



---

# 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

Janjo de Haan, Sjoerd Rombout, Leendert Molendijk, Tim Thoden, Hans Hoek, Pieter de Wolf en Wijnand Sukkel



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---



---

# 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

Auteurs: Janjo de Haan, Sjoerd Rombout, Leendert Molendijk, Tim Thoden, Hans Hoek, Pieter de Wolf en Wijnand Sukkel

Wageningen University & Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), business unit Open Teelten, in het kader van de PPS Beter Bodembeheer (projectnummer BO-47-001-006 / AF-16064).

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

Lelystad, december 2019

---

Rapport WPR-821

---

Janjo de Haan, Sjoerd Rombout, Leendert Molendijk, Tim Thoden, Hans Hoek, Pieter de Wolf en Wijnand 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 Research, Rapport WPR-821 50 blz.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/511394>

### **Abstract**

Binnen deze studie hebben we informatie verzameld over indicatoren welke de kwaliteit van landbouwgronden (productiefunctie) afbeelden. We hebben een overzicht gemaakt van beschikbare indicatorsets voor bodemkwaliteit. En vandaaruit hebben we in discussies met onderzoekers en adviseurs eerst een longlist aan indicatoren gemaakt die vervolgens omgewerkt is tot een korte lijst van direct toepasbare indicatoren door boeren.

Trefwoorden: bodemkwaliteit, bodemindicatoren, bodembeoordeling, streefwaarden

2019 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](http://www.wur.nl/plant-research)

Copyright CC BY-SA

KvK: 09098104 te Arnhem

VAT NL no. 8113.83.696.B07

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

Rapport WPR-821

---

# Inhoud

	<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
	<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>9</b>
	1.1 Aanleiding	9
	1.2 Doel en afbakening	10
<b>2</b>	<b>Definitie en context van bodemkwaliteit</b>	<b>11</b>
	2.1 Definitie bodemkwaliteit	11
	2.2 Bodemkwaliteit onder druk	13
	2.2.1 Schaalvergroting	13
	2.2.2 Zwervende teelten	14
	2.2.3 Regelgeving	14
	2.2.4 Klimaatverandering	14
	2.2.5 Verwaarlozing aanvoer organische stof	14
	2.2.6 Financieel rendement in de landbouw	15
	2.3 Historische ontwikkeling	15
<b>3</b>	<b>Doorlopen stappen voor het afleiden van de Minimale dataset 2015</b>	<b>16</b>
	3.1 Inventarisatie van indicatoren	16
	3.2 Doorlopen stappen voor het afleiden van de Minimale Dataset 2015	17
<b>4</b>	<b>Inventarisatie van bestaande indicatorsets</b>	<b>18</b>
	4.1 Inleiding	18
	4.2 SMAF: Soil Management Assessment Framework	19
	4.3 SINDI: Soil Quality Indicators	19
	4.4 ENVASSO	20
	4.5 Ritz et al. 2009 Engeland	20
	4.6 Landelijk meetnet Bodem en Bodembioologische Indicatoren	21
<b>5</b>	<b>Ontwikkeling minimale dataset bodemindicatoren</b>	<b>23</b>
	5.1 MDS in lange termijn onderzoek WUR	23
	5.2 Prioritering MDS door specialisten en adviseurs	25
<b>6</b>	<b>Discussie, conclusies en aanbevelingen</b>	<b>27</b>
	6.1 Discussie	27
	6.2 Conclusies	28
	<b>Literatuur</b>	<b>30</b>
	<b>Bijlage 1 Toelichting per indicator</b>	<b>33</b>
	<b>Bijlage 2 Aanvullende informatie per indicator</b>	<b>48</b>

---

# Woord vooraf

WUR Open Teelten is al geruime tijd bezig met onderzoek op het gebied van bodemkwaliteit en duurzaam bodembeheer in onder andere systeemonderzoek en lange termijn proeven. De Haan, Sukkel, Molendijk, and Meijer (2011) hebben een overzicht van het bodemonderzoek opgesteld dat door PPO is uitgevoerd tot 2011. Om aan bodemkwaliteit te werken is vanuit zowel onderzoek als de praktijk de behoefte om bodemkwaliteit te kunnen duiden. Hiervoor is, in het kader van het Beleidsondersteunende programma Bodem, een verkenning uitgevoerd naar de mogelijkheden om bodemkwaliteit te meten en de ontwikkeling ervan te monitoren. Dit heeft geresulteerd in een intern rapport waarin de verkenning van relevante bodemindicatoren is beschreven (Thoden, Molendijk, & Overbeek, 2012). Deze verkenning heeft aan de basis gestaan van de ontwikkeling van een minimale dataset (MDS) bestaande uit indicatoren om bodemkwaliteit in beeld te brengen in de PPS Duurzame Bodem. In 2015 is een MDS vastgesteld die is beschreven in dit rapport (Tabel 11). Vervolgens heeft de verdere ontwikkeling van de MDS en implementatie ervan in onderzoek en praktijk stilgelegen in de periode 2016-2018. Vanaf 2019 is de draad weer opgepakt binnen de PPS Beter Bodembeheer in opdracht van de Brancheorganisatie (BO) Akkerbouw en het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV). Om de verdere ontwikkeling van een indicatorset voor het meten van bodemkwaliteit te ondersteunen wordt in dit rapport het tot stand komen van de MDS lijst 2015 beschreven en worden de gemaakte keuzes onderbouwd.



# Samenvatting

In het laatste decennium is de aandacht voor de bodem sterk toegenomen. Dit komt met name door het bewust worden van het feit dat onze bodem een cruciale factor is voor ons bestaan op aarde; niet alleen om de voedselproductie te waarborgen maar ook om ons water schoon te houden, ons klimaat te reguleren of om gebruik te maken van medicijnen en enzymen die afkomstig zijn van bodemorganismen. Zonder de dunne laag grond die onze planeet bedekt is landbouw en daarmee overleven niet mogelijk. Daarnaast dringt het besef steeds verder door dat bodems kwetsbaar zijn. Daarom is het essentieel de bodemkwaliteit te monitoren, actief te onderhouden en waar nodig te verbeteren.

In tegenstelling tot water en lucht missen we voor de bodem echter nog steeds een integraal systeem van kwaliteitsindicatoren en daarbij horende streefwaarden die gebruikt kunnen worden om de bodemkwaliteit te sturen. Dit komt zeker ook doordat de bodem geen homogeen medium is zoals water of lucht en dat we het, op basis van variatie in het oorspronkelijke gesteente en op basis van variatie van bodemgebruik, te maken hebben met een continuüm aan verschillende bodems. Dit betekent dat we voor de verschillende combinaties uit grondsoort en bodemgebruik (dus het best op perceelsniveau) naar de passende indicatoren moeten zoeken.

Binnen deze studie hebben we informatie verzameld over indicatoren welke de kwaliteit van landbouwgronden (productiefunctie) weergeven. We hebben een overzicht gemaakt van beschikbare indicatorsets voor bodemkwaliteit. Opvallend is dat deze sterk van elkaar kunnen verschillen en sterk beïnvloed zijn door de wetenschappelijke disciplines waarin de deskundigen zich thuis voelen en dat indicatoren op dit moment vaak niet routinematig door de praktijklaboratoria gemeten kunnen worden en er geen streefwaardes beschikbaar zijn. Met name biologische indicatoren blijken nog niet of beperkt voor te komen in de diverse gevonden indicatorsets in vergelijking met chemische en fysische indicatoren vanwege bovengenoemde beperkingen. Sommigen stellen dat biologische indicatoren zeer geschikt zijn om bodemprocessen en functies te beschrijven. Echter naast goede meetmethoden is ook meer kennis over het functioneren van de bodem nodig.

Vanuit het literatuuronderzoek is in discussies met onderzoekers en adviseurs eerst een longlist aan indicatoren gemaakt die vervolgens omgewerkt is tot een korte lijst van direct toepasbare indicatoren door boeren (Tabel S1).

Tabel S1. Selectie van de indicatoren voor een minimale dataset bodemindicatoren.

Type bodemkwaliteit	Indicatoren	Info meetmethoden					
		protocol of methode	Meet-frequentie	Variabiliteit in het jaar	Variabiliteit in het veld	Variabiliteit lab methoden	Snelheid van verandering
Chemisch	pH	pH KCL, CaCl <sub>2</sub> of H <sub>2</sub> O	1x/rotatie	beperkt	beperkt	beperkt	beperkt
	P-beschikbaar	CaCl <sub>2</sub> methode	1x/rotatie	groot	beperkt	?	beperkt
	K-beschikbaar	CaCl <sub>2</sub> methode	1x/rotatie	groot	beperkt	?	beperkt
	Magnesium	CaCl <sub>2</sub> methode	1x/rotatie	groot	beperkt	?	beperkt
Fysisch	Textuur, lutum	BLGG textuur methode	eenmalig	niet	beperkt	beperkt	zeer beperkt
Chemisch/fysisch	CEC grootte	Chemische analyse, NIRS, afgeleide waarde	1x/rotatie	beperkt	beperkt	beperkt	beperkt
Biologisch	Plantparasitaire nematoden	Afhankelijk van doelorganisme	1x/rotatie	groot	groot	beperkt	beperkt
Biologisch/chemisch/fysisch	O.S. totaal	Gloeiverlies, NIRS ter discussie	1x/rotatie	niet	beperkt	groot	langzaam

Deze minimale set bodemindicatoren is gebruikt om met de Soil Health Index tot de "Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland" (BLN) te komen.





---

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

*'Duurzame ontwikkeling is ontwikkeling die voorziet in de behoeften van de huidige generatie, zonder het vermogen aan te tasten van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien.'* (Brundtland, 1983)

De bodem is letterlijk de basis onder ons bestaan. Om de groeiende wereldbevolking te voeden zullen de landbouwgronden blijvend zoveel mogelijk gezonde voeding moeten leveren bij een zo laag mogelijke input aan eindige grondstoffen. Naast voedselproductie speelt de bodem een cruciale rol als het gaat om het waterbeheer, het vastleggen van CO<sub>2</sub> en de uitwisseling van klimaatgassen. Duurzaam bodembeheer om de kwaliteit van landbouwgronden te behouden en/of te verbeteren is daarom van essentieel belang.

Maar hoe meet je de kwaliteit van een bodem en wat is het effect van verschillende keuzes die in het bodembeheer gemaakt kunnen worden? Bodembeheerders hebben indicatoren nodig waarmee ze de kwaliteit van een bodem kunnen vaststellen. Vervolgens moeten er streefwaarden zijn die met effectieve maatregelen te realiseren zijn. Dit vraagt integratie van fundamentele kennis, het ontwikkelen en afstemmen van analysemethoden, afstemmen op regelgeving en het opbouwen van advies- en communicatiemethoden die implementatie mogelijk maakt.

In principe bestaat de bodem uit vier fracties. De minerale fractie, water, lucht en zowel dood als levend organisch materiaal (d.w.z. humus, plantenresten, bodemleven). Delen hiervan zoals de mineralen zijn een inherent gegeven, door het uitgangsmateriaal bepaald, en deze vertonen bijna geen veranderingen in de tijd. Andere delen zoals de organische fractie kunnen in loop van tijd veranderen.

Deze vier fracties bepalen de randvoorwaarden waaronder de bodem diverse diensten/functies levert. Voor de landbouw staat de productiefunctie van de grond centraal. Dit is het vermogen om de productie van plantaardig biomassa te ondersteunen. Verder levert de bodem ook nog andere belangrijke maatschappelijke diensten zoals:

- het filteren van, bufferen tegen, of onschadelijk maken van schadelijke stoffen m.b.t. tot lucht- en waterkwaliteit (filter- en klimaatfunctie);
- het reguleren van waterbewegingen;
- het vermogen als bewaarplaats voor planten en dieren te dienen (genetische bewaarplaats).

Deze diensten worden de ecosystemendiensten van de bodem genoemd. Of en hoe "goed" de functies kunnen worden ingevuld is afhankelijk van verschillende processen die door de chemische, fysische en biologische bodemeigenschappen worden gestuurd. Dit zijn bv. m.b.t. de productiefunctie:

- het mobiliseren en vasthouden van nutriënten;
- de structuurvorming; dus het vormen van bodemaggregaten die zorgen voor een goede beschikbaarheid van water en lucht;
- het bufferen tegen ziektes en plagen.

De bodem is dus het fundament voor onze voedselproductie en daarmee naast water en lucht cruciaal voor ons overleven. De dagelijkse praktijk in de landbouw vormt echter een enorme belasting voor de bodem. Maatregelen zoals grondbewerking, bemesting of het gebruik van pesticiden hebben allemaal invloed op de bodem en kunnen uiteindelijk leiden tot een (veelal negatieve) verandering van de bodemkwaliteit en vervolgens de voedselproductie. Zo stelt Oldeman (1994) dat wereldwijd bijna 40% van alle landbouwgronden door menselijk handelen schade geleden heeft. Ook in Europa speelt bodemdegradatie een rol en zijn bijna 16% van alle landbouwgronden onderhevig aan een of andere vorm van degradatie (EEA, 2000).

---

## 1.2 Doel en afbakening

Terwijl het meten, veiligstellen en verbeteren van water- en luchtkwaliteit al lang op de agenda staat en we hiervoor zowel over meetbare indicatoren als ook bepaalde streefwaarden beschikken zijn we, met uitzondering van bodemverontreinigingen door zware metalen of pesticiden, pas recent gestart om meer aandacht aan de integrale kwaliteit van de bodem te schenken. Vier centrale vragen zijn hierbij:

1. Wat is bodemkwaliteit?
2. Welke bodemindicatoren zijn als indicatoren inzetbaar om de bodemkwaliteit te meten en zo antropogeen veroorzaakte veranderingen aantoonbaar te maken?
3. Waar liggen de streefwaarden voor mogelijke indicatoren? Dus waarden die gebruikt kunnen worden om een duurzaam bodemgebruik te sturen. Hoe kunnen zulke streefwaarden opgesteld worden?
4. Hoe kan de kennis over indicatoren en streefwaarden zo naar de praktijk vertaald worden dat de bodemgebruikers (in dit geval akkerbouwers) gestimuleerd worden om een duurzaam bodembeheer toe te passen?

In de PPS Duurzame Bodem en haar opvolger de PPS Beter Bodembeheer wordt aan al deze vragen en bouwstenen gewerkt. In dit rapport ligt de nadruk op vraag 1 tot en met 3: de ontwikkeling van een set aan bodemindicatoren wordt beschreven met als doel de basis en de achtergrond helder te hebben om vervolgstappen te kunnen zetten. Naast deze beschrijving van de ontwikkeling van de indicatorset is er een rapport verschenen over de instrumenten die inmiddels zijn ontwikkeld om actief duurzaam bodembeheer te ondersteunen. (Molendijk, Wolf, & Wesselink, 2018).

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de definitie van bodemkwaliteit en de context waarom bodemkwaliteit onder druk staat. Vervolgens worden de stappen om tot een set bodemindicatoren te komen beschreven in hoofdstuk 3. Het volgende hoofdstuk bevat een inventarisatie van bestaande indicatorsets die (inter)nationaal zijn ontwikkeld. Hoofdstuk 5 gaat in op de ontwikkeling van een set bodemindicatoren voor Nederlandse landbouwgronden. Het rapport wordt afgesloten met een discussie en enkele conclusies gericht op deze indicatorset.

---

## 2 Definitie en context van bodemkwaliteit

### 2.1 Definitie bodemkwaliteit

Het woord 'kwaliteit' is verbonden aan een waardeoordeel waarbij dit waardeoordeel afhankelijk is van de **doelstelling/functie** die we van een bodem verwachten (Schjonning et al., 2004). Zo hebben we voor de aanleg van een snelweg een grond nodig die een hoge draagkracht heeft maar die hoeft geen plantengroei te kunnen stimuleren. Omgekeerd hebben we voor het doel plantengroei grond nodig die juist niet te verdicht is en die daarnaast ook nog onder andere nutriënten beschikbaar stelt. Verder vergt de productie van gewassen nutriënten terwijl de milieu-gerelateerde bodemkwaliteit naar lage concentraties van nutriënten streeft om de waterkwaliteit op peil te houden en eutrofiëring te voorkomen. Deze voorbeelden laten zien dat de definitie van wat bodemkwaliteit is altijd bepaald wordt door de functies/doelstellingen die we van de bodem verwachten. Deze gerichtheid op de bodemfuncties is ook terug te zien in de definities en hoe deze zich door de tijd onder deskundigen hebben ontwikkeld.

Verschillende definities door de tijd vanuit de VS:

- Soil quality are the inherent attributes of soils that are inferred from soil characteristics or indirect observations (Soil Science Society of America SSSA, 1987).
- Soil quality is the ability of soil to support crop growth which includes factors such as degree of tith, aggregation, organic matter content, soil depth, water holding capacity, infiltration rate, pH changes, nutrient capacity, and so forth (Power & Myers, 1989).
- Soil quality is the capacity of soils to function within the ecosystem boundaries and to interact positively with the environment external to this ecosystem (Larson & Pierce, 1991).
- In 1994 wordt bodemkwaliteit door 14 leden van de SSSA gedefinieerd als: "The capacity of soil to function".
- Zowel Doran & Parkin (1994) als Karlen et al. (1997) verbreden deze definitie naar: **"Soil quality is the capacity of a specific kind of soil to function, within natural or managed ecosystem boundaries, to sustain plant and animal productivity, maintain or enhance water and air quality, and support human health and habitation"**.

De laatste definitie is tot op heden de meest gebruikte binnen het wetenschappelijk onderzoek. Inmiddels wordt deze zowel door de USDA in de VS als ook door Landcare Research in Nieuw Zeeland gebruikt.

Het blijkt dat de bodemkwaliteit voor 1990 voornamelijk ten opzichte van de inherente eigenschappen beoordeeld werd. Toen speelde bodemerosie een hoofdrol binnen de bodemdiscussie. Vervolgens ontwikkelt zich het concept door met het inzicht dat bodems niet alleen een productiefunctie vervullen maar ook ecosystemendiensten leveren (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**1). Bodemkwaliteit wordt dan ook meer dynamisch gezien; dus ze kan wel op de korte termijn bijvoorbeeld door bepaalde teeltmaatregelen beïnvloed worden. Zowel inherente als ook dynamische eigenschappen interacteren met elkaar in een levend medium (Karlen et al. 2003). Naast de chemische en fysische kant neemt de aandacht voor de biologische kant, met andere woorden het bodemleven, toe. Het is nu meer de vraag hoe ons bodemgebruik (management) de conditie van de grond en het presteren ten opzichte van de gewenste bodemdiensten beïnvloedt.

Vaak wordt er in plaats van **bodemkwaliteit** over **bodemgezondheid** gesproken wat benadrukken zal dat de bodem een vitaal systeem is dat zowel de biologische productiviteit, het milieu als ook de gezondheid van planten en dieren ondersteunt. Janvier et al. (2007) benadrukken verder dat het begrip "soil health" ten opzichte van "soil quality" sterker ingaat op de plantgezondheid die in de gewone definities van bodemkwaliteit maar een heel beperkte rol speelt. De weerbaarheid van de grond tegen plantenziekten staat hier als een centraal kenmerk van een "gezonde" grond.



Figuur 1 Het concept van bodemkwaliteit zoals het door de SSSA gezien wordt (Doran & Parkin, 1994).

Naast de Amerikaanse definities die verzameld zijn uit de wetenschappelijk literatuur leverde ons enquêtes onder bodemdeskundigen in 2010 de volgende definities van bodemkwaliteit op.

- The “quality of a soil relates to the provision of an appropriate set of soil properties and processes necessary for effective soil function, i.e. to provide soils that are fit for purpose”.  
(Ritz et al. 2009, National Soil Resource Institute, England)
- “Soil quality = Soil that is fit for purpose”.  
(Bryan Griffiths, TEAGASC, Ireland)
- Bodemkwaliteit gerelateerd aan landbouwkundige productie is wat ook wel wordt aangeduid met bodemvruchtbaarheid, met de meeste aandacht voor voldoende voedingsstoffen, weinig onkruid, ziekten en plagen. Binnen die definitie is overmatig gebruik van mest en bestrijdingsmiddelen mogelijk. Gelukkig hebben we ook oog voor bodemkwaliteit/vruchtbaarheid op lange termijn en voor effecten op de leefomgeving. Dan streven we een bodemkwaliteit na waarin uitstoot van stoffen (nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen) naar het milieu wordt geminimaliseerd, en waarbij er ook aandacht is voor de organische stof gehalten en samenstelling, die de basis vormen van een natuurlijke bodemvruchtbaarheid.  
(Peter de Ruiter, Alterra, WUR)
- Bodemkwaliteit in het kader van gewasproductie heeft m.i. twee definities, een wiskundige en een biofysische.
  - De wiskundige definitie: kwaliteit is de productie in tonnen van het gewenste product per eenheid 'resource'. Lees hiervoor: landoppervlak, water, arbeid, brandstof, meststoffen, gewasbeschermingsmiddelen. Omdat de sociaal-economische waarde die aan de te onderscheiden 'resources' wordt gehecht verschilt tussen regio's landen, tijdperken etc., verschilt daarmee ook de betekenis van bodemkwaliteit. In ons tijdperk in NL hecht de producent (het ging om de productiefunctie) veel waarde aan hoge arbeidsproductiviteit en hoge productie per ha, omdat arbeid en land duur zijn. Die functies kunnen gemaximaliseerd worden door kwistig om te springen met de overige 'resources', maar ook door de bodem zelf aan te passen (kwaliteit te verhogen, zie volgende). Omdat in werkelijkheid (op een bedrijf) beide gedaan kunnen worden, en via dezelfde portemonnee lopen, kan het werk (onderzoek, kennisverspreiding) aan bodemkwaliteit m.i. niet los gezien worden van werk aan efficiënt beheer van inputs.
  - De biofysische definitie: kwaliteit is het niveau van alle biofysische eigenschappen die de productie per eenheid 'resource' (de wiskundige definitie) beïnvloeden. Ook hier dus weer afhankelijk van welke 'resource' je belangrijk vindt. Is het arbeid, dan heeft een bodem die hoge mate van mechanisatie toelaat een hoge kwaliteit. Is het landoppervlak, dan spelen vochtvoorziening, weerbaarheid en vruchtbaarheid een grote rol.  
(Hein ten Berge, Plant Research International, WUR)
- Bodemkwaliteit is die toestand van de bodem die nodig is om het beoogde bodemgebruik duurzaam mogelijk te maken. (Aad Termorshuizen, BLGG Research). Deze definitie is abstract zolang deze niet wordt toegelicht (zie bijlage 2). Termorshuizen benadrukt dat het begrip duurzaamheid (m.b.t. de productiefunctie) een bedrijfseconomische en een milieukundige kant heeft.
- Algemene en biologische bodemkwaliteit

- Algemene bodemkwaliteit (productiefunctie landbouw) = "Het vermogen van de bodem om als groeimedium voor gewassen te dienen, ze van voldoende water en nutriënten te voorzien en de ziektedruk laag te houden, leidend tot een hoge productie per eenheid productiefactor en een lage belasting voor de leefomgeving."
- Biologische bodemkwaliteit (productiefunctie landbouw): "Het vermogen van de bodem om een bodemecosysteem in stand te houden waarin alle functies van de bodembioïlogie in een optimale dynamiek aanwezig zijn." Voor de boer is biologische bodemkwaliteit: "Een bodem met een gezond bodemleven dat ik kan sturen en dat zorgt voor N-mineralisatie, ziektevermindering en bodemstructuur".  
(Bodemdeskundigen Team NMI & BLGG AgroXpertus, Marjoleine Hanegraaf).
- Uit landbouwkundig perspectief kan een goede bodem (d.w.z. bodemkwaliteit) over lange tijd (generaties) bijdragen aan een hoog en efficiënt productieniveau met:
  - een relatief beperkte input van nutriënten, gewasbeschermingsmiddelen, water en arbeid,
  - minimale negatieve externe effecten als broeikasgasemissies en uitspoeling van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen,
  - maximale levering van ecosystemendiensten als waterberging, biodiversiteit en koolstofopslag.  
(Janjo de Haan, PPO-agv, WUR).
- In 2010 is door ten Berge & Postma (2010) een visie voor "duurzaam bodembeheer in de Nederlandse landbouw" opgezet. Hierin geven de auteurs aan dat: *het uitgangspunt van een duurzame gewasproductie een bodem is die in fysisch, chemisch en biologisch opzicht goed functioneert. Zo een bodem is de basis voor een robuust bodem-gewassysteem dat perioden van extremen (hitte, wateroverlast, droogte) kan overbruggen, dat een beperkte behoefte heeft aan inputs (meststoffen, gewasbeschermingsmiddelen), dat ongewenste stoffen kan afbreken en dit alles bij een blijvend voldoende hoog niveau van productie per hectare.*
- Op 13 december 2011 vond een discussie plaats met 8 adviseurs van DLV Plant. Ook volgens hen moet een passende definitie wat betreft de bodemkwaliteit gekoppeld zijn aan de doelen. Dus kwaliteit is de geschiktheid voor het doel. Een goede bodem levert een hoge opbrengst met weinig input (bemesting, pesticiden, grondbewerking).

We willen hier geen eigen definitie aan toevoegen maar zijn het eens met de verschillende facetten die door de bodemdeskundigen zijn genoemd. Wat betreft bodemkwaliteit voor de akkerbouw willen we de facetten benadrukken die wij voor een passende definitie belangrijk vinden:

1. Wat bodemkwaliteit is hangt af van het doel dat bereikt moet worden (bodemgebruik).
2. Voor de landbouw is de productiefunctie bepalend.
3. Vanuit het agrarisch bedrijf beredeneerd is sprake van een goede bodem als er een duurzame en economisch rendabele productie mogelijk is.
4. Elementen van bodemkwaliteit zijn regio-afhankelijk door verschillen in o.a. bodemtype en gewas.
5. Uit maatschappelijk opzicht moet een goede bodem naast de productie ook nog andere milieudiensten (ecosysteemdiensten) kunnen leveren.

## 2.2 Bodemkwaliteit onder druk

Bodemkwaliteit van landbouwgronden staat onder in Nederland. Deze druk is toe te wijzen aan diverse oorzaken die hieronder kort worden toegelicht.

### 2.2.1 Schaalvergroting

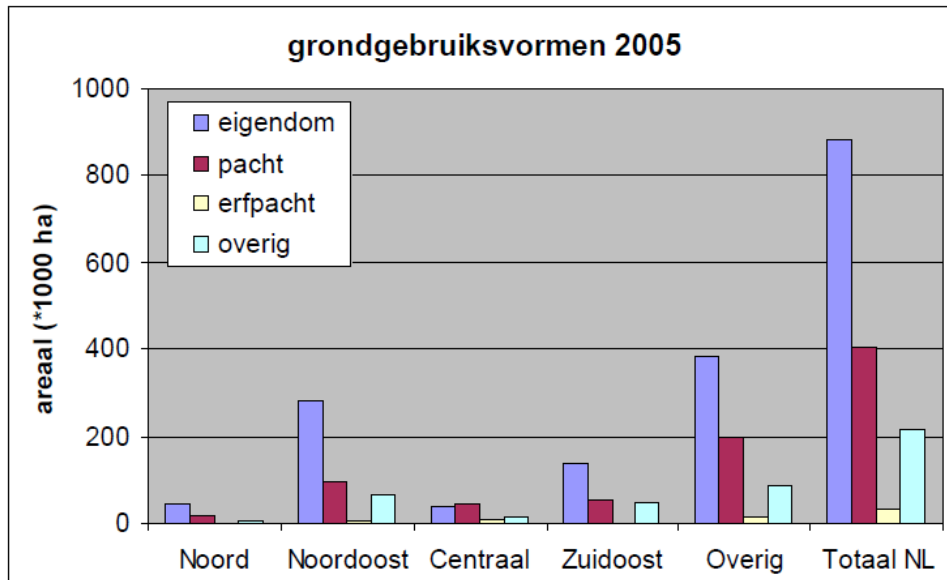
Het aantal landbouw bedrijven neemt veel sterker af dan het areaal landbouwgrond met schaalvergroting als gevolg. Dit wordt mede mogelijk doordat ook de schaalvergroting in de mechanisatie doorzet. Grotere machines maken het mogelijk met dezelfde menskracht een groter areaal te bewerken. Nadeel is dat bedrijven minder flexibel zijn geworden om het juiste moment van grondbewerking, zaaien, planten en oogsten te kiezen zodat er vaker onder suboptimale omstandigheden moet worden gewerkt. In de praktijk betekent dit vroegere zaai en plant periodes en verlate oogsten met grotere machines. Dit is een ongewenst bijeffect van de economisch wenselijke schaalvergroting. Het betekent ook dat een ondernemer meer hectares krijgt waarover hij het



overzicht moet behouden m.b.t. de fysische, chemische en biologische kenmerken. Hier ontstaat meer en meer een spanningsveld (Breukers, 2008).

### 2.2.2 Zwervende teelten

De specialisatie van bedrijven op één of enkele hoogrenderende gewassen is sterk toegenomen, waardoor juist deze gewassen vaker op vreemde grond worden geteeld. Dit komt tot uiting in een 'reizende pootgoed- en industriegroenteteelt' naast de al oudere 'reizende bollenkraam', en grotere verspreiding ervan over Nederland. Het areaal bloembollen en boomkwekerij gewassen is sterk toegenomen (Breukers, 2008). Dit soort teelten vinden vaak plaats op percelen met informele pachtvormen (grijze pacht) waarvan de arealen moeilijk zijn te achterhalen. Deze grijze pacht valt in de categorie overig (Figuur 2).



Figuur 2 Aandeel grondgebruiksvormen in 2005 in hectares (Breukers, 2008).

### 2.2.3 Regelgeving

Zowel de mestwetgeving als de regelgeving rondom de inzaai van groenbemesters zet de bodemkwaliteit onder druk. De regelgeving wordt sterk gedomineerd door de fosfaat- en stikstofproblematiek (bv inzaai verplichting groenbemesters na maïs) rond uit- en afspoeling van deze nutriënten naar grond- en oppervlaktewater en meer recent door de wens biodiversiteit te vergroten door het inzaaien van groenbemestingsmengsels. Hierbij wordt weinig tot geen rekening gehouden met de aanwezigheid van bodemziekten en -plagen. De verplichte mestverwerking heeft het risico dat minder organische stof op Nederlandse landbouwpercelen wordt toegepast en meer organische stof wordt geëxporteerd.

### 2.2.4 Klimaatverandering

Extremere weersomstandigheden ten gevolge van klimaatverandering vragen om een bodem die om kan gaan met veel neerslag in korte tijd, extreme droogte en hoge temperaturen. Enerzijds gaat het bij overvloedige neerslag om een goede waterinfiltratie in de bodem en drainage en het voorkomen van korstvorming, verslemping en oppervlakkige afspoeling van water. Anderzijds gaat het om water vasthouden in droge periodes. Voor een teler is het aantal bewerkbare dagen een steeds belangrijker punt. Wanneer kan gezaaid worden en hoe snel na zware regenval is het perceel weer begaanbaar bepalen de groeiperiode en de oogstzekerheid.

### 2.2.5 Verwaarlozing aanvoer organische stof

De economische druk zorgt voor intensivering van de bouwplannen zowel op de eigen percelen maar zeker ook de huurpercelen. Het verminderen van het areaal graan, het verkopen van het stro (zonder

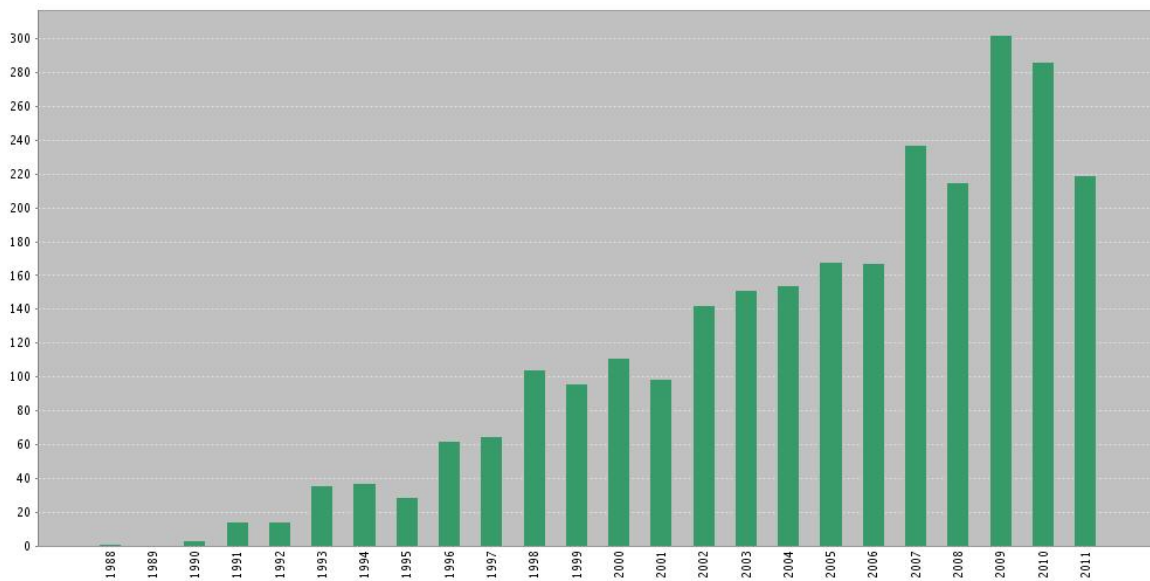
dat dit in de vorm van mest terugkeert) in plaats van het hakselen en inwerken, het gebruik van dierlijke mest met een laag aandeel organische stof zijn alle redenen waardoor de aanvoer van organische stof onder druk staat. Daarbij zorgt intensieve bodembewerking nog eens voor extra afbraak van organische stof.

### 2.2.6 Financieel rendement in de landbouw

In de landbouw is het financieel rendement laag. Het voldoen aan financiële verplichtingen op de korte termijn bemoeilijkt de focus op financiële zekerheid op lange termijn. Investerings gericht op behoud en verbetering van bodemkwaliteit zijn vaak niet op korte termijn terug te verdienen, terwijl de liquiditeit van een ondernemer wel positief moet blijven. Daarbij zijn agrariërs zich nog onvoldoende bewust van het financiële rendement als het gaat om investeren in behoud en verbetering van bodemkwaliteit.

## 2.3 Historische ontwikkeling

Het concept van bodemkwaliteit is redelijk nieuw en kwam pas veel later op dan de discussie over de water- en luchtkwaliteit. Voor het eerst wordt het onderwerp "bodemkwaliteit" genoemd in 1977 door Warkentin & Fletcher. Ze zagen toen de noodzaak om een concept te ontwikkelen dat moest leiden tot beter "landgebruik" omdat de maatschappij steeds meer diensten van de bodem vraagt. Vervolgens verdween het onderwerp uit de belangstelling en kwam pas aan het eind van de tachtiger jaren weer op de agenda (Karlen et al. 2001, 2003). Aan het verloop van het aantal wetenschappelijke publicaties is te zien, dat er vanaf de jaren negentig een echte boost is op dit onderwerp (Figuur 3).



*Figuur 3 Aantal van publicaties op het gebied bodemkwaliteit binnen de landbouw (Bron Web of Knowledge; zoekwoord = soil quality & agriculture).*

# 3 Doorlopen stappen voor het afleiden van de Minimale dataset 2015

## 3.1 Inventarisatie van indicatoren

Om de bestaande bodemtoestand en veranderingen hierin in de loop van de tijd te meten zijn indicatoren nodig. Die zijn er in overvloed! Zo noemen Ritz et al. (2009) alleen al 183 biologische indicatoren die gebruikt zouden kunnen worden en zijn er ook nog tientallen chemische en fysische indicatoren (b.v. Moebius et al. 2007). De vraag is alleen welke indicatoren het meest geschikt zijn om tot een betrouwbare conclusie wat betreft de bodemkwaliteit (of onderdelen hiervan) te komen. Bovendien mag een dergelijke set aan indicatoren natuurlijk ook niet te omvangrijk zijn omdat het anders niet uitvoerbaar en economisch niet haalbaar wordt. Daarnaast zijn ook de kosten voor een enkele parameter van belang, ook deze mogen niet te hoog zijn). Een goede metafoer is het bepalen van onze lichamelijke conditie (gezondheid) (Doran & Parkin 1994). Ook hiervoor zijn honderden metingen mogelijk maar toch zijn er bepaalde indicatoren zoals de lichaamstemperatuur of het bloedbeeld die relatief makkelijk te meten zijn en toch een goede indicatie over de algemene toestand van de lichaam geven. Als je weet dat er iets mis is met één of meerdere van deze indicatoren dan zal aanvullend en diepgaander medisch onderzoek volgen. Ook voor de beoordeling van de bodem moeten we naar zo een minimale set aan indicatoren (MDS = minimale data set) toe.

In principe kan deze keuze op twee manieren tot stand komen (Andrews et al. 2002):

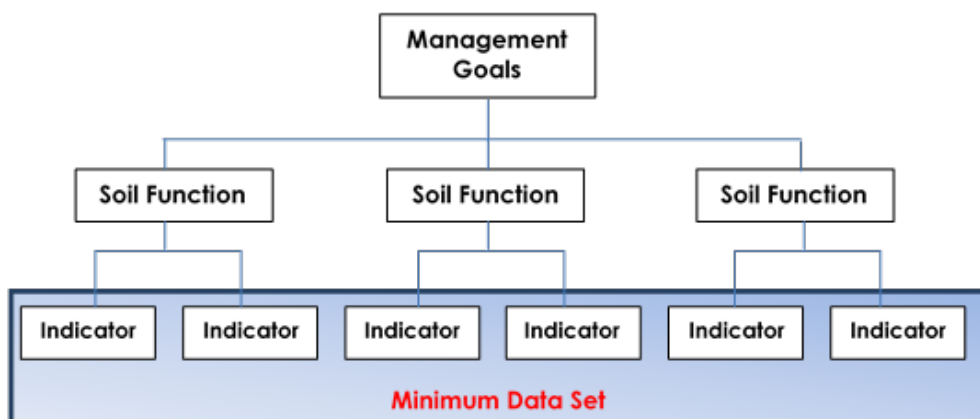
1. Het bevragen van deskundigen en belanghebbenden (subjectief) en/of door;
2. Het gebruik van statistische technieken die uit een groot aantal aan gemeten indicatoren degene bepalen welke de variatie m.b.t. de productie of andere bodemdiensten het best verklaren.

Daarbij lopen deze twee manieren in de praktijk vaak door elkaar d.w.z. dat deskundigen die gevraagd zijn hun kennis uiteraard ook afleiden uit veldonderzoek. Kritisch bij de eerste manier is dat deze subjectief is en zo vaak de wetenschappelijke achtergrond van de deskundige terug te zien is in die keuze voor bepaalde groepen van indicatoren (chemisch, fysisch, biologisch).

Andrews et al. (2002) geven aan dat er een bepaald schema is voor het stellen van vragen dat helpt om tot een goede MDS (

Figuur 44) te komen:

1. Wat is het **doel** dat we met onze bodem willen bereiken (d.w.z. de productie van biomassa, het filteren van water, enz.)?
2. Welke **bodemfuncties/processen** steunen dit doel? (d.w.z. de mineralisatie, aggregaat vorming, enz.)
3. Welke indicatoren zijn het best geschikt om het presteren van deze processen te beoordelen/meten?



Hiernaast stellen auteurs zoals Doran & Parkin (1996), Brussaard et al. (2004) of Bloem et al. (2006) dat de gekozenen indicatoren aan de volgende eisen moeten voldoen om voor de praktijk van waarde zijn:

1. De indicatoren moeten in de bodem plaatsvindende processen (b.v. mineralisatie) en de biologische, chemische en fysische kant van het bodemecosysteem in beeld brengen.
2. De meetnauwkeurigheid van de indicator moet bekend zijn.
3. De meetmethode moet rekening houden met ruimtelijke variabiliteit (spatiale heterogeniteit) van de indicator.
4. Indicator moet stabiel zijn in de tijd bij gelijkblijvende omstandigheden (klimaat).
5. Jaarlijkse natuurlijke fluctuaties moeten te onderscheiden zijn van menselijk ingrijpen (d.w.z. effecten van maatregelen, het handelen van de boer moeten zichtbaar worden).
6. Meting van de indicator moet praktisch uitvoerbaar zijn en regulier aangeboden.
7. Betaalbaar: Dus de kosten voor monsternamen, analyse en interpretatie zouden geringer moeten zijn dan de verwachte inkomsten die hieruit te verwachten zijn.
8. Referentiewaarden of streefwaarden moeten beschikbaar zijn.

## 3.2 Doorlopen stappen voor het afleiden van de Minimale Dataset 2015

- In 2011 heeft Molendijk de noodzaak om te komen tot een integraal bodemkwaliteitsplan ingebracht in de akkerbouw bij zowel het Masterplan Mineralen Management als bij het Aaltjes Actieplan. Daarbij was duidelijk dat er een keuze zou moeten worden gemaakt in de indicatoren waarmee de bodemkwaliteit zou kunnen worden beschreven.
- Thoden et al. deden onderzoek naar de internationale ontwikkelingen op het vlak van bodemkwaliteit en kwamen met een longlist.
  - Er is daarbij gekeken naar bestaande indicatorsets en adviessystemen:
    1. SMAF: Soil Management Assessment Framework (USDA, Verenigde Staten)
    2. SINDI: Soil Quality Indicators
    3. ENVASSO
    4. Engeland
    5. Landelijk meetnet Bodem en Bodembioologische Indicatoren (BOBI)
  - Dit heeft geleid toe een eerste voorstel voor een indicatorset voor akkerbouw op klei en zand (Tabel 8)
- Enquête onder deskundigen. In een aantal workshops is de longlist besproken met specialisten vanuit WUR, specialisten bij de routinelaboratoria en de adviseurs van zowel laboratoria als marktpartijen.
  - Van longlist (Tabel 9) naar shortlist
    - Lange termijn onderzoek (Tabel 7)
    - Prioriteren door specialisten en adviseurs (Tabel 10)
    - Uiteindelijke keuze (Tabel 11)



relevante informatie door de EU op internet beschikbaar gesteld ([http://ec.europa.eu/environment/soil/three\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/soil/three_en.htm)).

In **Nederland** kwam de aandacht voor de bodemkwaliteit in de jaren 1990 op. De in Nederland gebruikte indicatorset worden verder toegelicht in H.4.6.

## 4.2 SMAF: Soil Management Assessment Framework

Voor de VS zijn meerdere publicaties beschikbaar waarin bodemdeskundigen hun ideale set aan bodemindicatoren samengesteld hebben (e.g. Lars on & Pierce 1991, Doran & Parkin 1996, Arshad & Martin 2002, Wienhold et al. 2004, Sparling et al. 2008). In Tabel 1 staat een overzicht van de indicatoren uit deze studies en de bodemindicatoren die door de USDA (Soil Management Assessment Framework, SMAF) als indicatoren aanbevolen worden. Deze zijn in principe gebaseerd op de inschatting van deskundigen. Hierbij valt op dat er veel chemische en fysische bodemindicatoren aanbevolen worden. Ook het ontbreken van metingen die bodempathogenen kunnen aantonen is opmerkelijk.

**Tabel 1** *Minimum data sets vanuit de Amerikaanse literatuur en door de USDA aanbevolen indicatoren.*

Auteur	Larson & Pierce 1991	Doran & Parkin 1996	Arshad & Martin 2002	Wienhold et al. 2004	USDA (SMAF, 2012)
<i>chemisch</i>	total organic C, labile organic C	total organic C & N	organic matter	total organic C	total organic C
	nutrient availability	mineral N, P, K	forms of N, available N, P, K	total N, available N, P, K	soil nitrate
	pH, EC	pH, EC	pH, EC, pollutants	pH, EC	pH, EC
<i>fysisch</i>	particle size	texture	texture	texture	aggregate stability
	plant available water	bulk density & infiltration	bulk density	bulk density	bulk density
	soil structure (form)	depth of soil and rooting	infiltration	infiltration	infiltration
	soil strength	water holding capacity	topsoil depth	topsoil depth	plant available water
	maximum rooting depths	water retention	aggregation	water holding capacity	slaking
		water content			soil crusts
	soil temperature			particulate organic matter	
				soil structure & macro pores	
<i>biologisch</i>		microbial biomass C & N	respiration	respiration	earthworms
		potentially mineralizable N			potentially mineralizable N
		soil respiration			soil respiration
		biomass C/ total organic C			soil enzymes
		respiration/ biomass			

## 4.3 SINDI: Soil Quality Indicators

In Nieuw Zeeland waar men begin jaren negentig begon een bodemkwaliteitsmonitoring op te zetten is voor een statistische aanpak gekozen. Hierbij zijn in een eerste stap op 511 percelen met verschillend grondgebruik (incl. akkerbouw, tuinbouw, veehouderij) meerdere keren grondmonsters verzameld (Sparling et al. 2004a, 2004b) waarvan bij de start (in 1995) 19 indicatoren gemeten zijn (Tabel 3). De gegevens van ruim 200 percelen zijn vervolgens (Sparling & Schippers 2002) geanalyseerd. Hun principale componenten analyse toonde aan dat met 7 indicatoren 87% van de variantie in de dataset verklaard kon worden. Om die reden werden deze als indicatoren aanbevolen (Tabel 2).



**Tabel 2** Minimum data sets in Nieuw Zeeland en door Landcare Research aanbevolen indicatoren (Sparling et al. 2004).

	1995	2002 (aanbevolen door Landcare Research, 2012)
<i>chemisch</i>	total C & N	total C & N
	Ca, Mg, K, Na (exchangeable)	Olson P
	base saturation, pH	pH
<i>fysisch</i>	macro porosity & total porosity	macro porosity
	available water capacity	bulk density
	bulk density en particle density	
	soil strength	
	hydraulic conductivity	
<i>biologisch</i>	soil respiration	mineralisable N
	microbial biomass C	

## 4.4 ENVASSO

Voor het opzetten van een soil monitoring systeem binnen de EU (EU project ENVASSO; hier gaat het niet alleen om de productiefunctie) hebben Huber et al. (2008) uit 290 indicatoren bepaald welke het meest geschikt zouden zijn om verschillende bodembedreigingen in beeld te brengen (Tabel 3).

**Tabel 3** Indicator EU bodemmonitoring (Huber et al. 2008).

Soil threat	Indicator
erosion	measured soil loss
decline organic matter	organic matter or organic carbon content, bulk density, C:N ratio
contamination	heavy metal content, pH, nutrient content
compaction	bulk density, organic matter, particle size distribution, water retention, hydraulic conductivity, soil structure
decline biodiversity	earthworms, collembola, microbial respiration
salinization	EC, exchangeable sodium

## 4.5 Ritz et al. 2009 Engeland

Ritz et al. (2009) hebben gekozen voor een semi-objectieve aanpak om tot een indicatorenkeuze te komen waarbij dit zowel voor de productiefunctie als ook andere ecosysteemdiensten is gedaan. Hierbij definiëren de auteurs eerst de doelen en processen en zoeken vervolgens bodemindicatoren die aan deze processen verbonden zijn. De uitkomst is een lijst van 183 biologische indicatoren die potentiële indicatoren van bodemkwaliteit zijn. Deze zijn vervolgens door een panel van experts en belanghebbenden (wetenschappers, boeren, intermediairen, enz.) op drie onderwerpen geëvalueerd, namelijk "pertinence to defined soil function", "applicability to different ecosystems and soils" and "technical feasibility". Voor de productiefunctie blijken uiteindelijk de volgende indicatoren de meest geschikte indicatoren te zijn (Tabel 4). Deze zijn volgens de auteurs "fully deployable, in routine use".

**Tabel 4** Optimale set aan ecologische indicatoren m.b.t. de productiefunctie (food and fiber production) (Ritz et al. 2009).

Score (d.w.z. beoordeling)	Indicator	Beschrijving
277	TRFLP - Ammonia oxidisers/denitrifiers	Genetic profile - specific group
277	PLFA profiles	Composition -total community
164	TRFLP - ITS fungal	Genetic profile - specific group

157	Plant seed bank – counts	Numbers of seeds (alive and dead)
155	Microplate fluorometric assay - multi-enzyme	Enzyme potential activity - wide range
151	Nematodes	Numbers, composition and size of nematode community
141	Microarthropods	Numbers, composition and size of invertebrates community within soil
119	Metabolic quotient (qCO <sub>2</sub> )	Respiratory activity as related to total biomass
119	N fixers direct isolation	Numbers of cultivable n fixers
116	Multiple substrate induced respiration (MSIR) GC	Activity capability profile - total community
112	N mineralization	Potential activity - conversion of ammonium to nitrite/nitrate
111	TRFLP – Bacteria	Genetic profile - specific group
104	On site visual recording - flora and fauna	Numbers estimate of animals

## 4.6 Landelijk meetnet Bodem en Bodembioologische Indicatoren

Ook in Nederland zijn ondertussen twee monitoring systemen opgezet die de bodemkwaliteit in beeld brengen. Dit zijn het in 1993 gestarte Landelijk Meetnet Bodem (LMB) waarin op meer dan 200 locaties (10 categorieën grondsoort/grondgebruik, 10 cm diepte, 320 gutschekers verspreid over bedrijf) de volgende bodemindicatoren gemeten worden (Tabel 5).

**Tabel 5** Indicatoren uit het Landelijk Meetnet Bodem.

<i>chemisch</i>	P-AL, Pw, P-totaal
	Zn, Cu, Cr, Cd, Pb, Ni, Hg (zware metalen)
	CEC, pH, CaCO <sub>3</sub>
	Fe, Mn
	Organische bestrijdingsmiddelen, triazines
	Polycyclische aromatische koolwaterstoffen
<i>fysisch</i>	Lutum

Hierbij is gekozen voor 180 locaties op landbouwbedrijven en 20 locaties in natuurgebieden. Veertig van de 200 locaties worden per jaar bemonsterd zo dat de metingen per locatie alle 5 jaar kunnen uitgevoerd worden.

In 1997 zijn deze metingen uitgebreid naar bodembioologische indicatoren (BOBI) (Schouten et al. 1997, Mulder et al. 2004, Rutgers et al. 2006). Hiervoor zijn naast de 200 gewone LMB locaties nog 180 locaties extra gekozen die uit bodemecologisch perspectief interessant zijn. Deze worden ook in een cyclus van 5 jaar bemonsterd. Hierbij worden op bedrijfsniveau mengmonsters genomen die van verschillende percelen gestoken worden.

Om tot een ideale indicatorkeuze voor BOBI te komen zijn binnen een workshop met belanghebbenden eerst de bodemdoelen gedefinieerd (landbouw, natuur, enz.) en zijn de 10 belangrijkste functies vastgesteld die deze steunen. Tenslotte is een lijst met 49 indicatoren opgesteld waarvan verondersteld wordt dat ze een relatie hebben met de desbetreffende functies. De indicatieve waarde van elke indicator is dan door 5 bodemdeskundigen gescoord (b.v. Rutgers et al. 2005). Hierbij is geen rekening gehouden met praktische aspecten zoals de kosten of het bewezen onderscheidend vermogen. Beide inschattingen zijn dan geïntegreerd tot één score (Tabel 6). De uitkomsten van dit expert judgement hangen uiteraard sterk af van de expertise van de uitgenodigde bodemdeskundigen.

**Tabel 6** Indicator evaluatie voor BOBI (Top 30).

Rang	Indicator	Rang	Indicator
1	Organische stof gehalte	16	Frequentie graslandvernieuwing

2	Biomassa schimmel	17	Mycorrhiza schimmel
3	Biomassa en aantallen regenwormen	18	Verhouding bacterie/organische stof
4	Biodiversiteit bodemorganismen totaal	19	Rotatie en vruchtwisseling
5	Biomassa en aantallen bacteriën	20	Diversiteit regenwormen
6	Verhouding bacterië/schimmel (biomassa)	21	Diversiteit vegetatie
7	C/N ratio organische stof	22	Potentiele C-mineralisatie
8	Fysiologische diversiteit bacterie (biolog, CLPP)	23	Totaal N
9	Waterdoorlatendheid	24	Fysiologische diversiteit schimmel (Fungilog, CLPP))
10	Genetische diversiteit bacteriën (aantal DNA banden, DGGE)	25	Potentiele N-mineralisatie
11	Mest aan en afvoer	26	Bulkdichtheid
12	Active schimmel biomassa	27	Grondwaterstand
13	Doorworteling	28	Veebezetting
14	Stabiliteit	29	Primaire productie
15	Zuurgraad	30	Indringweerstand

# 5 Ontwikkeling minimale dataset bodemindicatoren

## 5.1 MDS in lange termijn onderzoek WUR

WUR Open Teelten voert onderzoek uit gericht op diverse aspecten van bodemkwaliteit in vijf Lange Termijn Experimenten (LTEs). Het gaat om BASIS en Duurzaam bodembeheer maïs op zeeklei in Lelystad en Bodemkwaliteit op zand, Bodemkwaliteit Veenkoloniën en Bodemgezondheid in Vredepeel. In deze experimenten worden een aantal bodemindicatoren gemeten (Tabel 7).

**Tabel 7** Gemeten bodemindicatoren in LTEs bij WUR Open Teelten.

Project		
<i>Fysische indicatoren</i>	<i>Chemisch indicatoren</i>	<i>Biologische indicatoren</i>
bulk density (dichtheid)	N totaal	plant parasitaire aaltjes
indringingsweerstand	N min	niet plant parasitaire aaltjes
organische stof %	P-Al (en P-CaCl <sub>2</sub> )	bodemschimmels
aggregaat stabiliteit	K-getal	microbiële biomassa
aggregaat grootte verdeling	pH	regenwormen
infiltratie snelheid	C totaal	Biotoetsen bodemweerbaarheid (aaltjes soorten)
waterhoudend vermogen	potentiele N en C mineralisatie	
bodemtemperatuur	sporenelementen	
bodemvocht	CEC	

In de studie van Thoden *et al.* (2012) is een aantal (inter)nationale bodemdeskundigen gevraagd om aan te geven welke bodemindicatoren als indicator voor de bodemkwaliteit zouden kunnen dienen. Op grond van de verkregen respons zijn deze bodemindicatoren (voor de akkerbouw) benoemd en tegelijkertijd onderverdeeld naar bodemsoort (kleigrond en zandgrond) (Tabel 8).

**Tabel 8** Voorgestelde bodemindicatoren voor akkerbouw op klei en zand.

onderdeel	proces	indicatoren
<i>Akkerbouw op klei</i>		
structuur	decompositie	bulkdichtheid
	structuurvorming	indringingsweerstand
		organische stofgehalte
		microbiële biomassa
		regenwormen
ziekten en plagen	weerbaarheid	soorten en aantallen parasitaire aaltjes
		soorten en aantallen pathogene schimmels
nutriënten	decompositie	N totaal, P-AL, K-getal
	mineralisatie	organische stof (microbiële biomassa, labiele fractie)
		pH
		aantal niet-parasitaire aaltjes
<i>Akkerbouw op zand</i>		
ziekten en plagen	weerbaarheid	soorten en aantallen parasitaire aaltjes
		soorten en aantallen pathogene schimmels
nutriënten	decompositie	N totaal, P-AL, K-getal
	mineralisatie	organische stof (TOC)
		pH
		aantal niet-parasitaire aaltjes
structuur	decompositie	bulkdichtheid
	structuurvorming	indringingsweerstand
		organische stof (microbiële biomassa, stabiele fractie)

De indicatoren uit tabel 7 en 8 zijn gebruikt als uitgangspunt in enkele gezamenlijke vergaderingen met de eerder genoemde onderzoekers van WUR Open Teelten om te komen tot een totaaloverzicht van belangrijke bodemindicatoren. Vervolgens zijn deze bodemindicatoren van een prioritering voorzien en ingedeeld in een categorie. Het eindresultaat van dit proces is weergegeven in tabel 9.

**Tabel 9** Overzicht en prioritering van belangrijke bodemindicatoren.

nr.	naam indicator	Type <sup>1</sup>	prioriteit	Categorie <sup>2</sup>	Grondsoort <sup>3</sup>
1	organische stof gehalte	C	1	M	ZK
2	N totaal	C	1	M	ZK
3	C totaal	C	1	M	ZK
4	C-N quotiënt	C	1	M	ZK
5	P beschikbaar (CaCl <sub>2</sub> )	C	1	O	ZK
6	P-AL	C	1	M	ZK
7	K beschikbaar (CaCl <sub>2</sub> )	C	1	O	ZK
8	K-getal	C	1	O	ZK
9	pH (KCl)	C	1	M	ZK
10	pathogene bodemschimmels	B	1	M	ZK
11	plant parasitaire aaltjes	B	1	M	ZK
12	CEC	C	1	M	ZK
13	infiltratie snelheid (onverzadigd)	F	1	ME	K
14	koolzure kalk	C	1	M	K
15	textuur (lutum, grondsoort)	F	1	M	ZK
16	waterdoorlatendheid (verzadigd)	F	1	ME	K
17	waterhoudend vermogen	F	1	ME	ZK
18	poriënvolume (grond-water-lucht)	F	1	ME	ZK
19	hot water carbon (HWC)	C	1	ME	ZK
20	particulate organic matter (POM)	C	1	ME	ZK
21	profiel beoordeling	F	1	M	ZK
22	schadelijke bodeminsecten	B	1	ME	ZK
23	nuttige bodeminsecten	B	1	ME	ZK
24	(bulk)dichtheid	F	2	ME	ZK
25	Indringingsweerstand	F	2	D	ZK
26	bacteriële biomassa	B	2	ME	ZK
27	schimmel biomassa	B	2	ME	ZK
28	niet-plant parasitaire aaltjes	B	2	ME	ZK
29	Magnesium (beschikbaar)	C	2	D	ZK
30	Regenwormen	B	2	ME	K
31	potentiele C mineralisatie	C	2	D	ZK
32	potentiele N mineralisatie	C	2	D	ZK
33	aggregaat grootte (verdeling)	F	2	ME	ZK
34	aggregaat stabiliteit	F	2	ME	ZK
35	N min	C	2	D	ZK
36	slempgevoeligheid	F	2	ME	ZK
37	potentieel mineraliseerbare N (PMN)	C	2	D	ZK
38	trekkracht meting	F	2	ME	ZK
39	Pw (P water)	C	3	O	ZK
40	S totaal (zwavel totaal)	C	3	O	ZK
41	K totaal	C	3	O	ZK
42	sporenelementen	C	3	O	ZK
43	bodentemperatuur	F	4	D	ZK
44	vochtgehalte bodem	F	4	D	ZK
45	P totaal	C	4	D	ZK

1 type indicator: C=chemisch, F=fysisch, B=biologisch

2 categorie: M=in minimale dataset, ME=in minimale dataset, maar experimenteel van karakter; D= voor doel van de proef noodzakelijk, O= operationele indicator.

3 grondsoort: Z= zand, K = klei

Toelichting op de categorieën in tabel 10:

- Minimale dataset (**M**): indicatoren die in elk (bodem) experiment bepaald (zouden) moeten worden.
- Minimale dataset (**ME**): indicatoren die in elk (bodem) experiment bepaald zouden moeten worden, maar waarvan de meetmethodiek zich vooralsnog in een experimenteel stadium bevindt.

- Proefdoel (**D**): indicatoren die slechts in een beperkt aantal gevallen van belang zijn omdat ze rechtstreeks samenhangen met het doel van de proef
- Operationele (**O**): indicatoren die voor de bodemgebruiker (teler) direct te beïnvloeden zijn (veelal betreft het hier indicatoren in de sfeer van bemesting).

In Bijlage 1 is voor elk van de indicatoren uit tabel 9 de meeteenheid aangegeven, wordt – indien er informatie beschikbaar is – een streefwaarde genoemd en ingegaan op de (meest gewenste) meetfrequentie in tijd en ruimte en worden de methodieken voor bemonstering en analyse benoemd.

## 5.2 Prioritering MDS door specialisten en adviseurs

In november 2013 is met een kleine groep van specialisten een selectie gemaakt vanuit de door WUR samengestelde long list. Deze selectie is in december 2013 in twee workshops voorgelegd aan en beoordeeld door adviseurs (Tabel 10). Opvallend in de discussie met deze groep is dat de benadering één van de zeer korte termijn is. Wat kan er nu al gemeten worden en wat kan ik er nu mee tegen welke kosten. De meeste adviseurs hebben een bemestingsachtergrond en hebben daardoor waarschijnlijk veel moeite om biologische indicatoren te interpreteren. Daar komt bij dat laboratoria pas recent de mogelijkheid bieden enkele biologische indicatoren te laten meten en dat de advisering op basis van de uitslagen nog in de kinderschoenen staat. Opvallend is dat ook over de chemische indicatoren onder adviseurs nog veel ter discussie staat.

In tabel 10 is aangegeven welk percentage van de 25 adviseurs een indicator indeelde in de categorieën: In ieder geval want is noodzakelijk om te weten, ter discussie of niet nodig. Met geel zijn de indicatoren aangegeven die meer dan 70% scoorden waarover een behoorlijke mate van consensus bestaat. Dat wil niet zeggen dat de adviseurs het eens zijn over het protocol dat moet worden toegepast om de indicator te meten.

**Tabel 10** Prioritering van de in Tabel 3 genoemde indicatoren door specialisten en adviseurs. De indicatoren in geel zijn de geprioriteerde parameters.

Type bodemkwaliteit	Indicatoren	Beoordeling door adviseurs			
		In ieder geval %	discussie %	niet %	geen mening %
Fysisch (structuur)	OS totaal	92	8	0	0
	Textuur, lutum, korrelgrootte	84	12	4	0
	Profieloordeel/-kuil/gelaagdheid	68	28	0	4
	pH	92	4	4	4
	CEC totaal	72	12	12	4
	CEC bezetting	68	8	16	8
	Gemiddeld voor fysisch	79	12	6	3
	Aanvullingen				
	Drainage	0	0	0	0
	Penetrometer	0	0	0	0
Chemisch (bemesting)	Nmin	52	8	40	0
	Ntotaal	48	12	32	8
	C totaal	44	36	12	4
	P totaal	52	12	24	12
	pH	76	4	0	20
	CEC bezetting/omvang	60	20	4	16
	Koolzure kalk	56	20	8	16
	HWC	36	40	20	4
	OS fracties	56	24	8	12
	K-beschikbaar	92	4	0	4
	P-beschikbaar	92	4	0	4
	Magnesium	80	16	0	4
	Zwavel	60	32	4	4
	Sporenelementen	48	28	8	16
	PMN	28	40	8	24



	Gemiddeld voor chemisch	59	20	11	10
	Aanvullingen				
	Calcium	0	0	0	0
Biologisch (bodemgezondheid)	Bacteriele biomassa	20	36	28	16
	Schimmel biomassa	20	36	28	16
	HWC	24	36	20	20
	Potentieel mineraliseerbaar N	40	28	8	24
	Nematoden	52	12	28	8
	Pathogene nematoden	72	8	4	16
	Regenwormen	16	28	28	24
	Artropoden/mijten/springstaart	8	32	28	32
	Bodemweerbaarheid/ziektewering	44	24	24	8
	Pathogene schimmels/bacterien	36	28	24	12
	Bodeminsecten (schadelijke)	44	28	16	4
	Gemiddeld voor biologisch	34	27	21	16

Van alle indicatoren uit tabel 10 is aanvullende informatie opgenomen in Bijlage 2. Het gaat hier om informatie betreft meetfrequentie, variabiliteit, snelheid van verandering, afstand tot de praktijk en sturingsmogelijkheden. In het geval van sturingsmogelijkheden is een beoordeling gegeven voor het bekend zijn van streefwaarden en het effect van maatregelen op het niveau van indicatoren, de mogelijkheid om een integrale afweging te maken met andere indicatoren en het beschikbaar zijn van gereedschappen voor kennisoverdracht.

De selectie van indicatoren door specialisten en beoordeling van deze selectie door adviseurs zijn beide gebruikt voor de selectie van indicatoren voor een minimale dataset bodemindicatoren (Tabel 11). Bij deze indicatoren is aangegeven welke meetmethode en welk protocol de voorkeur hebben en welke meetfrequentie gehanteerd kan worden. Daarnaast is een inschatting gemaakt van de variabiliteit in het jaar (temporele variabiliteit), variabiliteit in het veld (spatiale variabiliteit) en variabiliteit in het lab. Ook is ingeschat hoe snel de meetwaarde van een indicator veranderend kan worden door toepassing van maatregelen. Deze stappen zijn ook voor de andere indicatoren

**Tabel 11** Selectie van de indicatoren voor een minimale dataset bodemindicatoren.

Type bodemkwaliteit	Indicatoren	Info meetmethoden					
		protocol of methode	Meet frequentie	Variabiliteit in het jaar	Variabiliteit in het veld	Variabiliteit lab methoden	Snelheid van verandering
Chemisch	pH	pH KCL, CaCl <sub>2</sub> of H <sub>2</sub> O	1x/4 jaar	beperkt	beperkt	beperkt	beperkt
	P-beschikbaar	CaCl <sub>2</sub> methode	1x/4 jaar	groot	beperkt	?	beperkt
	K-beschikbaar	CaCl <sub>2</sub> methode	1x/4 jaar	groot	beperkt	?	beperkt
	Magnesium	CaCl <sub>2</sub> methode	1x/4 jaar	groot	beperkt	?	beperkt
Fysisch	Textuur, lutum	BLGG textuur methode	eenmalig	niet	beperkt	beperkt	zeer beperkt
Chemisch/fysisch	CEC grootte	Chemische analyse, NIRS, afgeleide waarde	1x/4 jaar	beperkt	beperkt	beperkt	beperkt
Biologisch	Plantparasitaire nematoden	Afhankelijk van doelorganisme	1x/4 jaar	groot	groot	beperkt	beperkt
Biologisch/chemisch/fysisch	O.S. totaal	Gloeiverlies, NIRS ter discussie	1x/4 jaar	niet	beperkt	groot	beperkt

---

# 6 Discussie, conclusies en aanbevelingen

## 6.1 Discussie

### Resultaat anno 2015

De activiteiten die beschreven zijn in deze rapportage zijn uitgevoerd tussen 2011 en 2015. Het is in die jaren gelukt om vanuit een longlist van indicatoren een shortlist af te leiden met behulp van expertkennis van onderzoekers en adviseurs. Tijdens de verschillende bijeenkomsten was er consensus over de behoefte om tot een MDS te komen en de shortlist werd breed onderschreven. Tabel 11 geeft de geselecteerde indicatoren voor de Minimale Dataset weer zoals in 2015 vastgesteld. De tabel is daarna niet meer geactualiseerd. De tabel moet dan ook vanuit dat oogpunt bezien worden.

### Integrale meting bodemkwaliteit

In de selectie van indicatoren voor het meten van bodemkwaliteit kwamen vooral indicatoren voor bodemvruchtbaarheid (nutriënten) en plantparasitaire aaltjes naar voren. Hiervoor bieden Nederlandse laboratoria verschillende pakketten aan. Minder aandacht wordt gegeven aan de algemene biologische en fysische kant van bodemkwaliteit. Het was in 2015 nog niet mogelijk om bodemkwaliteit breed te bepalen door laboratoria (met uitzondering van Koch Bodemtechniek). Dit wordt veroorzaakt door technische en methodische problemen die er verbonden zijn aan het meten van desbetreffende indicatoren zoals het meten aan ongestoorde grondmonsters en de kosten van de metingen. In de laatste jaren zijn vooral bij Eurofins Agro (voorheen BLGG AgroXpertus) wel meer fysische en biologische indicatoren opgenomen en worden er ook meer chemische indicatoren gemeten voor een lagere prijs.

Er wordt bij de metingen weinig tot geen onderscheid gemaakt tussen de grondsoorten. Hierbij moet opgemerkt worden dat er naast indeling naar bodemsoort, ook andere indelingsvormen mogelijk zijn, bijvoorbeeld naar landgebruik of klimatologische zone. Ook is het denkbaar dat een basis set van 'algemene' indicatoren benoemd kan worden, bruikbaar voor alle grondsoorten en andere fysische omstandigheden, met 'subsets' voor verschillende bodemsoorten, landgebruik etc.

De selectie van indicatoren is vooral gericht op gebruik van laboratoriummethoden voor het vaststellen van bodemkwaliteit. Een visuele beoordeling van bodemkwaliteit is niet of beperkt aan de orde geweest terwijl die wel veel informatie kan geven, juist over de fysische en biologische kant van de bodem. Visuele indicatoren zijn vaak meer kwalitatief en meer subjectief (waarde afhankelijk van de beoordelaar) maar kunnen een wezenlijke bijdrage geven aan het inzicht in de bodemkwaliteit. Er zijn diverse instrumenten beschikbaar om een visuele beoordeling te maken zoals de bodemconditiescore ([www.mijnbodemconditie.nl](http://www.mijnbodemconditie.nl)).

### Informatie over analysemethoden

De algemene medewerking betreffende de technieken vanuit de laboratoria verliep met uitzondering van BLGG AgroXpertus (nu Eurofins Agro) moeizaam. Zo leverde geen van de gevraagde laboratoria een volledige lijst aan waarin de gebruikte methodieken beschreven worden. De informatie over methodieken werd daarom grotendeels verzameld van de homepages van de laboratoria BLGG AgroXpertus, Koch Bodemtechniek en het toenmalige Altic. Omdat deze niet alle noodzakelijke informatie aangeven ontbreekt sommige informatie in de tabellen.

### Kwaliteit en betrouwbaarheid van metingen

Er wordt geen uitspraak gedaan over de betrouwbaarheid van de aangeboden metingen terwijl de laboratoria er zich wel van bewust zijn dat hun metingen soms behoorlijke spreidingen tonen. Tijdens ons gesprek met Delphy (adviseurs bodem) bleek dat er in de praktijk veel twijfel bestaat over de door de laboratoria aangegeven meetkwaliteit en interpretaties. Bijvoorbeeld waar zijn de streefwaarden op de uitslagformulieren op gebaseerd?

Veel van de indicatoren en hun meetmethoden ontberen nu nog de wetenschappelijke onderbouwing en ook hier is nog niet gewaarborgd dat ze voldoen aan de in hoofdstuk **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** genoemde randvoorwaarden. Eurofins Agro werkt echter op het moment aan het

---

publiceren van de meetmethodes en hun kwaliteit en betrouwbaarheid. De verwachting is dat in de komende jaren meer informatie hierover beschikbaar komt.

### **Integratie met Soil Health Index in Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland**

Wageningen Environmental Research (WEnR) is zelfstandig bezig geweest met de ontwikkeling van een zogenoemde Soil Health Index (SHI) voor Nederland. Het rapport dat hiervoor is geschreven bevat ook een lijst met indicatoren (van den Elsen et al., 2019). De ontwikkeling van een MDS en SHI heeft grotendeels dezelfde doelstellingen. Dit is reden geweest voor het ministerie van Landbouw, Natuur en Visserij (LNV) om opdracht te geven tot een gezamenlijke set indicatoren te komen voor het meten van bodemkwaliteit. Dit 'Meten is Weten' rapport dient als input vanuit het MDS-project voor deze gezamenlijke set. Versie 1.0 van de nieuwe indicatorset, Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland (BLN) is in augustus 2019 gepubliceerd (Hanegraaf et al., 2019) en wordt nu verder getest en ontwikkeld binnen de PPS Beter Bodembeheer en het klimaatprogramma Slim Landgebruik. De insteek van de BLN is echter wel afwijkend dan van de MDS zoals beschreven in dit project. De insteek van de BLN is in eerste instantie een selectie van wetenschappelijk goed onderbouwde indicatoren die een brede beschrijving van de bodemkwaliteit geven. Hierbij zijn veel indicatoren geselecteerd die niet routinematig, snel en goedkoop bepaald kunnen worden. Daarom zijn in tweede instantie alternatieve indicatoren toegevoegd die wel relatief snel en goedkoop bepaald kunnen worden. De kwaliteit en betrouwbaarheid van deze indicatoren is echter minder of niet wetenschappelijk onderbouwd.

### **Toekomstige ontwikkelingen**

Met het Nationaal Programma Landbouwbodems komt het meten van bodemkwaliteit midden in de belangstelling te staan. Het programma heeft tot doel dat alle landbouwbodems in 2030 duurzaam beheerd worden en dat er een eenduidig en praktisch meetinstrument wordt ontwikkeld om dat te monitoren. Het werk beschreven in dit rapport heeft bijgedragen aan de ontwikkeling van de BLN die weer input is voor de ontwikkeling van een meetinstrument.

Met de grotere aandacht voor bodemkwaliteit zijn ook diverse nieuwe meettechnieken in ontwikkeling die op termijn tot nieuwe bruikbare indicatoren voor het meten van bodemkwaliteit kunnen leiden. Deze zijn vooral voor de bepaling van de biologische en fysische bodemkwaliteit gewenst. Toch gaan deze ontwikkelingen vrij langzaam voordat een goede, betrouwbare en ook betaalbare techniek beschikbaar is inclusief ook de kennis om de meting te waarderen (afleiding van referentiewaarden en streefwaarden).

Er zijn veel tools al ontwikkeld om bodemkwaliteit (op onderdelen) te waarderen (Molendijk et al., 2018). Deze tools worden om diverse redenen toch maar beperkt gebruikt. Toch is er wel grote vraag naar tools, enerzijds om boeren te adviseren hoe ze hun bodemkwaliteit en daarmee productie kunnen verbeteren en anderzijds ook om bodemkwaliteit te waarderen. Momenteel laat de Bodemcoalitie (a.s.r, Rabobank en Vitens) de Open Bodemindex ontwikkelen die gebaseerd op de huidige commercieel beschikbare metingen en openbare informatie een waardering geeft aan de bodemkwaliteit. Echter ook hier wreekt zich het gebrek aan goede fysische en biologische indicatoren voor een daadwerkelijke integrale meting van bodemkwaliteit en vormt het beoordelen van bodemkwaliteit nog een uitdaging, zeker wanneer meerdere doelstellingen in de beoordeling meegenomen worden.

## **6.2 Conclusies**

De noodzaak om te komen tot een indicatorenlijst die als basis kan dienen voor de bepaling van de bodemkwaliteit in Nederland werd in 2015 en wordt anno 2019 breed onderschreven. Internationaal lopen meerdere initiatieven die echter niet één op één naar de Nederlandse situatie zijn te vertalen. De in 2015 samengestelde MDS is goed bruikbaar voor het vaststellen van de bodemkwaliteit van een perceel. Er waren en zijn echter nog veel vragen over de wijze waarop gegevens in het veld moeten worden verzameld (bemonsteringsprotocollen in ruimte en tijd) en de wijze waar ze in de laboratoria moeten worden gemeten (diagnostische protocollen). Ook ontbreken voor een aantal indicatoren streefwaarden en is er gebrek aan kennis om gerichte maatregelen te kunnen nemen die tot verbetering zullen leiden van geconstateerde gebreken of tekorten. Het is belangrijk dat gewerkt wordt aan het verder ontwikkelen van de bovengenoemde beperkingen.

---

Om een goede kans te maken op implementatie in de praktijk is het van groot belang de wensen te scheiden van de mogelijkheden. Telers kunnen alleen met een set bodemindicatoren uit de voeten als de informatie op een betaalbare maar ook betrouwbare wijze wordt gemeten en beoordeeld kan worden. De verwachtingen van telers, adviseurs en overheden moeten steunen op een reëel beeld van de huidige mogelijkheden. Een betrouwbaar plaatje van het beschikbaar komen van betere methoden en de mogelijkheid om nieuwe indicatoren goed te kunnen bepalen samen met hun streefwaarden, is randvoorwaarde om de verdere ontwikkeling in goede banen te leiden. In de BLN zal dit verder doorontwikkeld moeten worden zodat er een bruikbare indicatorset beschikbaar komt die enerzijds betrouwbaar is en anderzijds ook voldoende snel en kosteneffectief bepaald kan worden.

---

# Literatuur

- Andrews SS, Carroll CR (2001). Designing a soil quality assessment tool for sustainable agro-ecosystem management. *Ecological Applications* 11, 1573-1585.
- Andrews SS, Karlen DL, Cambardella CA (2004). The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method. *Soil Science Society of America Journal* 68, 1945-1962.
- Andrews SS, Karlen DL, Mitchell JP (2002). A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture Ecosystems & Environment* 90, 25-45.
- Arshad MA, Martins S (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88, 153-160. Bloem J, Hopkins DW, Benedetti A (2006). *Microbiological Methods For Assessing Soil Quality*. CABI Publishing, Cambridge, MA.
- Berge H ten, Postma J (2010) (eds). *Durzaam Bodembeheer In De Nederlandse Landbouw – Visie en bouwstenen voor een kennisagenda*. Plant Research International, WUR.
- Bloem J, Schouten AJ, Sørensen SJ, Rutgers M, Van der Werf A, Breure AM (2006): Monitoring and evaluating soil quality. In: J Bloem, DW Hopkins, A Benedetti: *Microbiological Methods for Assessing Soil Quality*. CABI Wallingford, 23-49.
- Breukers, A., Wolf de, P. , en Molendijk, L.P.G. (2008, mei 2008). Trendanalyse veranderend grondgebruik; consequenties voor de bodemgezondheid, Project rapport t.b.v. min LNV. PPO nr. 3250072500, p. 35.
- Brussaard L, Kuyper TW, Didden WAM, de Goede RGM, Bloem J (2004). Biological soil quality from biomass to biodiversity – importance and resilience to management stress and disturbance. In: P Schjonning, S Elmholt, BT Christensen. *Managing Soil Quality: Challenges in Modern Agriculture*, Wallingford, CABI Publishing, 139-162.
- Doran JW, Parkin TB (1994). Defining and assessing soil quality. In: JW Doran, DC Coleman, DF Bezdicsek, BA Stewart (eds): *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Spec. Pub 35, 3-21.
- Doran JW, Parkin TB (1996). Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: JW Doran, AJ Jones (eds.): *Methods For Assessing Soil Quality*. Soil Science Society of America, 25-37.
- Doran JW, Zeiss MR (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15, 3-11.
- EEA European Environment Agency (2000). *Down to earth: Soil Degradation and Sustainable Development in Europe*. Environmental Issues Series No 16. Office for Official Publications of the European Communities.
- Gugino BK, Idowu OJ, Schindelbeck RR, van Es HM, Wolfe DW, Thies JE, Abawi GS (2007). *Cornell Soil Health Assessment Training Manual*. Cornell University, Geneva, New York.
- Haan, J. de, Sukkel, W., Molendijk, L., & Meijer, B. (2011). *Vruchtbare Gronden; Praktijkonderzoek Plant & Omgeving werkt aan bodemkwaliteit*. <http://edepot.wur.nl/172905>
- Hanegraaf, M.C., H.G.M. van den Elsen, J.J. de Haan & S.M. Visser (2019). *Bodemkwaliteitsbeoordeling van landbouwgronden in Nederland – indicatorset en systematiek, versie 1.0*. Wageningen Research, Rapport WPR-795. 34 blz. ; 1 fig; 2 tab; 23 ref. <https://doi.org/10.18174/498307>
- Huber S, Prokop G; Arrouays D, Banko G, Bispo A, Jones RA, Kibblewhite MG, Lexer W, Möller A, Rickson RJ, Shishkov T, Stephens M, Toth G, Van den Akker JJH, Varallyay G, Verheijen FGA, Jones AR (2008). *Environmental Assessment of Soil for Monitoring: Volume I Indicators and Criteria*. EUR 23490 EN/1. Office for the Official Publication of the European Communities, Luxembourg, 339 pp.
- Janvier C, Villeneuve F, Alabouvette C, Edel-Hermann V, Mateille T, Steinberg C (2007). Soil health through disease suppression: Which strategy from descriptors to indicators? *Soil Biology & Biochemistry* 39, 1-23.
- Karlen DL, Andrews SS, Doran JW (2001). Soil quality: current concepts and applications. *Advances in Agronomy* 74, 1-40.

- 
- Karlen DL, Ditzler CA, Andrews SS (2003). Soil quality: why and how? *Geoderma* 114, 145-156.
- Karlen DL, Mausbach MJ, Doran JW, Cline RG, Harris RF, Schuman, G.E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal* 61, 4-10.
- Karlen DL, Hurley EG, Andrews SS, Cambardella CA, Meek DW, Duffy MD, Mallarino AP (2006). Crop rotation effects on soil quality at three northern corn/soybean belt locations. *Agronomic Journal* 98, 484-495.
- Larson WE, Pierce FJ (1991). Conservation and enhancement of soil quality. In: *Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, Vol. 2: Technical papers*. Bangkok, Thailand, 175-203.
- Liebig MA, Doran JW, Gardner JC (1996). Evaluation of a field test kit for measuring selected soil quality indicators. *Agronomy Journal* 88, 683-686.
- Lilburne L, Sparling GP, Schipper L (2004). Soil quality monitoring in New Zealand: development of an interpretative framework. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104, 535-544.
- Lilburne LR, Hewitt LR, Sparling GP, Selvarajah N (2002). Soil quality in New Zealand: policy and the science response. *Journal of Environmental Quality* 31, 1768-1773.
- Moebius-Clune BN, van Es HM, Schindelbeck RR, Idowu OJ, Thies JE, Clune DJ (2007). Evaluation of laboratory-measured soil properties as indicators of soil physical quality. *Soil Science* 172, 895-912.
- Molendijk, L., de Wolf, P., & Wesselink, M. (2018). Instrumenten voor duurzaam bodembeheer: een overzicht. Wageningen Research, Rapport WPR-740. <http://edepot.wur.nl/455058>
- Morvan X, Saby NPA, Arrouays D, Le Bas C, Jones RJA, Verheijen FGA, Bellamy PH, Stephens M, Kibbelwhite MG (2008). Soil monitoring in Europe: A review of existing systems and requirements for harmonisation. *Science of the total Environment* 391, 1-12.
- Mulder Ch, Wijnen HJ van, Hollander HA den, Schouten AJ, Rutgers M, Breure AM (2004). Biodiversiteit en duurzaam bodemgebruik. RIVM-rapport nr. 607604006.
- Oldeman LR (1994). The global extent of land degradation. In: D.J. Greenland, I. Szabolcs: *Land Resilience and Sustainable Land Use*. Wallingford, 99-118.
- Overbeek LS Van, Senechkin IV, van Bruggen AHC. (2012). Effects of field history and organic amendments on the microbial community structure and disease suppressive status of soils from agricultural land recently converted to organic farming practices. *Canadian Journal Plant Pathology*.
- Power JF, Myers RJK (1989). The maintenance or improvement of farming systems in North America and Australia. In: J.W.B. Stewart: *'Soil Quality in Semi-Arid Agriculture*.
- Ritz K, Black HIJ, Campbell CD, Harris JA, Wood C (2009). Selecting biological indicators for monitoring soils: A framework for balancing scientific and technical opinion to assist policy development. *Ecological Indicators* 9, 1212-1221.
- Roming DEM, Garlynd J, Harris RF (1996). Farmer-based assessment of soil quality: a soil health scorecard. In: JW Doran, AJ Jones: *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication 49. SSSA, Madison, 39-60.
- Rutgers M, Mulder, C., Schouten, A.J. (2008). Soil ecosystem profiling in the Netherlands with ten references for biological soil quality. RIVM report 607604009/2008.
- Rutgers M, Mulder Ch, Schouten AJ, Bogte JJ, Breure AM, Bloem J, Jagers op Akkerhuis GAJM, Faber JH, Eekeren N van, Smeding FW, Keidel H, Goede RGM de, Brussaard L (2004). *Typeringen van Bodemecosystemen- Duurzaam Bodemgebruik met Referenties voor biologische Bodemkwaliteit*. RIVM rapport 607604007.
- Schjonning, P., Elmholt, S., & Christensen, B. T. (2004). *Managing soil quality: challenges in modern agriculture*. Wallingford: CABI Publishing.
- Schouten AJ, Brussaard L, Ruiter PC de, Siepel H, Straalen NM van, LBG (1997). Een Indicatorsysteem voor Life Support Functies van de Bodem in Relatie tot Biodiversiteit. RIVM Rapport 712910005.
- Sparling GP, Schipper LA (2002). Soil quality at a national scale in New Zealand. *Journal of Environmental Quality* 31, 1848-1857.
- Sparling GP, Schipper LA (2004). Soil quality monitoring in New Zealand: trends and issues arising from a broad-scale survey. *Agriculture Ecosystems & Environment* 104, 545-552.
- Sparling GP, Schipper LA, Bettjeman W, Hill R (2004). Soil quality monitoring in New Zealand: practical lessons from a 6-year trial. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 104, 523-534.

- 
- Sparling GP, Lilburne L, Vojvodic-Vukovic M. (2008). Provisional Targets for Soil Quality Indicators in New Zealand Landcare Research Science Series No. 34.
- Thoden, T., Molendijk, L., & Overbeek, L. v. (2012). Verkenning bodemindicatoren. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Interne rapportage.
- Warkentin BP, Fletcher HR (1977). Soil quality for intensive agriculture. In: Proceedings of the International Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture. Society of Science of Soil and Manure, Japan, 594-598.
- Wienhold BJ, Andrews SS, Karlen DL (2004). Soil quality: a review of the science and experiences in the USA. *Environmental Geochemistry and Health* 26, 89-95.

# Bijlage 1 Toelichting per indicator

## Legenda met de eigenschappen die per indicator zijn uitgewerkt

nummer	nummer van de indicator in tabel 12
naam indicator	meest gebruikte naam van de indicator.
doel	korte omschrijving van de bodemeigenschap die wordt bepaald.
(meet)eenheid	eenheid waarin de grootte van de indicator wordt uitgedrukt.
streefwaarde	optimale waarde van de indicator of traject waarin de indicator zich zou moeten bevinden.
stuurbaarheid	geeft aan of en in welke mate de bodemgebruiker de indicator door het nemen van bepaalde maatregelen naar de optimale waarde c.q. het optimale traject kan brengen.
meetfrequentie in de tijd	periode waarin de indicator eenmaal wordt bepaald of zou moeten worden bepaald
meetfrequentie ruimtelijk	aantal bepalingen per oppervlakte eenheid (meestal per ha).
methodiek bemonstering	overige voorschriften voor een betrouwbare monsternamen (grid, diepte etc.)
methodiek analyse	(standaard) methodiek(en) waarmee de indicator wordt geanalyseerd of geanalyseerd zou moeten worden.
opmerkingen	overige relevante informatie

## Toelichting per indicator

<b>nummer</b>	<b>1</b>
<b>naam indicator</b>	<b>organische stof gehalte (OS%)</b>
doel	vaststellen van het gehalte aan organische stof in de bodem
meeteenheid	gewichtsperscentage
streefwaarde	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. Wellicht belangrijker dan het gewenste organische stof percentage per grondsoort, is de vraag hoeveel verse organische stof en van welke samenstelling of kwaliteit er gemiddeld op rotatieniveau moet worden aangevoerd om de bodem in een goede conditie te houden. Met name op zand- en dalgrond is een regelmatige aanvoer van verse organische stof zeker zo belangrijk als het handhaven van een bepaalde hoeveelheid humus in de bodem.
stuurbaarheid	Gering. Er moeten zeer grote hoeveelheden organisch materiaal worden aangevoerd om het organische stof percentage ietwat te verhogen.. De OS-aanvoer van buiten het bedrijf wordt echter wettelijk beperkt door de fosfaatgebruiksnormen (OS bevat fosfaat). Als te weinig wordt aangevoerd, duurt het ook lang voor het o.s.% merkbaar is gedaald, met name op kleigrond. Via maatregelen die de afbraak van o.s. vertragen, zoals minimale grondbewerking, is het o.s.% wellicht nog het beste stuurbaar.
meetfrequentie in de tijd	jaarlijks
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	overeenkomstig bemonsteringsvoorschriften grondmonsters in "handboek bodem en bemesting"
methodiek analyse	er zijn een aantal methoden om het organische stof gehalte te bepalen: <u>gloeiverliesmethode:</u> <ul style="list-style-type: none"><li>- BLGG: insturen als onderzoekmonster (onderzoekformulier)</li><li>- ALTIC (eigen methode; gloeiverlies)</li><li>- CBLB</li></ul> <u>elementair-analyse:</u> meting van c-gehalte en omrekening naar o.s.% <ul style="list-style-type: none"><li>- BLGG: insturen als onderzoekmonster (onderzoekformulier)</li><li>- CBLB</li></ul> <u>m.b.v. NIRS:</u> meting van c-gehalte en omrekening naar o.s.% <ul style="list-style-type: none"><li>- BLGG: insturen als praktijkmonster</li></ul> <u>natte oxidatie</u> <ul style="list-style-type: none"><li>- CBLB</li></ul>
opmerkingen	velen beschouwen de gloeiverliesmethode als het meest betrouwbaar.



<b>nummer</b>	<b>2</b>
<b>naam indicator</b>	<b>N totaal</b>
doel	vaststellen totale hoeveelheid stikstof in de bodem
meeteenheid	mg N. per kg (grond)
streefwaarde	geen
stuurbaarheid	beperkt. Het overgrote deel van N totaal in de bodem bevindt zich in de organische stof.
meetfrequentie in de tijd	éénmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	overeenkomstig bemonsteringsvoorschriften grondmonsters in "Handboek Bodem en Bemesting"
methodiek analyse	<u>Meting via chemische analyse:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- BLGG: insturen als onderzoekmonster</li> <li>- CBLB</li> </ul> <u>m.b.v. NIRS:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- BLGG: insturen als praktijkmonster</li> <li>- ALTIC</li> </ul>
opmerkingen	Om de hoeveelheid te berekenen moet het gemeten gehalte worden vermenigvuldigd met het gewicht van de bemonsterde laag (droge grond).
<b>nummer</b>	<b>3</b>
<b>naam indicator</b>	<b>C totaal</b>
doel	vaststellen totale hoeveelheid koolstof in de boem
meeteenheid	mg C per kg grond of gewicht percentage
streefwaarde	geen
stuurbaarheid	beperkt. Koolstof is onderdeel van organische stof in de bodem en (op kalkhoudende gronden) van calciumcarbonaat.
meetfrequentie in de tijd	1 maal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	overeenkomstig bemonsteringsvoorschriften grondmonsters in "Handboek Bodem en Bemesting"
methodiek analyse	<u>Meting via chemische analyse:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- BLGG: insturen als onderzoekmonster</li> <li>- CBLB</li> <li>- ALTIC</li> </ul> <u>m.b.v. NIRS:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- BLGG: insturen als praktijkmonster</li> </ul>
opmerkingen	Om de hoeveelheid te berekenen moet het gemeten gehalte worden vermenigvuldigd met het gewicht van de bemonsterde laag (droge grond).
<b>nummer</b>	<b>4</b>
<b>naam indicator</b>	<b>C – N quotiënt</b>
doel	Geeft verhouding tussen totale hoeveelheid koolstof en stikstof in de grond en is een indicatie voor de stabiliteit van de humus in de bodem en de kwaliteit van het humificatieproces c.q. de omstandigheden waaronder de humificatie is verlopen. C/N 10 duidt op stabiele humus en een gunstig verlopen humificatie. De C/N-verhouding verschilt per grondsoort en is op zand hoger dan op klei. C/N is tevens een indicator voor het schatten van de N-mineralisatie uit de bodem-organische stof met behulp van rekenmodellen.
meeteenheid	Geen
streefwaarde	BLGG hanteert eigen streefwaarden.
stuurbaarheid	beperkt
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	BLGG, ALTIC
opmerkingen	berekende waarde
<b>nummer</b>	<b>5</b>
<b>naam indicator</b>	<b>P beschikbaar</b>
doel	indicator voor de hoeveelheid fosfaat die snel voor de plant beschikbaar is

meeteenheid	mg P per kg grond
Streefwaarde	BLGG hanteert eigen streefwaarden
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	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	overeenkomstig bemonsteringsvoorschriften grondmonsters in "Handboek Bodem en Bemesting"
methodiek analyse	BLGG, ALTIC, CBLB
opmerkingen	volgens de "CaCl <sub>2</sub> methode"
<b>nummer</b>	<b>6</b>
<b>naam indicator</b>	<b>P-AL</b>
doel	indicator voor de voorraad fosfaat in de bodem die op termijn beschikbaar kan komen voor het gewas
meeteenheid	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per 100 gram grond
streefwaarde	BLGG hanteert eigen streefwaarden
stuurbaarheid	beperkt. De P-pool in de bodem die met P-AL wordt gemeten is dermate groot dat een fosfaatoverschot- of tekort een geringe verandering geeft van het P-AL getal. Een langjarig overschot of tekort leidt tot een gestage stijging resp. daling. In principe is de fosfaattoestand van de bodem te verhogen door veel fosfaat te strooien. Echter, vanwege de fosfaatgebruiksnormen is dit niet mogelijk. Alleen in geval van een landbouwkundig te lage fosfaattoestand is het toegestaan extra fosfaat te strooien om de toestand te verhogen. Verlagen van de fosfaattoestand is alleen mogelijk door minder fosfaat toe te dienen dan er met de gewassen wordt afgevoerd. De fosfaattoestand daalt dan langzaam in de loop der jaren.
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	overeenkomstig bemonsteringsvoorschriften grondmonsters in "Handboek Bodem en Bemesting"
methodiek analyse	BLGG, ALTIC, CBLB
opmerkingen	-
<b>nummer</b>	<b>7</b>
<b>naam indicator</b>	<b>K beschikbaar</b>
doel	Indicator voor de hoeveelheid kalium in de bodem die snel voor de plant beschikbaar is
meeteenheid	mg K per kg grond
streefwaarde	BLGG hanteert eigen streefwaarden
stuurbaarheid	goed, door kalibemesting
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	overeenkomstig bemonsteringsvoorschriften grondmonsters in "Handboek Bodem en Bemesting"
methodiek analyse	BLGG, CBLB
opmerkingen	volgens de CaCl <sub>2</sub> methode
<b>nummer</b>	<b>8</b>
<b>naam indicator</b>	<b>K getal</b>
doel	vaststellen van de kalitoestand van de bodem
meeteenheid	geen
streefwaarde	grondsoortafhankelijk. De streefwaarden staan in het "Handboek bodem en Bemesting".
stuurbaarheid	goed, door kalibemesting.
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie

methodiek bemonstering	overeenkomstig bemonsteringsvoorschriften grondmonsters in "Handboek Bodem en Bemesting"
methodiek analyse	BLGG, ALTIC
opmerkingen	Berekend uit andere waarden. BLGG berekent het uit K-CaCl <sub>2</sub> . ALTIC berekent het uit K-HCl (de klassieke bepaling).
<b>nummer</b>	<b>9</b>
<b>naam indicator</b>	<b>pH</b>
doel	bepaling zuurgraad van de bodem
meeteenheid	geen
streefwaarde	afhankelijk van grondsoort, organische stof percentage en bouwplan. De streefwaarden staan in het "Handboek bodem en Bemesting".
stuurbaarheid	matig. 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	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	overeenkomstig bemonsteringsvoorschriften grondmonsters in "Handboek Bodem en Bemesting"
methodiek analyse	- pH-KCl: BLGG (als onderzoekmonster), ALTIC, CBLB - pH-CaCl <sub>2</sub> : BLGG (als onderzoekmonster), CBLB - pH-H <sub>2</sub> O: ALTIC, CBLB - m.b.v. NIRS: BLGG (als praktijkmonster)
opmerkingen	-
<b>nummer</b>	<b>10</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Pathogene bodemschimmels</b>
doel	vaststellen of en zo ja welke schadelijke bodemschimmels aanwezig zijn en in welke mate dit het geval is (besmettingsniveau)
meeteenheid	divers
streefwaarde	Nul.
stuurbaarheid	redelijk stuurbaar want de aanwezigheid van de pathogene bodemschimmels is vooral afhankelijk van de teeltfrequentie en de plaats in de rotatie van de waardgewassen.
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	doorgaans 3 monsters per ha
methodiek bemonstering	20 tot 40 steken per monster
methodiek analyse	<u>Volgens PPO protocollen, werkwijzers of anderszins:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Protocol 25.5.4. dichtheid Pythium in grond (o.a. voor de peenteelt)</li> <li>• Protocol 25.10.1. bepaling besmetting Fusarium droogrot in grond (aangepaste Nielsen &amp; Johnson toets)</li> <li>• Protocol 25.10.1.3 Isolatie van wratziekte uit grond met de Hendrickscentrifuge.</li> <li>• Protocol 25.11.3 grondverduunningsplaten voor <i>Fusarium oxysporum</i></li> <li>• Protocol 25.11.5. biotoets bepaling van <i>Fusarium oxysporum f. sp. epae</i> besmetting van grond voorafgaand of na de teelt van uien</li> <li>• Protocol 25.15.1 Aantal witrot sclerotiën in grond</li> <li>• Protocol 25.15.2 Vitaliteit van sclerotiën van <i>Sclerotium cepivorum</i></li> <li>• Werkwijzer voor isolatie van <i>Sclerotinia sclerotiën</i> uit de grond</li> <li>• 25.1.5: Camporotatoets ter bepaling van bodemweerbaarheid tegen <i>Rhizoctonia solani</i> AG 2-2 (in suikerbiet)</li> <li>• Bodemweerbaarheid tegen <i>Rhizoctonia</i> in aardappel (biotoets Lamers)</li> <li>• Bodemweerbaarheid tegen <i>Fusarium oxysporum f. sp. cepae</i> in ui</li> </ul>
opmerkingen	De biotoets methode <i>Fusarium oxysporum</i> (protocol 25.11.5) is beter afgestemd op het te testen gewas dan andere toetsen voor deze bodemschimmel. Gezien de variabiliteit van bepalingen van <i>Verticillium dahliae</i> , wordt voor bepaling van dit organisme in de grond, verwezen naar de NAK Tuinbouw. Voor bepaling van <i>Fusarium oxysporum f. sp. asparagi</i> heeft de NAK Tuinbouw een biotoets beschikbaar.
<b>nummer</b>	<b>11</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Plant parasitaire aaltjes</b>
doel	bepaling of en zo ja welke voor planten schadelijke aaltjes aanwezig zijn en in welke mate dit het geval is (bepaling besmettingsniveau).
meeteenheid	divers, streven naar aantal per 100 ml grond als meest gebruikte eenheid.

streefwaarde	besmetting terugdringen tot onder schadedrempel (schadedrempels zijn afhankelijk van aaltjessoort, gewas en teeltwijze).
stuurbaarheid	vrij hoog. PPO heeft hiervoor een <b>Aaltjes Beheersing Strategie</b> (ABS) ontwikkeld. Belangrijkste onderdelen van het ABS zijn het voorkomen van besmetting ( <b>preventie</b> ), het verlagen van een eventuele aaltjesbesmetting (zo mogelijk tot onder de schadedrempel) door benutting van de variatie in <b>waardplantstatus</b> van gewassen en groenbemesters en (tot slot) het al of niet nemen van <b>bestrijdingsmaatregelen</b> (grondontsmetting, toepassing granulaten, inundatie etc.).
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	voor aardappelpcysteeltjes zijn diverse methoden van bemonstering beschikbaar, variërend in intensiteit van bemonstering (AMEX, AMI). Voor niet cyste-vormende aaltjes wordt gestreefd naar vergelijkbare beschrijving van de bemonsteringsmethodiek (bijvoorbeeld: Melo-I).
methodiek bemonstering	volgens "werkwijzers" van PPO-agv voor bemonstering van grond te weten: werkwijze bemonstering (nematoden algemeen), werkwijzer bemonstering Meloidogyne, werkwijze bemonstering Trichodoriden.
methodiek analyse	<u>volgens PPO protocollen:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 23.1.3.1. levend-dood bepaling (visuele bepaling inhoud cysten)</li> <li>• 23.1.3.2. loktoetsen ter bepaling van levende en vitale inhoud van cysten volgens lange wekmethode.</li> <li>• 23.1.3.3. loktoetsen ter bepaling van levende en vitale inhoud van cysten volgens korte wekmethode</li> <li>• 23.1.6. spoelen van grond (scheiding cysten en grond)</li> <li>• 23.2.4.2. isoleren van aaltjes uit wortelmateriaal (chloor spoelmethode)</li> <li>• 23.2.6. isoleren van aaltjes uit wortelmateriaal (enzymmethode)</li> <li>• 23.5.4.1. spoelen van grondmonsters (extraheren van nematoden uit grond)</li> <li>• 23.5.4.2. incuberen van <i>Meloidogyne</i> of <i>Pratylenchus</i> materiaal</li> <li>• 23.5.6. isoleren van aaltjes uit wortelmateriaal (mistkastmethode)</li> <li>• 23.5.7. identificeren en tellen van nematoden</li> <li>• 23.6.1. spoelen van grondmonsters van grote nematoden</li> <li>• 23.6.2. identificeren en tellen van grote nematoden</li> </ul>
opmerkingen	Analyse gebeurt soms ook door andere instanties als: Groene Vlieg, BLGG, NAK-AGRO, HLB etc. PPO agv heeft in het kader van NemaDecide een werkgroep bemonstering georganiseerd waarin afstemming van methoden plaats vindt. Harmonisatie voor aardappelmoeheid is gerealiseerd. Voor Meloidogyne is deze in een ver gevorderd stadium. In het kader van de PPS "winteroverleving" wordt aan wortelknobbelaaltjes en wortellesieaaltjes gewerkt.
<b>nummer</b>	<b>12</b>
<b>naam indicator</b>	<b>CEC</b>
Doel	Bepaling van de adsorptie capaciteit van kationen (of uitwisselcapaciteit) van de bodem. Dit is een indicator voor het vermogen van de bodem om kationen vast te houden en vrij te geven als er gewasopname plaatsvindt.
meetheid	Mmol per kg grond
streefwaarde	BLGG hanteert eigen streefwaarden
stuurbaarheid	gering. De CEC hangt af van het o.s.-gehalte en het lutumgehalte in de bodem.
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	overeenkomstig bemonsteringsvoorschriften grondmonsters in "Handboek Bodem en Bemesting"
methodiek analyse	BLGG als onderzoekmonster en CBLB: door chemische analyse BLGG als praktijkmonster: m.b.v. NIRS ALTIC: afgeleide waarde
opmerkingen	-
<b>nummer</b>	<b>13</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Infiltratiesnelheid</b>
Doel	bepaling snelheid van waterinfiltratie (indicatie voor bodemstructuur)
meeteenheid	mm per uur
streefwaarde	De FAO hanteert 7 klassen van Ksat waardes (verzadigde hydraulische conuctiviteit), variërend van extreem langzaam (minder dan 0.6 mm per uur) tot extreem snel (meer 200

	mm per uur). Vanuit de Universiteit van Leuven zijn streefwaarden genoemd voor verschillende textuurklassen (in mm per uur):
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voor zandige bodems: 20 - 85</li> <li>• Voor zandleem bodems : 8 - 40</li> <li>• Voor lenige bodems: 4 - 30</li> <li>• Voor kleibodems: 0,04 - 2</li> </ul>
stuurbaarheid	Goed. Verdichte lagen maar ook poriënverdeling kunnen goed beïnvloed worden.
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie. Veelal in het voorjaar na inzaai van gewassen maar op 'bezakte' grond. Soms ook na de oogst van gewassen ook op 'bezakte' grond.
meetfrequentie ruimtelijk	drie metingen per herhaling, niet meten in rijsporen.
methodiek bemonstering	dubbele ringmethode
methodiek analyse	volgens de methodiek van Eijkelkamp.
opmerkingen	De methodiek van Eijkelkamp is beschreven in "Operating instructions: 09.04 double ring infiltrometer set" en is als PDF bestand beschikbaar. Dit is een arbeidsintensieve methode, waarvan het resultaat sterk kan worden beïnvloed door muizen- en mollengangen en door natuurlijke scheuren.
<b>nummer</b>	<b>14</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Koolzure kalk</b>
Doel	Bepaling van de kalkrijkdom van de bodem
meeteenheid	gewichtspercentage
streefwaarde	BLGG hanteert eigen streefwaarden
stuurbaarheid	Gering. Een kalkarme grond kan worden bekalkt om met name de pH te verhogen, maar blijft dan een kalkarme grond. Kalkrijke gronden kan men niet ontkalken.
meetfrequentie in de tijd	eenmalig
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	overeenkomstig bemonsteringsvoorschriften grondmonsters in "Handboek Bodem en Bemesting"
methodiek analyse	BLGG als onderzoekmonster, ALTIC en CBLB: door chemische analyse BLGG als praktijkmonster: afgeleide waarde
opmerkingen	-
<b>nummer</b>	<b>15</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Textuur</b>
doel	bepaling samenstelling bodem in textuurklassen, waaruit de slib-, silt- en zandfracties worden bepaald.
meeteenheid	%
streefwaarde	geen algemene streefwaarde (is onder andere afhankelijk van bouwplan )
Stuurbaarheid	redelijk te beïnvloeden door mengen van bodemlagen (diepploegen, spitten) op opbrengen van andere grond van elders.
meetfrequentie in de tijd	eenmalig
meetfrequentie ruimtelijk	bouwvoor bemonstering
methodiek bemonstering	geen informatie
methodiek analyse	BLGG
opmerkingen	geeft informatie over verdeling van de korrelgrootte (afgeleide: grondsoort).
<b>nummer</b>	<b>16</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Waterdoorlatendheid (verzadigd)</b>
doel	bepaling van de verzadigde waterdoorlatendheid in de onverzadigde zone van de bodem.
meeteenheid	mm per uur
streefwaarde	onbekend
stuurbaarheid	goed, via verbetering van de bodemstructuur
meetfrequentie in de tijd	na zaaien of planten van gewassen op 'bezakte' grond.
meetfrequentie ruimtelijk	3 tot 5 ringmonsters van 100 cm <sup>3</sup> per herhaling
methodiek bemonstering	geen informatie
methodiek analyse	PRI (B. Vermeulen). Grond in ringmonsters wordt eerst veldcapaciteit gebracht (pF2), waarna het <u>vochtvasthoudend vermogen</u> (gewichtspercentage water op basis van droge grond = indicator 17) en de volumeverdeling van de fasen grond, water en lucht wordt

	<p>bepaald. Hiertoe worden de monsterringen (met bekend gewicht) na de bemonstering gewogen en op een zogenaamde "pF bak" geplaatst, waarbij de monsters na 48 uur op veldcapaciteit (pF2) zijn. De monsters worden dan weer gewogen, dan 48 uur gedroogd bij 105 graden Celsius en opnieuw gewogen.</p> <p>opmerkingen deze methode is alleen geschikt voor niet verstoorde homogene bodems.</p>
<b>nummer</b>	<b>17</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Waterhoudend vermogen</b>
Doel	Bepaling van de hoeveelheid water die de bodem kan vasthouden wanneer deze op veldcapaciteit (pF2) is.
meeteenheid	percentage
Streefwaarde	onbekend
stuurbaarheid	Goed, via verbetering van de bodemstructuur (vergroting van het poriënvolume)
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	geen informatie
methodiek analyse	Alterra, PRI
opmerkingen	deze indicator wordt (bij PRI) ook bepaald bij het indicator 16
<b>nummer</b>	<b>18</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Poriënvolume (grond – water – lucht verhouding)</b>
doel	Bepaling van het volume aan poriën in de grond (potentieel beschikbare ruimte voor lucht en water).
meeteenheid	percentages
Streefwaarde	meer dan 10 % lucht volume, meer dan 40 % totaal poriënvolume.
Stuurbaarheid	goed, via verbetering bodemstructuur (verhoging poriënvolume)
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	geen informatie
methodiek analyse	PRI
opmerkingen	Deze indicator is een <u>afgeleide van de indicatoren 16 en 24</u> . Bij het berekenen van de faseverdelingen uit weging (indicator 16) is de massa van water en vaste bodemdelen nodig. Voor water wordt de waarde van 1000 kg per m <sup>3</sup> ( 1 gram per cm <sup>3</sup> ) aangenomen. De soortelijke massa van vaste delen wordt geschat uit het gewichtspercentage organische stof, de soortelijke massa van minerale delen (2650 kg per m <sup>3</sup> ) en de soortelijke massa van organische stof (1450 kg per m <sup>3</sup> ).
<b>nummer</b>	<b>19</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Hot water carbon (HWC)</b>
doel	Bepaling hoeveelheid gemakkelijk afbreekbare organische stof
meeteenheid	mg C per kg (droge) grond
Streefwaarde	geen
Stuurbaarheid	redelijk, via organische bemesting (organische stof beheer)
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	geen informatie
methodiek analyse	ALTERRA – Dierecologie (Jaap Bloem)
opmerkingen	wordt vaak als goede maat voor bodemvruchtbaarheid gezien
<b>nummer</b>	<b>20</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Particulate Organic Matter (POM)</b>
doel	Bepaling van de fractiegrootte verdeling van de organische-stofdeeltjes. Zegt iets over de mate waarin de organische stof in de bodem is verteerd en over welk deel daarvan nog actief is (voedselbron is voor het bodemleven). Wordt ook gezien als indicator voor het mineralisatieniveau van de grond.
meeteenheid	g per 100 g organische stof c.q. gewichtspercentage van de organische stof
Streefwaarde	onbekend

Stuurbaarheid	enigszins via organische bemesting (organische stof beheer)
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	40 of meer steken (zigzag genomen) = overeenkomstig bemonsteringsvoorschriften grondmonsters in "Handboek Bodem en Bemesting"
methodiek analyse	Louis Bolk Instituut
opmerkingen	de fractie van de organische stof met een deeltjesgrootte tussen 53-2000 µm (de actieve fractie)
<b>nummer</b>	<b>21</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Profiel beoordeling</b>
doel	Beoordeling van de structuur. Aanwezigheid storende lagen, bodemleven en mate van beworteling.
meeteenheid	beschrijving
Streefwaarde	niet in algemene zin, wordt gebruikt om bodems met elkaar te vergelijken.
stuurbaarheid	groot
meetfrequentie in de tijd	eenmalig
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	geen informatie
methodiek analyse	PPO m.b.v. "visual soil assessment" (bodemkaart)
opmerkingen	De beoordelingsmethodiek is beschreven op bladzijde 36 van "Visuele bodembeoordeling", een stageverslag van Y. Schrik, 901205001, Van Hall Larenstein.
<b>nummer</b>	<b>22</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Schadelijke bodeminsecten</b>
doel	vaststellen of en zo ja welke voor planten schadelijke insecten aanwezig zijn en in welke mate dit het geval is (besmettingsniveau).
meeteenheid	aantal per m <sup>2</sup>
Streefwaarde	is zeer insect-, soort- en teeltafhankelijk. Een globale inschatting is dat economische schade niet of zeer beperkt voorkomt tot ca. 10 individuen per m <sup>2</sup> voor gewassen waarbij schade op het te oogsten product is te verwachten (aardappelen) of zaailingen in een ruim plantverband (suikerbieten). Voor graan of gras ligt deze grens op vele tientallen tot zelfs honderden individuen per m <sup>2</sup> .
stuurbaarheid	Insect-, soort- en teeltafhankelijk. Beperkt tot geheel stuurbaar. Robuuste volgorde in afnemende stuurbaarheid: engerlingen, emelten, ritnaalden.
meetfrequentie in de tijd	Jaarlijks
meetfrequentie ruimtelijk	Divers
methodiek bemonstering	divers: PPO-protocollen of proefomschrijvingen voor emelten grasland (zoutwater extractie), ritnaalden (lokken met knollen), engerlingen (grondboor), slakken (slakkenmatjes)
methodiek analyse	PPO
opmerkingen	Zeer afhankelijk van de soorten. De dichtheden kunnen sterk variëren. Praktisch knelpunt is arbeid. Mogelijkheid nagaan om het nemen van grondmonsters te combineren met nummers 23 en 30, vanwege de arbeidsintensiteit en de kosten van monitoring. Voorstel: cilindervormige bemonstering met diameter van 25 cm en 20 cm diep. Nagaan wat voor monsteromvang nodig is om voor alle (relevante) soorten tot een betrouwbare uitspraak te komen. Relevante bodeminsectenplagen: ritnaalden, engerlingen, emelten, aardruisen, slakken, poppen en larven van insecten. Monsternamen indien mogelijk mechaniseren.
<b>nummer</b>	<b>23</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Nuttige bodeminsecten</b>
doel	bepaling welke nuttige bodeminsecten aanwezig zijn en zo ja in welke mate.
meeteenheid	aantal per m <sup>2</sup>
Streefwaarde	Een streefwaarde is niet bekend en is afhankelijk van bodemsoort, bodemkenmerken, habitat e.d. Een bureaustudie wordt aanbevolen om na te gaan of een generieke streefwaarde kan worden bepaald, kwantificering van het voordeel van een nuttig insect en in hoeverre een generieke streefwaarde een nuttige waarde is voor de landbouw.

	<p>Loopkevers worden als nuttig beschouwd. Maar tussen de soorten zijn de verschillen groot als het gaat om luizenvraat. <i>Agonum dorsale</i> is bijvoorbeeld één van de meest effectieve luizeneters.</p>
stuurbaarheid	bepert tot geheel stuurbaar. Beter stuurbaar door aandacht voor akkerranden. Mogelijk zijn akkerranden en belendende habitatskenmerken zelfs bepalend voor een goede stuurbaarheid.
meetfrequentie in de tijd	divers
meetfrequentie ruimtelijk	divers
methodiek bemonstering	pitvallen
methodiek analyse	PPO
opmerkingen	Hoge afhankelijkheid van soorten, dichtheden kunnen sterk variëren. Praktisch knelpunt is arbeid. Mogelijkheid nagaan om het nemen van grondmonsters te combineren met nummers 22 en 30, dit vanwege de arbeidsintensiteit en daarmee de kostenomvang van monitoring. Voorstel: cilindervormige bemonstering met diameter van 25 cm en 20 cm diep. Het gat gebruiken voor pitvalmonitoring. Nagaan wat voor monsteromvang nodig is om voor alle (relevante) soorten tot een betrouwbare uitspraak te komen. Focus op loopkevers, maar monsters gebruiken om alle andere nuttige bodeminsecten (eventueel > 2 mm i.v.m. arbeid) in het onderzoek mee te nemen.
<b>nummer</b>	<b>24</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Dichtheid (bulk dichtheid)</b>
doel	bepaling van de dichtheid van de bodem
meeteenheid	gram per cm <sup>3</sup>
Streefwaarde	<u>Referentiewaarden</u> (in gram per cm <sup>3</sup> ) Leen- en kleibodems: 1.1 – 1.6 Zandige bodems: 1.3 – 1.7 Compacte lagen: 1.7 – 2.0 <u>Minimumwaarden</u> (in gram/cm <sup>3</sup> ): Zandbodem: 1.4 Kleibodem: 1.1 <u>Grenswaarden</u> (in gram per cm <sup>3</sup> , geldend voor bodems met minder dan 4 % organische stof, waarboven de wortelgroei belemmerd wordt): zandbodems: 1.6 kleibodems: 1.5
stuurbaarheid	Vrij groot, via aandeel poriënvolume, OS-gehalte en bodemdruk van machines.
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	5 ringen naast elkaar, per teeltbed minimaal 1 set per herhaling
methodiek bemonstering	bemonstering per bodemlaag van 5 cm
methodiek analyse	PRI
opmerkingen	PPO protocol 29.3 (ringmethode van 100 m <sup>3</sup> , bepaling stoof-drooggewicht)
<b>nummer</b>	<b>25</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Indringingsweerstand</b>
doel	bepaling van mate van drukweerstand van de bodem bij een bepaald vochtgehalte
meeteenheid	Mega Pascal per cm <sup>2</sup>
streefwaarde	Boven 2,5 – 3 MPa (25-30 bar) belemmering wortelgroei. Soms kunnen wormgangen dienen als wortelgang aan er pas boven 4-5 MPa remming van wortelgroei optreden.
stuurbaarheid	Groot. Verdichting van de bodem vermijden of mechanisch opheffen.
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie of jaarlijks, maar liefst in het (vroeg) voorjaar als de bodem op veldcapaciteit is.
meetfrequentie ruimtelijk	10 bepalingen per herhaling
methodiek bemonstering	Via de Eijkelkamp penetro-logger. Hiervan is een uitgebreide werkwijzer beschikbaar in de vorm van "Operating Instructions penetro-logger". Dit is beschikbaar als PDF bestand.
methodiek analyse	PRI
opmerkingen	is (mede) afhankelijk van de vochttoestand van de grond, dus vochtgehalte van de bodem bepalen (indicator 44). Op niet geploegde grond is de indringingsweerstand vaak hoger



dan op geploegde grond. Bij een hoge indringingsweerstand komen er ook minder regenwormen voor.

<b>nummer</b>	<b>26</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Bacteriële biomassa</b>
doel	bepaling van de biomassa aan bacteriën
meeteenheid	ugram C per gram (droge) grond
streefwaarde	onbekend
stuurbaarheid	onbekend
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	geen informatie
methodiek analyse	Alterra, BLGG (bepaling uit metingen van aantallen en afmetingen van bacteriecellen en omrekening tot hoeveelheid koolstof).
opmerkingen	bij BLGG als onderdeel van het pakket "soil food web"
<b>nummer</b>	<b>27</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Schimmel biomassa</b>
doel	Bepaling van de biomassa aan schimmels
meeteenheid	ugram C per gram (droge) grond
streefwaarde	Onbekend
stuurbaarheid	Onbekend
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	geen informatie
methodiek analyse	Alterra, BLGG (bepaling hoeveelheid schimmeldraden door lengte metingen onder de microscoop en omrekening naar hoeveelheid koolstof).
opmerkingen	bij BLGG als onderdeel van het pakket "soil food web"
<b>nummer</b>	<b>28</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Niet-plant parasitaire aaltjes</b>
doel	bepaling welke niet schadelijke aaltjes in welke mate in de bodem aanwezig zijn
meeteenheid	divers, meestal aantal per 100 ml grond
streefwaarde	niet bekend (nog in ontwikkeling)
stuurbaarheid	niet bekend (nog in ontwikkeling)
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	niet bekend
methodiek bemonstering	niet bekend
methodiek analyse	analyse door BLGG
opmerkingen	wordt steeds meer moleculair bepaald.
<b>nummer</b>	<b>29</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Magnesium beschikbaar</b>
doel	Indicator voor de hoeveelheid magnesium in de bodem die snel voor de plant beschikbaar is.
meeteenheid	mg Mg/kg
streefwaarde	BLGG hanteert eigen streefwaarden
stuurbaarheid	goed via magnesiumbemesting
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	overeenkomstig bemonsteringsvoorschriften grondmonsters in "Handboek Bodem en Bemesting"
methodiek analyse	BLGG, CBCL, ALTIC
opmerkingen	volgens de CaCl <sub>2</sub> -methode

<b>nummer</b>	<b>30</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Regenwormen</b>
doel	bepaling hoeveelheid regenwormen
meeteenheid	aantal en kg per m <sup>2</sup>
streefwaarde	Voorzichtige inschatting is een diverse populatie met minimaal 500 individuen per m <sup>2</sup> . Kan afhankelijk zijn van het doel: bv. versnellen van het omzetten van plantmateriaal in organische stof of het beïnvloeden van het watervasthoudend vermogen.
stuurbaarheid	Beperkt tot geheel stuurbaar, grasland kan bijvoorbeeld een 10-voud aan regenwormen bevatten dan een akkerbouwperceel. De vraag is welk type regenworm gewenst is. In Nederland zijn de ca. 25 voorkomende soorten in ruwweg drie ecologische typen te onderscheiden.
meetfrequentie in de tijd	jaarlijks
meetfrequentie ruimtelijk	divers
methodiek bemonstering	Divers: PPO-protocollen / proefomschrijvingen voor grondeters, strooiselbewoners en pendelaars.
methodiek analyse	PPO/Alterra/Louis Bolk Instituut
opmerkingen	Hoge afhankelijkheid van soorten, dichtheden kunnen sterk variëren. Praktisch knelpunt is arbeid. Mogelijkheid nagaan om het nemen van grondmonsters te combineren met nummers 22 en 23, dit vanwege de arbeidsintensiteit en daarmee de kostenomvang van monitoring. Na monsternamen, gat benutten voor extractie pendelaars. Voorstel: cilindervormige bemonstering. Nagaan of een monsteromvang kan worden geformuleerd om voor (relevante) bodeminsecten en regenwormen tot een betrouwbare uitspraak te komen. Ook cocons vaststellen.
<b>nummer</b>	<b>31</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Potentiele C mineralisatie</b>
doel	indicator voor de afbraaksnelheid van de organische stof in de bodem
meeteenheid	g C per kg grond
streefwaarde	Geen
stuurbaarheid	Gering. Bij langjarige verhoogde of verlaagde aanvoer van verse organische stof zal de gemiddelde afbraaksnelheid van de organische stof in de bodem iets veranderen. Minimale grondbewerking verlaagt de afbraaksnelheid. Echter, dit zal men niet terugvinden in de potentiële C-mineralisatie, tenzij een ongestoord grondmonster in het lab zou kunnen worden ingezet (maar nochtans is het verstoord c.q. "zeer intensief bewerkt")
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	overeenkomstig bemonsteringsvoorschriften grondmonsters in "Handboek Bodem en Bemesting"
methodiek analyse	CBLB
opmerkingen	Periodieke meting van de CO <sub>2</sub> -respiratie (bijvoorbeeld om de 2 weken) gedurende een langere periode (3-6 maanden) bij een constante temperatuur van 20 °C. Hieruit kan de afbraaksnelheid worden berekend onder lab-omstandigheden. Voor vertaling naar veldomstandigheden is een correctie nodig.
<b>nummer</b>	<b>32</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Potentiele N mineralisatie</b>
doel	Indicator voor het stikstof mineralisatieniveau van de grond.
meeteenheid	mg N per kg grond
streefwaarde	Geen
stuurbaarheid	Enigszins via organische bemesting.
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	overeenkomstig bemonsteringsvoorschriften grondmonsters in "Handboek Bodem en Bemesting"
methodiek analyse	CBLB
opmerkingen	Periodieke meting van N <sub>min</sub> gedurende ca. 3 maanden (bijvoorbeeld bij 0, 3, 6 en 12 weken na inzet) in veldvochtige grond bij een constante temperatuur van 20 °C. Hieruit kan

de mineralisatiesnelheid worden berekend. Voor omrekening naar kg N per ha moet het volumegewicht van de grond bekend zijn. Verder moet een vertaalslag worden gemaakt van lab- naar veldomstandigheden.

<b>nummer</b>	<b>33</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Aggregaat grootte (verdeling)</b>
doel	bepaling grootte van de geaggregeerde bodemdeeltjes
meeteenheid	mm
streefwaarde	geen. Teveel fijne aggregaten kan een indicatie zijn voor meer slempgevoeligheid.
stuurbaarheid	via algehele bodemstructuur, hoeveelheid organische stof en percentage koolzure kalk
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	een monster per veldje (plot)
methodiek bemonstering	geen informatie
methodiek analyse	PPO protocol: 29.2
opmerkingen	gaat gemakkelijker bij een ruggenteelt want voor het bepalen van de vorm van de rug en de hoeveelheid losse grond, wordt er al grond verzameld, die vervolgens ook gebruikt kan worden voor bepaling van deze indicator.
<b>nummer</b>	<b>34</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Aggregaat stabiliteit</b>
doel	bepaling van de stabiliteit van de geaggregeerde bodemdeeltjes
meeteenheid	indexcijfer (gewicht/gewicht)
streefwaarde	niet bekend
stuurbaarheid	via organische stof gehalte en grondbewerking.
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	gebruikmakend van monster voor aggregaat grootte verdeling (indicator 33)
methodiek analyse	Eijkelkamp "wet sieving method"
opmerkingen	De methodiek van Eijkelkamp is beschreven in "Operating instructions: 08.13 wet sieving operatus" en is als PDF bestand beschikbaar.
<b>nummer</b>	<b>35</b>
<b>naam indicator</b>	<b>N min</b>
doel	Bepaling hoeveelheid minerale stikstof (nitraat en ammonium)
meeteenheid	kg N per ha
Streefwaarde	geen
stuurbaarheid	hoog, via stikstof bemesting.
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per seizoen
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	overeenkomstig bemonsteringsvoorschriften grondmonsters in "Handboek Bodem en Bemesting"
methodiek analyse	Volumeverhouding (in verse grond): BLGG (als praktijkmonster) en ALTIC. Gewichtsverhouding (in droge grond): BLGG (als onderzoekmonster) en CBLB
opmerkingen	Bepaling nitraat en ammonium. Er zijn twee bepalingmethoden: meting van de volumeverhouding en gewichtsmeting. Volumemeting wordt het meest toegepast in praktijk (BLGG, praktijkmonster) en is het snelste. Gewichtsmeting (gehalte per kg grond) is analytisch nauwkeuriger, maar voor omrekening naar kg N per ha moet het volumegewicht van de grond bekend zijn. De beide methoden leveren geen identieke uitkomst op.
<b>nummer</b>	<b>36</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Slempgevoeligheid</b>
doel	bepaling of en in welke mate verslemping kan optreden
meeteenheid	-
streefwaarde	geen
stuurbaarheid	via organische stof gehalte, grondbewerking en (mate van) bodembedekking.
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	Onbekend

methodiek bemonstering	visuele beoordeling
methodiek analyse	geen
opmerkingen	indicator 34 (aggregaat stabiliteit) is een goede indicator van deze indicator.
<b>nummer</b>	<b>37</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN)</b>
doel	bepaling hoeveelheid gemakkelijk afbreekbare organische stof als indicator voor het mineralisatieniveau van de grond
meeteenheid	mg N per kg grond
streefwaarde	geen
stuurbaarheid	enigszins via organische bemesting
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	geen informatie
methodiek analyse	ALTERRA
opmerkingen	Meting van de hoeveelheid minerale stikstof in grond die vrijkomt door anaerobe afbraak van organische stof gedurende 1 week onder water bij 40 °C. Het is een maat voor de gemakkelijk afbreekbare (labiele) organische stikstof.
<b>nummer</b>	<b>38</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Trekracht meting</b>
doel	meting mate van bodemverdichting
meeteenheid	geen informatie
streefwaarde	geen
stuurbaarheid	indirect, via beïnvloeding van de algemene bodemstructuur
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	geen methodiek
methodiek analyse	geen informatie
opmerkingen	nog in experimentele fase
<b>nummer</b>	<b>39</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Pw (P water)</b>
doel	Indicator voor de fosfaattoestand van de bodem, specifiek de hoeveelheid fosfaat die gemakkelijk/snel voor de plant beschikbaar is. Met Pw wordt een grotere fractie gemeten dan met P-CaCl <sub>2</sub> .
meeteenheid	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per liter grond
streefwaarde	grondsoortafhankelijk. De streefwaarden staan in het "Handboek bodem en Bemesting".
stuurbaarheid	redelijk. De Pw is te verhogen door veel fosfaat te strooien. Echter, vanwege de fosfaatgebruiksnormen is het alleen in geval van een landbouwkundig te lage fosfaattoestand toegestaan extra fosfaat te strooien om de toestand te verhogen. Verlagen van de fosfaattoestand is alleen mogelijk door minder fosfaat toe te dienen dan er met de gewassen wordt afgevoerd. De Pw daalt echter langzaam. Het duurt tientallen jaren voordat een zeer hoge fosfaattoestand is afgebouwd naar landbouwkundig streefniveau. Behalve Pw worden ook de andere fosfaatpools in de bodem verhoogd of verlaagd.
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	overeenkomstig bemonsteringsvoorschriften grondmonsters in "Handboek Bodem en Bemesting"
methodiek analyse	- <u>klassieke chemische analyse</u> : BLGG (als onderzoekmonster) en CBLB - <u>chemische analyse</u> , eigen methode: ALTIC - <u>berekend</u> uit P-CaCl <sub>2</sub> en P-AL: BLGG (als praktijkmonster)
opmerkingen	P-AL en P-beschikbaar zijn belangrijker; Pw zal op termijn in praktijk verdwijnen
<b>nummer</b>	<b>40</b>
<b>naam indicator</b>	<b>S totaal (zwavel totaal)</b>
doel	bepaling van de totale hoeveelheid zwavel

meeteenheid	mg S per kg grond
streefwaarde	geen
stuurbaarheid	goed, via bemesting met zwavelhoudende meststoffen.
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	overeenkomstig bemonsteringsvoorschriften grondmonsters in "Handboek Bodem en Bemesting"
methodiek analyse	<u>Meting via chemische analyse:</u> - BLGG, als onderzoekmonster - CBLB - ALTIC (eigen methode) <u>M.b.v. NIRS:</u> BLGG, bij insturen als praktijkmonster
opmerkingen	
<b>nummer</b>	<b>41</b>
<b>naam indicator</b>	<b>K totaal</b>
doel	bepaling van totale hoeveelheid kalium
meeteenheid	mg K per kg /
streefwaarde	geen
stuurbaarheid	goed, via kali bemesting.
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	overeenkomstig bemonsteringsvoorschriften grondmonsters in "Handboek Bodem en Bemesting"
methodiek analyse	geen informatie
opmerkingen	Er zijn verschillende "kali metingen": <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>K<sub>min</sub></u>: de hoeveelheid kalium die is opgelost in het bodemvocht</li> <li>• <u>K<sub>beschikbaar</sub></u>: via de methode van CaCl<sub>2</sub> (indicator 7)</li> <li>• <u>K<sub>bodemvoorraad</sub></u> = K - CEC</li> <li>• <u>K<sub>HCl</sub></u> : deel van de totale bodemvoorraad</li> <li>• <u>K<sub>totaal</sub></u> : (werkelijk) totale bodemvoorraad (beschikbaar bij CBLB).</li> </ul> Om de hoeveelheid te berekenen moet het gemeten gehalte worden vermenigvuldigd met het gewicht van de bemonsterde laag (droge grond).
<b>nummer</b>	<b>42</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Sporenelementen</b>
doel	indicatoren voor de beschikbaarheid voor de plant van de verschillende sporenelementen (gemakkelijk beschikbaar)
meeteenheid	mg per kg of µg per kg
Streefwaarde(n)	BLGG hanteert eigen streefwaarden per type element
Stuurbaarheid	goed, via bemesting. In veel gevallen vindt echter een bladbemesting plaats (indien nodig) en geen bodembemesting.
meetfrequentie in de tijd	eenmaal per rotatie
meetfrequentie ruimtelijk	geen informatie
methodiek bemonstering	overeenkomstig bemonsteringsvoorschriften grondmonsters in "Handboek Bodem en Bemesting"
methodiek analyse	BLGG (CaCl <sub>2</sub> methode), ALTIC, CBLB
opmerkingen	-
<b>nummer</b>	<b>43</b>
<b>naam indicator</b>	<b>Bodemtemperatuur</b>
doel	bepaling bodemtemperatuur
meeteenheid	graden Celsius
Streefwaarde(n)	geen
Stuurbaarheid	gering, in enige mate via grondbewerking
meetfrequentie in de tijd	meerdere malen per seizoen (meerdere malen per dag, dagelijks, wekelijks)
meetfrequentie ruimtelijk	in meerdere bodemlagen (0-10 cm, 10 – 20 cm etc.)
methodiek bemonstering	sensoren, dataloggers
methodiek analyse	-

---

opmerkingen De bodemtemperatuur in het voorjaar geeft een indruk van de 'vroegheid' van de grond en daarmee van het potentiële aantal groeidagen.

**nummer** **44**  
**naam indicator** **Vochtgehalte bodem**  
doel Bepaling vochtgehalte (hoeveelheid water). Geeft goede indruk van geschiktheid voor  
grondbewerking in het voorjaar.  
meeteenheid percentage  
streefwaarde(n) Onbekend  
stuurbaarheid via poriënvolume en poriënverdeling en via het organische stof gehalte.  
meetfrequentie in de tijd eenmaal per rotatie, vaak in het voorjaar (als indicator van bewerkbaarheid)  
meetfrequentie ruimtelijk geen informatie  
methodiek bemonstering geen informatie  
methodiek analyse PPO protocol 21.26  
opmerkingen Bepaling via weging (massa water, massa droge grond), onder de aanname dat 1 cm<sup>3</sup>  
water 1 gram weegt.

**nummer** **45**  
**naam indicator** **P totaal**  
Doel Bepaling totale hoeveelheid fosfaat  
meeteenheid mg P per kg  
streefwaarde(n) geen  
stuurbaarheid beperkt (zie beschrijving bij P-AL, nummer 6)  
meetfrequentie in de tijd eenmalig  
meetfrequentie ruimtelijk geen informatie  
methodiek bemonstering overeenkomstig bemonsteringsvoorschriften grondmonsters in "Handboek Bodem en  
Bemesting"  
methodiek analyse CBLB  
opmerkingen om de hoeveelheid te berekenen, moet het gemeten gehalte worden vermenigvuldigd met  
het gewicht van de bemonsterde laag (droge grond).







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



Correspondentie adres voor dit rapport:  
Wageningen University & Research | Open  
Teelten  
Edelhertweg 1  
Postbus 430  
8200 AK Lelystad  
T (+31)320 29 11 11  
**[www.wur.nl/openteelten](http://www.wur.nl/openteelten)**

Rapport WPR-821

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, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein.

De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

