eenheid	Het watervasthoudend vermogen vaststellen. De zuigkracht waarmee grond vocht vasthoudt, wordt logaritmisch uitgedrukt met de pF.
Streef- en/of referentiewaarden	Er zijn referentiewaarden beschikbaar voor klei (0,24) en zand (0,19).
Stuurbaarheid	Redelijk, via verbetering van de bodemstructuur.
Meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
Meetfrequentie ruimtelijk	
Methodiek bemonstering	Ringmonster in profielkuil op 10-15 en 30-35cm (Bijlage 3).
Methodiek analyse	Het watervasthoudend vermogen is vastgesteld bij veldcapaciteit (pF 2.0). Het watervasthoudend vermogen van een bodem is het verschil van volumetrisch vochtgehalte tussen drukhoogten pF 2.0 en pF 4.2 op de waterretentiekarakteristiek (pF curve). Dit watervasthoudend vermogen is afhankelijk van textuur en structuur van een bodem. Er moet onderscheid worden gemaakt tussen bodemtypen. De analysemethode wordt omschreven door van den Elsen et al. (2019) en Heinen et al. (2018).
Omschrijving	Het watervasthoudend vermogen van de bodem is een maat voor de hoeveelheid vocht dat de bodem kan vasthouden in de poriën van een bepaalde laag. Deze indicator geeft inzicht in de hoeveelheid vocht dat beschikbaar is voor een gewas. Grond is verzadigd (pF=0), als alle poriën (klein en groot) gevuld zijn met water. Door de zwaartekracht zal het water uit de grote poriën lopen tot een pF van 1,8 (zand), komt overeen met een grondwaterstand van 60 cm onder het maaiveld, of 2,5 (klei) is bereikt. Dit is de veldcapaciteit van een bodem. Met de zogenoemde zandbak-methode kan de pF tot een drukhoogte van 2 bepaald worden.
Naam indicator	Aggregaat stabiliteit*
Doel	Het bepalen van de stabiliteit van de bodem aggregaten.
(Meet)eenheid	De aggregaat stabiliteit wordt uitgedrukt in de water stabiele aggregaten index (WSA-index).
Streef- en/of referentiewaarden	Voor de aggregaat stabiliteit zijn geen referentie- of streefwaarden bekend.
Stuurbaarheid	
Meetfrequentie in de tijd	
Meetfrequentie ruimtelijk	
Methodiek bemonstering	Zoals omschreven in Bijlage 3.
Methodiek analyse	De aggregaat stabiliteit wordt bepaald met de Natte Zeef Methode van Eijkelkamp (gebaseerd op de standaard DIN 19683-16). Deze methode kijkt naar de structurele aggregaatstabiliteit van de grond gebaseerd op de textuur en organische stof. Tijdelijke aggregaatstabiliteit door beworteling en bodemleven wordt bij deze methode buiten beschouwing gelaten. Voor een gedetailleerde omschrijving, zie Nimmo & Perkins (2002) of Eijkelkamp (2018).
Omschrijving	De aggregaat stabiliteit geeft aan in welke mate de bodemaggregaten, en daarmee de bodemstructuur, bestand zijn tegen verstoringen in of op de bodem. Verstoringen zijn onder andere menselijke handelingen zoals grondbewerking en bodemberijding, maar ook natuurlijke invloeden zoals neerslag, wind en temperatuur (bijvoorbeeld zwellen en krimpen). De aggregaatstabiliteit wordt bepaald door zowel chemische (bijv. CEC), fysische (bijv. textuur) als biologische indicatoren (bijv. 'samenkitten' van bodemdeeltjes).
Naam indicator	Aggregaat grootte verdeling
Doel	Het bepalen van de grootte van de geaggregeerde bodemdeeltjes.
(Meet)eenheid	Mm
Streef- en/of referentiewaarden	Er zijn geen streef- of referentiewaarden beschikbaar.
Stuurbaarheid	Via de algehele bodemstructuur.
Meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
Meetfrequentie ruimtelijk	
Methodiek bemonstering	Zoals omschreven in Bijlage 3.
Methodiek analyse	De structuur wordt beoordeeld op basis van een protocol gebaseerd op Field Guide Visual Soil Assessment (VSA) voor Annual Crops vande FAP (Shepherd,). De kluit van 0-25 cm wordt maximaal 3x (als kluiten onvoldoende uit elkaar vallen) vanaf 1 meter hoogte op een vlakke ondergrond laten vallen. De mate waarin de kluit uit

	<p>elkaar valt wordt beoordeeld. De kluitjes worden gerangschikt naar grootte. De score 2 (goed) wordt gegeven voor een kluit die uiteenvalt in een groot aandeel kruimels en enkele afgeronde structuren. De score 1 (gemiddeld) wordt gegeven als een kluit voor ongeveer 50% uiteenvalt in kruimels en verder in afgeronde en enkele scherpe structuren. De score 0 (slecht) wordt gegeven als de kluit uiteenvalt in voornamelijk kluiten (scherp of afgerond).</p>
Omschrijving	Teveel fijne aggregaten kan een indicatie zijn voor meer slempgevoeligheid.
Naam indicator	Textuur*
Doel	Het vaststellen van de bodemtextuur
(Meet)eenheid	%
Streef- en/of referentiewaarden	Omdat de bodemtextuur nauwelijks te beïnvloeden is door management, zijn er geen referentie- of streefwaarden beschikbaar.
Stuurbaarheid	Niet, de bodemtextuur is een van de meest onveranderlijke eigenschappen.
Meetfrequentie in de tijd	
Meetfrequentie ruimtelijk	
Methodiek bemonstering	
Methodiek analyse	De textuurindeling, ook wel textuurclassificatie, van een bodem is gebaseerd op de korrelgrootte verdeling van klei (<2 µm), silt (2-50 µm) en zand (50-2000 µm). <u>Klassiek</u> Pipetmethode: Het protocol van deze analyse wordt omschreven in NEN 5753. De analyse is uitgevoerd door Eurofins Agro. <u>Alternatief</u> NIRS: De analyse is uitgevoerd door Eurofins Agro.
Omschrijving	Met textuur worden de minerale deeltjes bedoeld waaruit de bodem is opgebouwd. Textuur is een van de meest onveranderlijke (inherente) eigenschappen van de bodem. De textuur is van invloed op zowel chemisch, fysische en biologische bodemeigenschappen, zoals de buffering van kationen (CEC) en het watervasthoudend vermogen.
Naam indicator	Indringingsweerstand*
Doel	Het vaststellen van de indringingsweerstand van de bodem.
(Meet)eenheid	Mpa
Streef- en/of referentiewaarden	De referentiewaarde is vastgesteld op 2 à 3 Mpa.
Stuurbaarheid	De indringingsweerstand is te beïnvloeden door het opheffen van bodemverdichting.
Meetfrequentie in de tijd	Regelmatig
Meetfrequentie ruimtelijk	5 steken per locatie in een straal van 1 à 2 meter, het protocol is omschreven in Tol-Leenders et al. (2019).
Methodiek bemonstering	Door middel van een penetrometer, zoals omschreven in Bijlage 3.
Methodiek analyse	De methodiek is omschreven in de handleiding van Eijkelpamp (2020).
Omschrijving	De indringingsweerstand is de weerstand die een wortel ondervindt in de bodem. Met de indringingsweerstand kan vastgesteld worden of en waar verdichte lagen in de bodem voorkomen. De indringingsweerstand geeft een indicatie van de bodemverdichting en daarmee ook inzicht in de doorlaatbaarheid (bijv. waterinfiltratie) en doordringbaarheid (bijv. bewortelbaarheid) van de bodem.
Naam indicator	Droge bulkdichtheid*
Doel	Het bepalen van de bulkdichtheid, mede voor de bepaling van overige indicatoren.
(Meet)eenheid	Gram per cm ³
Streef- en/of referentiewaarden	Voor droge bulkdichtheid is deze voor zand, lichte en matig zware zavelgronden (<17.5 % lutum) 1.6 g/cm ³ . Voor zware zavel- en kleigronden (>17.5 % lutum) is deze afhankelijk van het klei of lutumgehalte van een bodem volgens 1.75-0.009*lutum.
Stuurbaarheid	De droge bulkdichtheid wordt beïnvloed door de bodemstructuur en door het organisch stofgehalte.
Meetfrequentie in de tijd	Verandert door grondbewerking en teelt van gewassen.
Meetfrequentie ruimtelijk	Op diverse plaatsen in het perceel, kan op korte afstand variëren.

Methodiek bemonstering	Door middel van ringmonsters op een diepte van 12,5cm en 30cm, zie het protocol in Bijlage 3.
Methodiek analyse	<u>Klassiek</u> Een omschrijving van het protocol voor het steken van ringen wordt omschreven in NEN-EN-ISO 11272:2017. De analyse is uitgevoerd door WUR Open Teelten Lelystad. <u>Alternatief</u> Drogen en wegen van de inhoud van een guts over een gekozen diepte (van Tol-Leenders et al., 2019). Gebruik van een bulkdichtheidssensor (MS-Rho), getest in dit onderzoek.
Omschrijving	De droge bulkdichtheid geeft de droge massa van de vaste fractie (gronddeeltjes + OS) weer per volume grond in een onverstoorde natuurlijke toestand. Deze indicator is onderhevig aan veranderingen door natuurlijke (bijv. zwellen en krimpen) en menselijke oorzaken (bijv. grondbewerking en bodemberijding). De droge bulkdichtheid geeft, net zoals de indringingsweerstand, een indicatie van de bodemverdichting en daarmee ook inzicht in de doorlaatbaarheid en doordringbaarheid van de bodem.
Naam indicator	Porositeit/poriënvolume
Doel	Het bepalen van de verhoudingen grond, water en lucht.
(Meet)eenheid	%
Streef- en/of referentiewaarden	De streefwaarde is meer dan 10% lucht, in totaal meer dan 40% poriën (de Haan et al., 2019).
Stuurbaarheid	Het poriënvolume wordt beïnvloed door de bodemstructuur.
Meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
Meetfrequentie ruimtelijk	Niet van toepassing (berekende waarde).
Methodiek bemonstering	Niet van toepassing (berekende waarde).
Methodiek analyse	Het poriënvolume wordt berekend op basis van het vochtvasthoudend vermogen (nr. 13) en de bulkdichtheid (nr. 18). Bij het berekenen van de verdelingen is de massa van water en vaste bodemdelen (nr. 16) nodig. Voor water wordt de waarde van 1000 kg per m ³ (1 gram per cm ³) aangenomen. De soortelijke massa van vaste delen wordt geschat uit de soortelijke massa van minerale delen (2650 kg per m ³) en de soortelijke massa van organische stof (1450 kg per m ³) (de Haan et al., 2019).
Omschrijving	Het poriënvolume is het percentage van een bepaald volume grond dat bestaat uit poriën gevuld met lucht of water. Deze indicator geeft inzicht in de doorlaatbaarheid en doordringbaarheid van de bodem.
Naam indicator	Bodemtemperatuur
Doel	Het vaststellen van de temperatuur van de bodem tijdens het moment van monsternamen.
(Meet)eenheid	Graden Celsius
Streef- en/of referentiewaarden	Er zijn geen streef- of referentiewaarden beschikbaar.
Stuurbaarheid	
Meetfrequentie in de tijd	
Meetfrequentie ruimtelijk	4 herhalingen per perceel, zie Bijlage 3.
Methodiek bemonstering	Met behulp van een TDR-sensor op een diepte van 10cm, zie Bijlage 3.
Methodiek analyse	
Omschrijving	De bodemtemperatuur wordt gemeten tijdens het monsternamen, omdat deze van invloed is op het bodemleven. De interpretatie van meetuitslagen van biologische indicatoren is deels afhankelijk van de bodemtemperatuur.
Naam indicator	Bodemvochtgehalte
Doel	Het vaststellen van het bodemvochtgehalte tijdens het moment van monsternamen.
(Meet)eenheid	
Streef- en/of referentiewaarden	
Stuurbaarheid	
Meetfrequentie in de tijd	

Meetfrequentie ruimtelijk	4 herhalingen per perceel, zie Bijlage 3.
Methodiek bemonstering	Met behulp van een sensor op een diepte van 10cm, zie Bijlage 3.
Methodiek analyse	De analyse is uitgevoerd door WUR Open Teelten Lelystad.
Omschrijving	Het bodemvocht wordt, net zoals de bodemtemperatuur, gemeten tijdens het monstren om dezelfde reden. Ook het bodemvocht is van belang bij de interpretatie van diverse indicatoren (o.a. biologisch en fysisch).

Naam indicator	Visuele beoordeling*
Doel	Het vaststellen van de algehele bodemkwaliteit.
(Meet)eenheid	Niet van toepassing.
Streef- en/of referentiewaarden	Voor akkerbouw op klei en zand is minimaal 25% kruimelstructuur en 0-75% afgeronde blokkige elementen gewenst. Voor melkveehouderij op zand minimaal 50% kruimelstructuur, 30% afgerond blokkige en maximaal 20% scherp blokkige elementen (Koopmans & Brands, 2002; van Eekeren & Bokhorst, 2009).
Stuurbaarheid	Via de algehele bodemstructuur.
Meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
Meetfrequentie ruimtelijk	Er wordt per perceel een profielkuil gegraven, zie Bijlage 3. Per kuil wordt een kluit van 0-25cm en een kluit van 25-50cm uitgestoken.
Methodiek bemonstering	Zie Bijlage 3.
Methodiek analyse	De kluiten worden visueel beoordeeld op structuur, bodemleven en beworteling volgens de methode 'Zicht op de Bodemconditie'. De visuele beoordeling leidt tot een waarderingsgetal per parameter van 0 tot 10. <ul style="list-style-type: none"> a. Structuur: de bodemstructuur wordt visueel beoordeeld op de mate van kruimelstructuur, afgeronde, of scherpblokkige structuren. b. Bodemleven: de waarneembare effecten van het bodemleven worden geanalyseerd, zoals poriën, structuur, mate van vertering van het organisch materiaal. c. Beworteling: de beworteling van een gewas kan vastgesteld worden door een profielkuil te graven. In de profielkuil kan visueel waargenomen worden wat de bewortelingsdiepte en bewortelingsintensiteit is. Op basis van een vergelijking tussen de potentiële bewortelingsdiepte van een gewas en de waargenomen bewortelingsdiepte kan een inschatting gemaakt worden van de aanwezigheid van storende/verdichte lagen. Daarnaast geeft de wortelkleur een beeld over de gezondheid van het gewas. Een gezond gewas heeft witte wortels. Hierbij gelden enkele uitzonderingen, zoals de wortelkleur van peen. Bruin- of zwartkleuring van de wortels geeft een indicatie van de hoeveelheid zuurstof in de bodem. d. Aanwezigheid verdichte laag: De aanwezigheid van een verdichte laag wordt gebruikt om te bepalen op welke diepte in de profielkuil ringmonsters worden genomen. Deze ringmonsters worden gebruikt ter bepaling van de droge bulkdichtheid en het watervasthoudend vermogen. Deze analyse is uitgevoerd door Van Tafel naar Kavel. De beoordeling wordt altijd door dezelfde persoon (een geaccrediteerd bodemadviseur) uitgevoerd.
Omschrijving	

Biologische indicatoren

Naam indicator	Potentieel mineraliseerbare N (PMN)*
Doel	Vaststellen van de stikstofpool in de bodem die eenvoudig mineraliseert.
(Meet)eenheid	mg/kg of g/ha
Streef- en/of referentiewaarden	De referentiewaarde voor akkerbouw op klei is 60-80 mg/kg en voor melkveehouderij op zand 125-175 mg/kg (Hanegraaf et al., 2019). De referentiewaarde voor de stikstofmineralisatie per week is voor akkerbouw op zand is mg/kg/week en voor melkveehouderij op zand 12 mg/kg/week (Rutgers et al., 2008).
Stuurbaarheid	Enigszins, via organische bemesting.
Meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
Meetfrequentie ruimtelijk	40-50 steken in een W-patroon, zie Bijlage 3.
Methodiek bemonstering	Mengmonster verkregen door middel van guts 0-25cm, zoals omschreven in Bijlage 3.
Methodiek analyse	<u>Klassiek</u> Anaerobe incubatie:

	<p>Voor het bepalen van de PMN zijn verschillende methoden beschikbaar. PMN kan worden bepaald door grond te incuberen bij luchtdichte potten bij 20°C en vervolgens de toename in minerale N tussen week 1 en week 6 te bepalen (Bloem et al., 1994). Daarnaast kan PMN worden gemeten na 1 week anaerobe incubatie bij 40°C (Keeny en Nelson, 1982; Canali en Benedetti, 2006). Binnen het BNW is de eerste methode toegepast, de BLN gaat uit van de onderste methode.</p> <p><u>Alternatief</u> NIRS: De analyse is uitgevoerd door Eurofins Agro.</p>
Omschrijving	<p>PMN is een maat voor gemakkelijk afbreekbare stikstof. PMN vertoont goede correlaties met de totale microbiële biomassa en is betrekkelijk eenvoudig te meten en te begrijpen. De PMN correleert vaak met het organische stofgehalte en totaal N en C, maar laat eerder en grotere verschillen zien, bijvoorbeeld toename bij organische bemesting en bij gereduceerde grondbewerking.</p>
Naam indicator	Aaltjes diversiteit en aantallen (incl. plantparasitaire aaltjes)*
Doel	Bepaling van het aantal (voor planten schadelijke) aaltjes en het besmettingsniveau.
(Meet)eenheid	Het aantal aaltjes per 100 gram grond en het aantal taxa per 100 ml grond
Streef- en/of referentiewaarden	De referentiewaarde voor het aantal aaltjes per 100 gram verse grond voor akkerbouw op klei is 660-2190, voor akkerbouw op zand 1475, voor melkveehouderij op klei 2170-7260 en voor melkveehouderij op zand 2450-7760. Voor het aantal taxa is dit respectievelijk 25-44, 19-32, 21-36 en 27-42 (Rutgers et al., 2007).
Stuurbaarheid	Redelijk, via het bouwplan.
Meetfrequentie in de tijd	
Meetfrequentie ruimtelijk	40-50 steken in een W-patroon, zie Bijlage 3.
Methodiek bemonstering	Mengmonster verkregen door middel van guts 0-25cm, zoals omschreven in Bijlage 3.
Methodiek analyse	<u>Klassiek</u> Microscopie: Voor de bepaling van aaltjes zijn verschillende protocollen ontwikkeld.
Omschrijving	Aaltjes zijn belangrijke grazers van bacteriën, schimmels en plantenwortels, en dragen bij aan de mineralisatie. Daarnaast zijn er ook predatoren (roofaaltjes) die protozoën en andere nematoden belagen. In elke bodem zitten al gauw 40-100 verschillende soorten, met naast de beruchte plant-parasitaire aaltjes ook heel veel niet plant-parasitaire aaltjes. Doordat ze zo talrijk, divers en belangrijk zijn worden ze al lang gebruikt als indicator, en verschillende indices geven een indicatie over de vruchtbaarheid en mate van verstoring in de bodem.
Naam indicator	Bacteriebiomassa*
Doel	Bepaling van de biomassa aan bacteriën.
(Meet)eenheid	µg kg ⁻¹
Streef- en/of referentiewaarden	De referentiewaarde voor akkerbouw op klei is 7,5-162, voor akkerbouw op zand 25-145, voor melkveehouderij op klei 38-844 en voor melkveehouderij op zand 40-293 (Rutgers et al., 2008).
Stuurbaarheid	Matig, via het soort organische mest.
Meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
Meetfrequentie ruimtelijk	40-50 steken in een W-patroon, zie Bijlage 3.
Methodiek bemonstering	Mengmonster verkregen door middel van guts 0-25cm, zoals omschreven in Bijlage 3.
Methodiek analyse	<u>Klassiek</u> Microscopie: De bacteriën worden gekleurd met fluorescerende verbindingen en vervolgens automatisch microscopisch gemeten, een omschrijving is beschikbaar via (Bloem, 1995a; Schouten et al., 2002; Bloem et al., 2006; Bloem & Vos, 2004). <u>Alternatief</u> Als alternatief wordt PLFA toegepast, voor een omschrijving zie de PLFA-indicator hieronder.
Omschrijving	Bacteriën zijn belangrijke afbrekers van organische stof, en vormen de basis van het bodemvoedselweb. De hoeveelheid en activiteit van bacteriën wordt bevorderd

door organische bemesting, vooral door drijfmest met een relatief hoge stikstofbeschikbaarheid.

Naam indicator	Schimmelbiomassa*
Doel	Bepaling van de biomassa aan schimmels.
(Meet)eenheid	$\mu\text{g kg}^{-1}$
Streef- en/of referentiewaarden	Voor schimmelbiomassa zijn geen referentie- of streefwaarden beschikbaar.
Stuurbaarheid	Matig, via het soort organische mest.
Meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
Meetfrequentie ruimtelijk	40-50 steken in een W-patroon, zie Bijlage 3.
Methodiek bemonstering	Mengmonster verkregen door middel van guts 0-25cm, zoals omschreven in Bijlage 3.
Methodiek analyse	<u>Klassiek</u> Microscopie: De schimmelbiomassa is microscopisch gemeten, zie Bloem et al., (1995b). <u>Alternatief</u> Als alternatief wordt PLFA toegepast, voor een omschrijving zie de PLFA-indicator hieronder.
Omschrijving	Schimmels zijn, samen met bacteriën, de belangrijkste afbrekers van organische stof en vormen de basis van het voedselweb. Schimmeldraden vormen netwerken rond organisch materiaal en gronddeeltjes en dragen zo bij aan een goede kruimelige structuur. Deze microscopisch gemeten schimmelbiomassa is gebaseerd op de totale hoeveelheid schimmeldraden en omvat zowel saprotrofe schimmels (afbrekers) als mycorrhiza schimmels die in symbiose leven met plantenwortels.
Naam indicator	Ergosterol
Doel	Het bepalen van actieve schimmels.
(Meet)eenheid	mg kg^{-1}
Streef- en/of referentiewaarden	Van de ergosterolmethode zijn geen referentie- of streefwaarden beschikbaar.
Stuurbaarheid	Matig
Meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
Meetfrequentie ruimtelijk	40-50 steken in een W-patroon, zie Bijlage 3.
Methodiek bemonstering	Mengmonster verkregen door middel van guts 0-25cm, zoals omschreven in Bijlage 3.
Methodiek analyse	Om ergosterol te bepalen zijn verschillende methodes beschikbaar. De meest simpele methode om ergosterol te bepalen wordt omschreven door Gong et al. (2001). Deze, en de meer complexe methode 'saponification', worden nader toegelicht in de Ridder-Duine et al. (2006). De analyse is uitgevoerd door het NIOO.
Omschrijving	Ergosterol zit in de celmembranen van saprotrofe schimmels en geeft een maat voor de totale biomassa binnen deze functionele groep.
Naam indicator	PLFA*
Doel	De samenstelling en biomassa van de microbiële gemeenschap inzichtelijk maken.
(Meet)eenheid	$\mu\text{g kg}^{-1}$
Streef- en/of referentiewaarden	Zie indicator bacteriebiomassa en schimmelbiomassa.
Stuurbaarheid	Zie indicator bacteriebiomassa en schimmelbiomassa.
Meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
Meetfrequentie ruimtelijk	40-50 steken in een W-patroon, zie Bijlage 3.
Methodiek bemonstering	Mengmonster verkregen door middel van guts 0-25cm, zoals omschreven in Bijlage 3.
Methodiek analyse	Phospholipid Fatty Acids zijn vetzuren die de membraan vormen van alle levende cellen. Verschillende groepen organismen hebben verschillende PLFAs. Een 30-tal PLFAs wordt gebruikt als biomarkers voor de samenstelling van de microbiële gemeenschap (community structure), waarmee effecten van beheer zichtbaar worden gemaakt.

Omschrijving	Deze methode geeft informatie over relatieve hoeveelheden schimmels, bacteriën en actinomyceten. Bovendien wordt onderscheid gemaakt tussen saprotrofe schimmels en mycorrhiza schimmels, en tussen zogenaamde Gram positieve en Gram negatieve bacteriën die kunnen worden beschouwd als respectievelijk langzame en snelle groeiers.
Naam indicator	Bodemademhaling (potentiële C-mineralisatie)
Doel	Het bepalen voor de activiteit van de microben.
(Meet)eenheid	g kg ⁻¹
Streef- en/of referentiewaarden	Voor de bodemademhaling zijn geen referentie- of streefwaarden beschikbaar.
Stuurbaarheid	Matig, via aanvoer van organische stof en grondbewerking.
Meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
Meetfrequentie ruimtelijk	40-50 steken in een W-patroon, zie Bijlage 3.
Methodiek bemonstering	Mengmonster verkregen door middel van guts 0-25cm, zoals omschreven in Bijlage 3.
Methodiek analyse	De potentiële C-mineralisatie wordt bepaald door de grond 6 weken te incuberen in luchtdichte potten. De ademhaling wordt berekend uit het verschil in zuurstofconcentratie (van Eekeren & Bokhorst, 2009). De analyse is uitgevoerd door het Soil Biology Laboratory.
Omschrijving	De afbraak van organische stof tot CO ₂ wordt ook wel C-mineralisatie genoemd. Het kan worden gemeten als bodemademhaling (CO ₂ -productie). Het is een veel gebruikte maat voor de algemene microbiële activiteit. De activiteit van de bodemmicroflora wordt sterk beïnvloed door omgevingsfactoren. Het is daarom belangrijk dat de CO ₂ -productie wordt bepaald onder gestandaardiseerde omstandigheden in het lab.
Naam indicator	Regenwormen aantallen en diversiteit*
Doel	Bepaling van het aantal regenwormen.
(Meet)eenheid	Aantal wormen en taxa per m ²
Streef- en/of referentiewaarden	De referentiewaarden voor het aantal wormen is 12-440 voor akkerbouw op klei, 0-118 voor akkerbouw op zand, 126-804 voor melkveehouderij op klei en 24-388 voor melkveehouderij op zand. De referentiewaarden voor het aantal taxa is 1,3-7,9 voor akkerbouw op klei, 0-4,7 voor akkerbouw op zand, 5-9 voor melkveehouderij op klei en 3-7 voor melkveehouderij op zand (Rutgers et al., 2007).
Stuurbaarheid	Beperkt.
Meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
Meetfrequentie ruimtelijk	3 plekken per perceel
Methodiek bemonstering	Per perceel worden regenwormen bemonsterd in 3 herhalingen. Bemonstering is een combinatie van het steken van plaggen en toedienen van extractiemiddel (AITC, allyl-isothiocyanaat) op de bodem van het uitgestoken plag.
Methodiek analyse	Wormen worden levend verzameld door het handmatig uitzoeken van de uitgestoken plag en verzamelen van wormen die boven komen in reactie op het extractie middel. Het protocol is gebaseerd op Zaborski (2003), Andriuzzi et al. (2017) en Frazão et al. (2019).
Omschrijving	Regenwormen kunnen in de bodem soms net zulke hoge biomassa's bereiken als schimmels en bacteriën. Wormen brengen organisch materiaal in de bodem, mengen de grond, bevorderen de microbiële activiteit en verbeteren de bodemstructuur (kruimels) en waterinfiltratie (verticale gangen).
Naam indicator	Ziektewering Pythium
Doel	Het bepalen van de ziekteverendheid van de bodem.
(Meet)eenheid	Aantasting in percentage van het oppervlak van tuinkers.
Streef- en/of referentiewaarden	Er zijn geen referentie- of streefwaarden beschikbaar.
Stuurbaarheid	Matig, de ziekteverendheid wordt o.a. beïnvloed door microbiologische activiteit in de bodem en daarmee door organisch stof management en bodembewerking (Bongiorno et al., 2019).
Meetfrequentie in de tijd	Ziektewering is seizoensafhankelijk en dient dus op een vast moment te worden gemeten.

Meetfrequentie ruimtelijk	Minimaal 4 herhalingen, dit kan met mengmonsters uit een perceel of.
Methodiek bemonstering	Er wordt grond verzameld door middel van een schep op verschillende plekken op 25cm diepte (Bijlage 3); er is 1 kg grond nodig per herhaling.
Methodiek analyse	Bij deze indicator wordt de ziektevering van bodems tegen het pathogeen Pythium ultimum getoetst. Hiervoor wordt het pathogeen aan de bodem toegevoegd en vervolgens wordt de aantasting in tuinkers bepaald. Als controle wordt ook grond zonder pathogeen getoetst. Het protocol voor de biotoets wordt omschreven door Bongiorno et al. (2019).
Omschrijving	Bodems bevatten een bepaalde mate van ziektevering, ook wel weerbaarheid genoemd, tegen bepaalde ziekten. De ziekteverendheid van een bodem kan worden omschreven als een bodem waarin het voorkomen en de ernst van een ziekte laag blijft, ondanks de aanwezigheid van die ziekteverwekker (pathogeen) in de bodem in combinatie met een gevoelig gewas (waardplant).
Naam indicator	Ziektevering Rhizoctonia
Doel	Bepalen van de ziekteverendheid van de bodem.
(Meet)eenheid	Aantasting in percentage planten met visuele symptomen.
Streef- en/of referentiewaarden	Er zijn geen referentie- of streefwaarden beschikbaar .
Stuurbaarheid	Beperkt, de verspreiding van Rhizoctonia kan worden verminderd door toevoeging van organische materialen in potproeven (Postma & Schilder, 2015). Oorzaak van ziektevering in het veld is nog altijd onbegrepen.
Meetfrequentie in de tijd	Ziektevering is seizoensafhankelijk en dient dus op een vast moment te worden gemeten.
Meetfrequentie ruimtelijk	Minimaal 4 herhalingen, dit kan met mengmonsters uit een perceel.
Methodiek bemonstering	Er wordt grond verzameld door middel van een schep op verschillende plekken op 25cm diepte (Korthals & Barel, 2019); er is 1,5 kg grond nodig per herhaling.
Methodiek analyse	Bij deze indicator wordt de ziektevering van bodems tegen het pathogeen Rhizoctonia solani AG 2-IIIB getoetst. Hiervoor wordt het pathogeen aan de bodem toegevoegd en vervolgens wordt de aantasting in suikerbiet bepaald. De analysemethode wordt omschreven in Postma en Schilder (2015).
Omschrijving	Bodems bevatten een bepaalde mate van ziektevering, ook wel weerbaarheid genoemd, tegen bepaalde ziekten. De ziekteverendheid van een bodem kan worden omschreven als een bodem waarin het voorkomen en de ernst van een ziekte laag blijft, ondanks de aanwezigheid van die ziekteverwekker (pathogeen) in de bodem in combinatie met een gevoelig gewas (waardplant).
Naam indicator	Shannon Index
Doel	Indicatie verkrijgen in de verdeling van soorten.
(Meet)eenheid	Niet van toepassing.
Streef- en/of referentiewaarden	De index bedroeg 3,6 op biologische, 3,59 op extensieve en 3,57 op intensieve bedrijven (Schoumans et al., 2002).
Stuurbaarheid	
Meetfrequentie in de tijd	Niet van toepassing (berekende waarde).
Meetfrequentie ruimtelijk	Niet van toepassing (berekende waarde).
Methodiek bemonstering	Niet van toepassing (berekende waarde).
Methodiek analyse	De index wordt berekend uit het aantal soorten en het aantal individuen, een omschrijving wordt gegeven in Schoumans et al. (2002) en Atlas en Bartha (1993).
Omschrijving	In deze index zit zowel het aantal genotypen als de relatieve massa van de verschillende genotypen verwerkt. De index is hoger naarmate het aantal soorten groter is en de massa evenrediger over de soorten is verdeeld.
Naam indicator	Colonizer-Persister waarde
Doel	Het bepalen van de diversiteit en aantallen nematoden.
(Meet)eenheid	Niet van toepassing.
Streef- en/of referentiewaarden	Kan variëren van 1 tot 5.
Stuurbaarheid	
Meetfrequentie in de tijd	Niet van toepassing (berekende waarde).
Meetfrequentie ruimtelijk	Niet van toepassing (berekende waarde).
Methodiek bemonstering	Niet van toepassing (berekende waarde).

Methodiek analyse	Nematoden worden ingedeeld in 5 groepen op basis van hun levensstrategieën. Deze methode wordt omschreven door Bongers (1990) en aangevuld door de Goede et al. (1993).
Omschrijving	Deze waarden zijn toegekend afhankelijk van de levensstrategie van de aaltjes. De aaltjes met een lage CP-waarde hebben een korte levenscyclus, produceren veel nakomelingen en kunnen snel reageren op een toename in voedsel. Aaltjes met een hoge CP-waarde hebben een langere levenscyclus, produceren weinig nakomelingen en zijn gevoelig voor verstoringen.
Naam indicator	Maturity Index
Doel	Het bepalen van de nematodensamenstelling en hun status na verstoring, en daarmee hun stabiliteit.
(Meet)eenheid	Niet van toepassing.
Streef- en/of referentiewaarden	Een interpretatie van deze index in relatie tot bodemmanagement en overige indices wordt gegeven door Bongiorno et al. (2019).
Stuurbaarheid	De MI is gevoelig voor bodembewerkingen, pH en verontreinigingen (Bongers et al., 1997).
Meetfrequentie in de tijd	Niet van toepassing (berekende waarde).
Meetfrequentie ruimtelijk	Niet van toepassing (berekende waarde).
Methodiek bemonstering	Niet van toepassing (berekende waarde).
Methodiek analyse	Nematoden worden ingedeeld in 5 groepen op basis van hun levensstrategieën. De MI wordt berekend op basis van het een gewogen gemiddelde van de individuele c-p scores van de taxa (Bongers, 1990; Rutgers et al., 2008).
Omschrijving	De MI is een maat voor de status van successie na verstoringen, waarin verschuivingen tussen CP-groepen kunnen worden weergegeven met indices. De MI is gebaseerd op alle aaltjesgroepen, met uitzondering van de plantenparasieten.
Naam indicator	Plant Parasitic Index (PPI)
Doel	Het bepalen van herbivoren aaltjes.
(Meet)eenheid	Niet van toepassing.
Streef- en/of referentiewaarden	Een interpretatie van deze index in relatie tot bodemmanagement en overige indices wordt gegeven door Bongiorno et al. (2019).
Stuurbaarheid	Redelijk, de PPI wordt beïnvloed door bodembewerkingen en in mindere mate door de organische stof aanvoer (Bongiorno et al., 2019).
Meetfrequentie in de tijd	Niet van toepassing (berekende waarde).
Meetfrequentie ruimtelijk	Niet van toepassing (berekende waarde).
Methodiek bemonstering	Niet van toepassing (berekende waarde).
Methodiek analyse	De Plant Parasitic Index is omschreven door Bongers (1990) en later door Bongers et al. (1997) met de MI gecombineerd tot de nieuwe indicator 'PPI/MI'.
Omschrijving	Is gebaseerd op dezelfde classificatie in CP-waarden als de MI, maar is alleen gebaseerd op de plantenparasieten.
Naam indicator	Channel Index (CI)
Doel	Deze index geeft inzicht in de relatieve aanwezigheid en complexiteit van nematoden, met een focus op schimmeldecompositie.
(Meet)eenheid	Niet van toepassing.
Streef- en/of referentiewaarden	Een interpretatie van deze index in relatie tot bodemmanagement en overige indices wordt gegeven door Bongiorno et al. (2019).
Stuurbaarheid	Redelijk, de CI wordt beïnvloed door bodembewerkingen en in mindere mate door de organische stof aanvoer (Bongiorno et al., 2019).
Meetfrequentie in de tijd	Niet van toepassing (berekende waarde).
Meetfrequentie ruimtelijk	Niet van toepassing (berekende waarde).
Methodiek bemonstering	Niet van toepassing (berekende waarde).
Methodiek analyse	De CI wordt berekend op basis van de .., en kan automatisch worden berekend met de tool zoals omschreven door Sieribriennikov et al. (2014).
Omschrijving	De CI geeft weer of de aaltjesgemeenschap meer is gedomineerd door schimmel-etende (hogere waarden) of bacterie-etende aaltjes (lage waarden).
Naam indicator	Basel Index

Doel	Deze index geeft inzicht in de relatieve aanwezigheid en complexiteit van nematoden.
(Meet)eenheid	Niet van toepassing.
Streef- en/of referentiewaarden	
Stuurbaarheid	
Meetfrequentie in de tijd	Niet van toepassing (berekende waarde).
Meetfrequentie ruimtelijk	Niet van toepassing (berekende waarde).
Methodiek bemonstering	Niet van toepassing (berekende waarde).
Methodiek analyse	
Omschrijving	Een indicatie voor de mate van voorkomen van aaltjes met een hoge stresstolerantie.
Naam indicator	Enrichment Index (EI)
Doel	Deze index geeft inzicht in de relatieve aanwezigheid en complexiteit van nematoden, met een focus op de beschikbaarheid van <i>resources</i> .
(Meet)eenheid	Niet van toepassing.
Streef- en/of referentiewaarden	Een interpretatie van deze index in relatie tot bodemmanagement en overige indices wordt gegeven door Bongiorno et al. (2019).
Stuurbaarheid	Redelijk, de EI wordt beïnvloed door bodembewerkingen en in mindere mate door de organische stof aanvoer (Bongiorno et al., 2019).
Meetfrequentie in de tijd	Niet van toepassing (berekende waarde).
Meetfrequentie ruimtelijk	Niet van toepassing (berekende waarde).
Methodiek bemonstering	Niet van toepassing (berekende waarde).
Methodiek analyse	Een omschrijving van de analysemethode wordt gegeven door Ferris et al. (2001).
Omschrijving	Een maat voor de aanwezigheid van aaltjes die snel reageren op een toename in voedselaanbod.
Naam indicator	Structure Index
Doel	Deze index geeft inzicht in de relatieve aanwezigheid en complexiteit van nematoden, en de bestendigheid tegen stressfactoren.
(Meet)eenheid	Niet van toepassing.
Streef- en/of referentiewaarden	Een interpretatie van deze index in relatie tot bodemmanagement en overige indices wordt gegeven door Bongiorno et al. (2019).
Stuurbaarheid	Redelijk, de PPI wordt beïnvloed door bodembewerkingen en in mindere mate door de organische stof aanvoer (Bongiorno et al., 2019b).
Meetfrequentie in de tijd	Niet van toepassing (berekende waarde).
Meetfrequentie ruimtelijk	Niet van toepassing (berekende waarde).
Methodiek bemonstering	Niet van toepassing (berekende waarde).
Methodiek analyse	Een omschrijving van de analysemethode wordt gegeven door Ferris et al. (2001).
Omschrijving	Een maat voor de complexiteit, structuur en interacties tussen aaltjes in de grond. Lagere waarden geven aan dat het voedselweb basaal is met voornamelijk bacterie- en schimmeleeters met lage CP-waarden. Hogere waarden van de SI daarentegen zijn een indicatie voor een complexer voedselweb, waarin ook groepen voorkomen die gebruik maken van andere voedselbronnen (zoals predatoren en omnivoren) en met hogere CP-waarden.

Bijlage 3 Bemonsteringsprotocol

Doel

Het bemonsteren van akkerbouw percelen voor een serie bodemanalyses, inclusief het nemen van een representatief grondmonster van een nettoveldje op een proefveld. Zie figuur 4 voor flow-diagram. Bij alle handelingen dient de verspreiding van grondgebonden pathogenen binnen het veldje en tussen percelen te worden voorkomen door de materialen schoon te vegen.

Dit protocol beschrijft de bemonstering voor delen I-IV. Principe en werkwijze staat per deel aangegeven.

Benodigheden

- I. Temperatuur- en vochtbepaling
 - Mobiele Trimble GPS met antenne
 - Handheld vochtsensor
 - Handheld temperatuurmeter

- II. Mengmonster
 - Grondboor 2,3 cm doorsnee en 25 cm lang
 - Schraper/duimpje
 - Emmer > 5-10 ltr
 - Plastic zakken
 - Geplastificeerde labels
 - Touwtjes
 - Borstel
 - Koelbox & elementen

- III. Monstername bio-toetsen:
 - Spade
 - Plastic zakken
 - Labels
 - Touwtjes

- IV. Monstername regenwormen
 - Tissue papier
 - Water, om AITC veld oplossing te maken
 - Water, om te spoelen
 - 10L jerrycan
 - Maatbeker 1-2,5L
 - Latex handschoenen
 - AITC-stock oplossing
 - Plastic zakken, touw en labels (voor handmatig uitzoeken op lab)
 - Plastic potten, gelabeld per perceel, per plag, per laag (plag (0-20 cm) of AITC extractie (>20 cm))
 - Plastic bakje met spoelwater
 - Frame 20 x 20 cm
 - Vlakke spade

- V. Monstername aggregaat stabiliteit
 - Spade
 - Plastic zakken
 - Labels
 - Touwtjes

- VI. Indringingsweerstand
 - Penetrologger met interne GPS

- VII. Profielkuilbeoordeling
 - Schep
 - Rolmaat

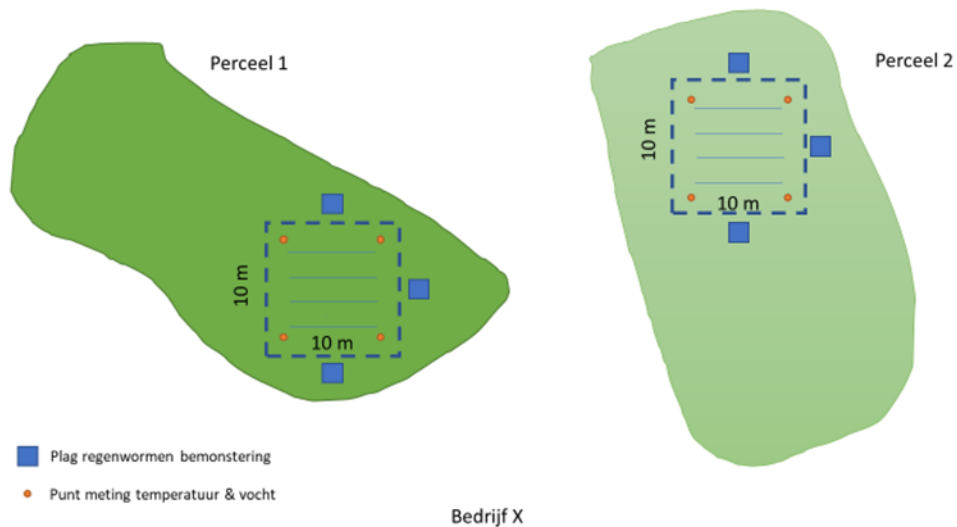
- Zakmes

VIII. Visual Soil Assessment

- Schep
- Grote plastic zak

IX. Ringmonsters bulkdichtheid

- Gesloten ringhouder
- Grondmonsterringen met een diameter van 53 mm
- Meetlat
- Plankje
- Scherp mes
- Terugslagvrije hamer
- Waterpomptang
- Zachte doeken



_____ celen per
 bedrijf. Bemonsteringspunten voor I bepaling temperatuur en vocht gehalte (oranje circles), II nemen van het mengmonster door het lopen van een patroon, IV monsternamen regenwormen in pluggen (blauwe vierkantjes) aangegeven.

Voorbereiding

Van elk te bemonsteren perceel wordt een nettoveld geselecteerd. De afmeting van het netto veldje is 100 m² (10 x 10 mtr). Registreer de coördinaten en leg de exacte positie vast m.b.v. GPS. Op het veld worden verschillende monsters verzameld, elk met hun eigen protocol. Bemonstering bestaat uit 9 onderdelen die worden uitgevoerd.

- I. Temperatuur en Vochtmeting met sensoren
- II. Monsternamen mengmonster
- III. Monsternamen bio-toetsen
- IV. Monsternamen regenwormen
- V. Monsternamen aggregaatstabiliteit
- VI. Indringingsweerstand
- VII. Profielkuilbeoordeling
- VIII. Visual Soil Assessment
- IX. Ringmonsters bulkdichtheid

Deze 9 onderdelen worden achtereenvolgend beschreven.

Na het uitzetten van het veld en het inzetten van IV "Monsternamen regenwormen", splits het bemonsteringsteam op en worden VII "Profielkuilbeoordeling" en VIII "Visual Soil Assessment" door één persoon uitgevoerd (altijd zelfde persoon) en VI "Indringingsweerstand" door een ander persoon (ook altijd dezelfde) uitgevoerd. Vervolgens worden delen I t/m III en V uitgevoerd. Onderdeel IX "Ringmonsters bulkdichtheid" wordt als laatste uitgevoerd.

I. Temperatuur en Vochtmeting met sensoren

Principe

Met behulp van sensoren wordt ter plekke de gemiddelde bodemtemperatuur en vochtgehalte bepaald

Werkwijze

Vanaf elke hoekpunt van het nettoveld wordt op 1 meter naar het centrum toe een punt meting gedaan met beide sensoren, op 10 cm diepte. Wacht 30 sec. na het steken van de sensor in de grond en registreer vervolgens de waarde voor vocht en temperatuur. Doe dit 4 keer per vlak.

II. Monstername mengmonster

Principe

Met behulp van een grondboor (Grondboor 2,3 cm doorsnee en 25 cm lang) wordt een proefveld bemonsterd (0-25 cm diep) om een representatief grondmonster te verkrijgen.

Werkwijze

1. In het nettoveld worden ongeveer 40-50 steken middels op en neer lopen in 4 lijnen genomen verdeeld over het gehele netto veld genomen. De grond bemonsteren tot 25 cm diep. Dit levert circa 7 kg verse grond op.
3. Elke steek wordt m.b.v. een duimpje in een emmer en vervolgens in een schone plastic zak verzameld en de zak wordt dichtgebonden met een touwtje en voorzien van een label in en een label aan de zak.
4. Voordat een ander perceel wordt gestoken, moeten boor, duimpje en emmer veeg schoon zijn.
5. Om opwarming in de plastic zak zoveel mogelijk te voorkomen: zo mogelijk monsters bij bewolkt weer of plastic zak met grond uit de zon zetten en z.s.m. in koelbox plaatsen. Als de grondmonsters niet direct vervoerd worden naar Lelystad dienen deze bij 4 graden Celsius weggezet te worden.
6. De grondmonsters moeten bij temperaturen boven de 15°C gekoeld (in koelboxen en/of koelkast of bij grote hoeveelheden met gekoeld transport) en voorzichtig worden getransporteerd. Bij aankomst op het lab in Lelystad moeten de grondmonsters bij 4°C in de koelcel worden bewaard.
7. Werkwijze submonsters (op Lab Lelystad):
 - Grondmonster uitspreiden op groot stuk plastic, grove kluiten voorzichtig fijnmaken, stenen verwijderen en grof organisch materiaal eruit halen.
 - Meng de grond door dit zes keer voorzichtig over het plastic te rollen.
 - Per perceel wordt een monster van 100 gram apart gewogen en bij 105C weggezet ter bepaling van het vochtgehalte.
8. Neem een ongezeefd submonster voor de chemische bepalingen (0,5 kg), aaltjes bepaling (0,5 kg) en de tijdelijke back-up (1 kg) en bewaar bij 4°C
9. zeef de overgebleven grond op 5 mm, en verdeel dit voor de overige submonsters. De submonsters in een plastic bakje met deksel afwegen. Voor bewaring en vervoer naar de desbetreffende labs moeten de monsters gekoeld blijven 4°C.

Het mengmonster wordt verdeeld in de volgende submonsters:

Submonster	Hoeveelheid	Gezeefd / ongezeefd (5 mm)
Chemische bepalingen (Sjoerd/Janjo)	1,0 kg: 1. 0,5 kg 2. 0,5 kg	1. Ongezeefd 2. Ongezeefd
Organische stof (Marjoleine) 1. CBLB 2. Deltaris 3. WUR OT	2 kg: 1. 1,25 kg 2. 0,25 kg 3. 0,50 kg	gezeefd
Bio 1. Aaltjes (Lelystad) 2. Microbieel – NIOO 3. Microbieel & biochemisch – SBL 4. Microbieel - Jaap Bloem (WEnR) 5. SMDVV Jaap/Japan	3,5 kg: 1. 1 kg 2. 0,5 kg 3. 1 kg 4. 0,5 kg 5. 0,5 kg	1. Ongezeefd 2. Gezeefd 3. Gezeefd 4. Gezeefd 5. Gezeefd
MSc thesis SBL	0,5 kg	Gezeefd
Bulkdichtheid WEnR	0,5 kg	Ongezeefd
Tijdelijke back-up 4°C	1 kg	Ongezeefd
Totaal grondmonster	8,5 kg	

III. Monstername biotoetsen

Als er gewasresten op de bodem liggen, deze niet meenemen. De grond mag gewoon met schep of schepje genomen worden, van aantal verschillende plekken 25 cm diep en bij elkaar voegen totdat minimaal 9 kg is verzameld. (1,6 kg grond voor Pythium en 6,8 kg grond voor Rhizoctonia). Monstername V "Aggregaat stabiliteit" wordt op dezelfde manier uitgevoerd.

IV. Monstername regenwormen

(protocol gebaseerd op WUR-SBL SOP v1.0, Zaborski (2003), Andriuzzi et al. (2017), Frazão et al. (2019))

Principe

Per perceel worden regenwormen bemonsterd in 3 herhalingen. Bemonstering is een combinatie van het steken van plaggen en toedienen van extractiemiddel (AITC, allyl-isothiocyanaat) op de bodem van het uitgestoken plag. Wormen worden levend verzameld door het handmatig uitzoeken van de uitgestoken plag en verzamelen van wormen die boven komen in reactie op het extractie middel.

Let op! AITC is een irriterend middel. Gebruik latex handschoenen en zorg voor schoon water in de buurt, zodat je je huid kunt afspoelen mocht het in contact komen met AITC.

Opmerking: Hoewel AITC een irriterend middel is, breekt het snel af en komen de stoffen van nature voor in kruisbloemige planten (monster, spruiten, brocolli).

Vorbereiding

Om de werkoplossing AITC te maken:

1. Vul een 10 l jerrycan met kraanwater.
2. Voeg hieraan 20 ml AITC stock oplossing toe (concentratie 5 g/l), dit is 1 glazen flesje
3. Meng de werkoplossing en sluit goed af.

Deze voorbereiding kun je doen in het lab, of ter plekke in het veld. AITC stockoplossing is maar enkele dagen houdbaar (in de koelkast). Maak elke dag een verse werkoplossing, en op de paar dagen nieuwe stock-oplossing.

Werkwijze

1. Kies 3 locaties langs de zijden van het nettoveldje om de plaggen voor regenwormen te steken.
2. Gebruik het frame om een plag te steken van 20 x 20 x 20 cm (h x b x d). Zorg hierbij dat de spade recht de grond in gaat om een gestandaardiseerd volume te bemonsteren.
 - a. Wanneer ter plekke de plag wordt uitgezocht Leg de deze op een groot stuk plastic
 - b. Wanneer de plag in het lab wordt uitgezocht, verzamel het materiaal in een zak en houd deze koel (zie II.6.) en zet weg bij 2-4 C.
3. Steek het frame in het gat, zodat er geen wormen vanuit de zijkanten in het gat vallen tijdens de extractie-stap.
4. Giet max 2,5 L AITC werkoplossing op de bodem van het gat. Doe dit in delen en wacht steeds 10 min tot de wormen omhoog komen om daarna weer te gieten. Komen er in die 10 minuten geen wormen omhoog, stop dan met verzamelen. Maximaal bemonsteringsduur = 30 min.

Verzamel alle wormen die gedurende 30 min naar boven komen in een bakje met spoelwater om voorkomen dat er AITC-oplossing op hun huid achterblijft. Verzamel de wormen wanneer die voor merendeel van hun lijf boven de grond zijn, anders bestaat de kans dat ze zich terugtrekken of beschadigd raken. Bewaar ze tenslotte in een afgesloten gelabelde pot (perceel & plag & laag) met een vochtige tissue.

5. Voor het handmatig uitzoeken van wormen, doorzoek de plag beetje bij beetje en breek de grond voorzichtig open (± 1 cm). Grote wormen met de hand vastpakken, kleine wormen met de slappe pincet. Wormen alleen aan achterkant vastpakken, om beschadigingen aan de kop en clitellum te voorkomen en de determinatie kenmerken te behouden.
6. Verzamel de wormen in gelabelde plastic pot (perceel & plag & laag) met vochtig tissue papier. Koel bewaren 2-4°C De wormen monster moeten binnen enkele dagen naar SBL worden gebracht, om ze tijdig te kunnen verwerken.

V. Monstername aggregaat grootte verdeling en stabiliteit

Zie monstername III Monstername Biotoetsen

VI. Indringingsweerstand

Met behulp van een penetrologger met interne GPS wordt op 10 punten in het nettoveldje de indringingsweerstand gemeten. Conform figuur 2 wordt volgens 4 vaste lijnen gelopen. Gewasresten worden voorafgaand aan de meting aan de kant geschoven. Om uitvoering van de metingen zo uniform (gelijkmatige druk) mogelijk uit te voeren, wordt de meting altijd door dezelfde persoon uitgevoerd.

VII. Profielkuilbeoordeling

De profielkuilbeoordeling wordt op 4 plekken uitgevoerd. De profielkuilen worden net buiten het nettoveldje gegraven, zodat de andere bemonsteringen niet verstoord worden. Op deze 4 plekken wordt een kuil gegraven van minimaal 2 spades breed en 2 spades diep (ca. 50 cm diep). De eerste profielkuil wordt dieper en breder gemaakt (tot ca 60 cm), omdat de monstername met grondmonsterringen meer ruimte vraagt.

Per kuil wordt een kluit 0-25 cm en een kluit 25-50 cm uitgestoken. De kluiten worden visueel beoordeeld op structuur, bodemleven en beworteling (methode Zicht op de Bodemconditie). De visuele beoordeling leidt tot een waarderingsgetal per parameter van 0 – 10. De getallen geven verschillen tussen percelen en plekken weer. Ter aanvulling op de getallen worden foto's genomen. De beoordeling wordt altijd door dezelfde persoon (een geaccrediteerd bodemadviseur) uitgevoerd.

VIII. Visual Soil Assessment

(Protocol gebaseerd op de Field Guide Visual Soil Assessment voor Annual Crops van de FAO, Shepherd G. e.a.)

Bij de Visual Soil Assessment worden drie parameters beoordeeld:

- De structuur in 0-25 cm: laat een kluit van 0-25 cm maximaal 3x (als kluiten onvoldoende uit elkaar vallen) vanaf 1 meter hoogte op een vlakke ondergrond vallen. De mate waarin de kluit uit elkaar valt wordt beoordeeld. De kluitjes worden gerangschikt naar grootte. De kluit krijgt een score gebaseerd op onderstaande afbeelding (Figuur 4.2; Score bodemstructuur VSA)
- De potentiële bewortelingsdiepte: de diepte van de beworteling wordt genoteerd. Hierbij wordt afgeweken van de VSA methode van de FAO. In deze methode wordt een VSA score toegekend aan de bewortelingsdiepte. Dieper dan 80 cm krijgt de hoogste score. Deze beoordeling is niet uitgevoerd, omdat dit zeer gewasafhankelijk is.

- Aantal en kleur van vlekken in het profiel: hiervoor wordt een visuele beoordeling van de profielkuil uitgevoerd. Op basis van figuur 4.3 Score vlekken in profiel VSA wordt een score gegeven.



GOOD CONDITION VS = 2
 Soil dominated by friable, fine aggregates with no significant clodding. Aggregates are generally sub-rounded (nutty) and often quite porous.

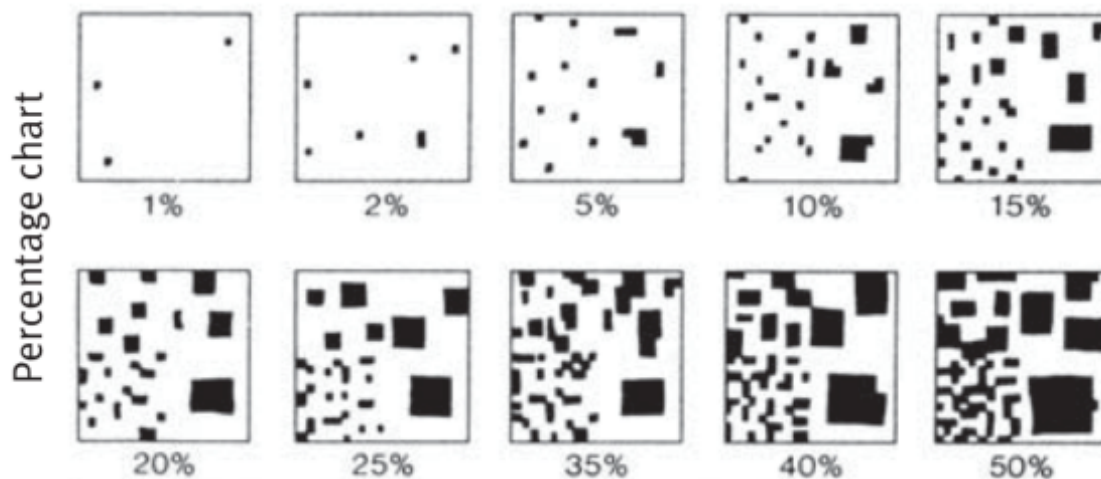


MODERATE CONDITION VS = 1
 Soil contains significant proportions (50 percent) of both coarse clods and friable fine aggregates. The coarse clods are firm, sub-angular or angular in shape and have few or no pores.



POOR CONDITION VS = 0
 Soil dominated by coarse clods with very few finer aggregates. The coarse clods are very firm, angular or sub-angular in shape and have very few or no pores.

F



IX. Ringmonsters

In de eerste profielkuil (kuil bij hoekpunt 1 van het nettoveldje) worden 8 grondmonsterringen gestoken. De ringen worden gestoken op 2 dieptes; 10 – 15 cm (midden ca. 12,5 cm) en 30 – 35 cm (midden ca. 32,5 cm). Op elke diepte worden 4 ringen, elk aan een zijde van de profielkuil gestoken volgens de volgende methode:

1. Plaats de monsterring in de huls van de ringhouder. De scherpe kant van de monsterring komt aan de scherpe kant van de ringhouder. Controleer dat de ring vrij kan bewegen in de huls,
2. Schuif de huls met de ring op de ringhouder en draai met een inbussleutel de 2 bevestigingspunten aan.
3. Plaats de ringhouder horizontaal op de gewenste diepte aan de zijkant van de kuil.
4. Druk of sla met een terugslagvrije hamer de ringhouder horizontaal in de grond totdat de ring gevuld is met grond.
5. Draai de ringhouder een slag om het monstermateriaal in de monsterring los te maken van de grond. Indien nodig kan hiervoor de waterpomp tang gebruikt worden.
6. Haal de ringhouder licht draaiend voorzichtig uit de grond.
7. Draai de huls los en schuif deze voorzichtig van de ringhouder en de grondmonsterring af.
8. Snij met een scherpe, vlakke mes de uitpuilende grond van de monsterring af. Een plankje biedt een vlakke ondergrond voor afsnijden van de uitpuilende grond
9. Plaats de beschermkappen over de ringen en plaats de ringen in de koffer

X. Bulkdichtheidsensor MS-Rho en guts

Direct naast de eerste profielkuil zijn ook metingen met de guts en de MS-Rho, de bulkdichtheid of bodemdichtheidssensor uitgevoerd.

Guts

Met de guts is een monster van 0 tot 30 cm en van 30 tot 80 cm diep genomen. De bodem in de guts is daarna afgesneden tot de zijrand van de guts en de grond die dan nog in de guts zit is in het lab gewogen, gedroogd en gewogen. Dit is per locatie 5 keer herhaald in een cirkel van 2 m incl. middelpunt. Dit geeft de gemiddelde droge bulkdichtheid van 0 tot 30 en van 30 tot 80 cm per punt en gemiddeld over de 5 punten en een indicatie van het vochtgehalte.

MS-Rho

7. De MS-Rho of bulkdichtheidssensor meet in het veld iedere 5 cm tot 100 cm diep de veldvochtige bulkdichtheid met behulp van een lage hoeveelheid gammastraling. Deze meting is steeds in het eerste en tweede gutsgat uitgevoerd. Wanneer de tijd in het veld beperkt was is alleen het eerste gutsgat bemeten. Dit geeft de bulkdichtheid per 5 cm tot 100 cm diep en meet zo een profiel van de veldvochtige bulkdichtheid van 0 tot 100 cm. Om de droge bulkdichtheid te kunnen berekenen moet iedere meting gecorrigeerd worden met het vochtgehalte.

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



Wageningen University & Research

Open Teelten

Edelhertweg 1

Postbus 430

8200 AK Lelystad

T (+31)320 29 11 11

www.wur.nl/openteelten

Rapport WPR-888

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 12.500 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.
