

De Open Bodemindex (OBI)

Gerard H Ros (NMI)

1. Samenvatting

Rabobank, a.s.r. en Vitens vormen een bodemcoalitie en hebben zich als doel gesteld om in 2019 een open bodemindex te laten ontwikkelen. Een bodemindex is een getal dat de kwaliteit van de bodem weergeeft. Met de OBI, ontwikkeld door een consortium van kennisinstellingen en bedrijven, is het mogelijk om een positieve bijdrage te leveren aan de ontwikkeling van gezonde landbouwbedrijven, behoud van de waarde van landbouwgrond en een betaalbare grondwaterwinning. Via de OBI willen we de kennis over en het inzicht in de bodemkwaliteit vergroten en het monitoren van de kwaliteit vereenvoudigen. Concreet gaat het om een index die op een eenvoudige en betaalbare manier vertelt hoe de bodemkwaliteit nu is en hoe deze kan worden verbeterd. De kwaliteit van de bodem is zo door de tijd te volgen en ook is te vergelijken met andere percelen. Uiteindelijk is verduurzaming van de bodem het doel, met als resultaat dat agrarisch ondernemers en de drinkwatervoorziening daarvan profiteren.

De OBI is een getal dat de kwaliteit van de bodem weergeeft. De index is gecorrigeerd voor bodemsoort en het gebruiksdoel van de bodem. De index geeft een indicatie voor de verbetering van de bodemkwaliteit die nog mogelijk is. Op basis van metingen en beheersmaatregelen komen de biologische, fysische en chemische indicatoren in beeld. Per indicator worden beheersmaatregelen geadviseerd om (indien nodig) de score te verbeteren.

De OBI wordt ontwikkeld in nauwe samenwerking met boeren, bodemexperts en wetenschappelijke onderzoekers. Via (online) overleg met het ontwikkelteam kan iedereen een bijdrage leveren aan verbetering en praktijktoetsing van de OBI. De OBI onderscheidt zich door het open karakter: iedereen krijgt inzicht in de rekenregels en kan bijdragen. Hoe meer boeren mee doen, hoe meer waarde deze tool krijgt. Deze bodemindex wordt daarmee een breed geaccepteerd scoringsinstrumentarium.

Het voorliggende document beschrijft de achtergronden achter dit bodemwaarderingsinstrument als ook de mogelijkheden voor bodemexperts om aan deze ontwikkeling bij te dragen.

2. Achtergrond

De bodem is de basis van een agrarisch bedrijf en de motor van een gezonde en productieve landbouw. Daarom is een goede en levende bodem erg belangrijk. Zeker ook om het boerenbedrijf voor toekomstige generaties in stand te houden. Dit betekent dus ook dat boeren goed willen zorgen voor hun bodem. Om dat te doen is het belangrijk om de bodem te kennen. In de praktijk nemen boeren dan ook regelmatig een bodemonster dat informatie geeft over de vitaliteit van de bodem: zijn er voldoende nutriënten beschikbaar, kan het gewas er makkelijk wortelen en is er voldoende bodemleven?

Een eenvoudig meetinstrument dat de kwaliteit van de bodem in een oogopslag weergeeft, is er tot op de dag van vandaag niet (Bunemann et al., 2016). Daarnaast weten we allemaal dat de bodem erg complex is. De bodem bepaalt hoeveel voedingsstoffen er beschikbaar zijn voor gewassen en of een plant ook gezond kan groeien. Allerlei bodemdierpjes en chemische processen in de bodem zorgen

er voor dat dat mogelijk is. Hoe krijg je als boer nu op een eenduidige en eenvoudige manier inzicht in de bodemkwaliteit? Hoe zorg je ervoor dat de bodem ook voor toekomstige generaties gezond blijft?

Meetinstrumenten kunnen daarbij helpen. Er bestaan anno 2019 al veel meetinstrumenten voor de bodem (Bunemann et al., 2016; Molendijk et al., 2018) maar er is tot op heden geen praktische en overzichtelijke manier om de bodemkwaliteit te vergelijken tussen percelen of te volgen in de tijd. Ook is vaak onduidelijk op welke manier de bodemkwaliteit nog verder te verbeteren is. Is de huidige bodemkwaliteit al op orde of zijn er nog onderdelen die verbeterd moeten worden?

De Open Bodemindex (OBI) wil daarbij helpen. Deze index geeft eenvoudig en betaalbaar inzicht in de bodemkwaliteit van agrarische bodems in Nederland. Als de kwaliteit ergens tekort schiet worden aanbevelingen gegeven voor maatregelen die de bodem weer in top-toestand kunnen brengen. De OBI wordt in 2019 ontwikkeld in samenwerking met alle bodemexperts in Nederland. Omdat een bodemindex alleen nut heeft als deze zinvolle informatie geeft voor boeren en zij het gaan gebruiken om de bodem van hun bedrijf te verbeteren dan wel goed te houden, werken ook boeren mee aan de ontwikkeling ervan.

De Open Bodemindex is geïnitieerd door de Bodemcoalitie. De Bodemcoalitie bestaat uit ASR, Vitens en Rabobank. Een team met bodemexperts van WUR en NMI trekken samen met Farmhack de ontwikkeling van deze index. Het is daarbij de bedoeling om alle relevante aspecten van de bodem mee te nemen. Dus niet alleen de nutriënten, maar ook het bodemleven en de bodemstructuur. Ook wordt rekening gehouden met de locatie van het perceel met bijbehorende landschappelijke kenmerken. Dit omdat de kwaliteit van de bodem niet alleen afhangt van de eigenschappen van de eerste tien tot dertig centimeter (deze diepte wordt in de praktijk bemonsterd door agrarische laboratoria) maar ook van de ondergrond en de beschikbaarheid van water.

De Open Bodemindex blijft in ontwikkeling. Het is namelijk een open source traject waarbij experts continue kunnen bijdragen aan verdere aanpassing. Een eerste versie komt eind 2019 online beschikbaar, evenals alle onderliggende rekenregels. In de jaren na 2019 wordt deze verder aangepast en verbeterd. Iedereen die zinvolle verbeteringen heeft, kan deze doorsturen naar de ontwikkelaars van de OBI, waarna deze worden toegevoegd. De OBI maakt gebruik van de volgende gegevens:

- meetbare bodemkenmerken (bv laboratorium uitslagen van grondmonsters)
- locatiekenmerken (bv de grondwatertrap, bodemtype, aanwezigheid van drainage, etc.) én
- uitgevoerde beheersmaatregelen (het management van de bodem zoals bouwplan, gewaskeuze en bewerkingen als ploegen, spitten, bekalken, etc.)

De rekenregels om tot een waardering van de bodemkwaliteit te komen, zijn afkomstig uit fundamenteel onderzoek naar de bodemkwaliteit als ook het praktijkonderzoek. Dat betekent dat de Open Bodem Index voortbouwt op de kennis zoals deze ontwikkeld wordt aan universiteiten als ook de kennis die adviseurs gebruiken voor het maken van bemestingsplannen. De gebruikte rekenregels zijn openbaar.

De Open Bodem Index wordt in 2020 eigendom van een nog op te richten onafhankelijke entiteit (mogelijk een stichting). Hierdoor komen de gegevens niet in handen van marktpartijen die de informatie kunnen gebruiken voor doelen die in strijd zijn met de handhaving van de bodemkwaliteit voor de landbouw.

3. Definities en Randvoorwaarden

Binnen het werkveld van bodemwaardering worden allerlei begrippen en definities door elkaar heen gebruikt. Een heldere definitie van begrippen is daarom belangrijk. Binnen de ontwikkeling van de OBI maken we gebruik van de volgende definities:

- **Bodemkwaliteit** : de capaciteit van een bodem om onder wisselende omstandigheden de gewenste bodemfuncties in voldoende mate beschikbaar te hebben voor een combinatie van doelen (en diensten) zoals voedselproductie, efficiënte kringloop van voedingsstoffen en behoud van biodiversiteit.
- **Bodemdiensten** : de verschillende ecosysteemdiensten die de bodem kan leveren. Dit zijn onder andere de primaire (landbouwkundige) productie van gewassen, koolstofvastlegging, water-zuivering en retentie van nutriënten in de bodem, biodiversiteit en het in stand houden van de kringlopen van nutriënten.
- **Bodemfuncties** : de rol van de bodem in het vervullen van bepaalde doelstellingen en bodem-diensten. Onderscheid wordt gemaakt in verschillende type bodemfuncties: productie-, draag-, regulatie- en informatiefunctie. Zo zijn nutriëntenlevering, bodemstructuur en bodemgezondheid belangrijke bodemfuncties voor het realiseren van de ecosysteemdienst 'primaire productie'.
- **Bodemindicatoren** : een instrument of index waarmee de bijdrage dan wel relevantie van een bodemfunctie wordt beoordeeld. Dit gebeurt in de praktijk via waarderingsklassen (laag tot hoog) ofwel cijfers (1-10). Dit betekent ook dat (binnen de context van de OBI) een bodemmeting op zichzelf geen indicator is. Een bodemanalyse kan wel input zijn voor het berekenen van een bodemfunctie, en deze bodemfunctie kan vervolgens gebruikt worden als een indicator.
- **Bodemeigenschap** : een kenmerk van een bodem dat indicatief kan zijn voor één of meerdere bodemfuncties. Deze eigenschappen kunnen zijn geanalyseerd in het laboratorium als ook samenhangen met kenmerken die voortkomen uit de ligging van het perceel in het landschap. Denk bijvoorbeeld aan de grondwatertrap, de variatie in maaiveldhoogte, de helling, en de aanwezigheid van drainage.
- **Bodembeheer** : maatregelen die de landgebruiker kan nemen om de bodemkwaliteit te verbeteren dan wel aan te passen voor een specifiek doel. Hiermee wordt directe invloed uitgeoefend op (meetbare) bodemeigenschappen. Een duurzaam bodembeheer kan worden gedefinieerd als het gebruik van de bodem voor de productie van goederen om aan veranderende menselijke behoeften te voldoen, terwijl tegelijkertijd het lange termijn productieve potentieel van deze hulpbron en het onderhoud van haar milieufuncties wordt gewaarborgd.

De Open Bodemindex wordt ontwikkeld op een **open manier** (zie sectie 4) zodat iedereen kan zien hoe kennis van de praktijk, mechanistische processen en empirisch veldonderzoek gecombineerd kan worden in een instrument dat eenvoudig en op basis van wetenschappelijke feiten inzicht geeft in allerlei aspecten van bodemkwaliteit. Omdat de OBI modulair is opgebouwd kunnen nieuwe onderzoeksresultaten uit landelijke of internationale onderzoeksprogramma's dan wel praktijkervaringen bij toepassing van de OBI eenvoudig worden ingebed om de OBI verder te verbeteren. De benodigde werkwijze rondom borging en inhoudelijke aansturing voor dit open proces is nog in ontwikkeling. Tegelijkertijd beseffen we ons heel goed dat we met dit initiatief een eerste werkende prototype (als ook een nieuwe werkwijze) naar de markt brengen die in de jaren erna verder zal moeten ontwikkelen met inbreng van gebruikers, maatschappelijke stakeholders en bodemexperts.

De Open Bodemindex definieert welke bodemparameters dan wel analyses nodig zijn om de verschillende bodemfuncties in beeld te brengen. De index staat open voor het gebruik van metingen van elk lab en beperkt zich niet tot een (verplichte) samenwerking met één enkel laboratorium. Wel wordt actief gewerkt aan automatische datakoppelingen met bestaande agrarische laboratoria om zo gegevensoverdracht maximaal te automatiseren.

De Open Bodemindex heeft vooralsnog een sterke focus op **perceelsniveau**. Dat betekent dat ruimtelijke variatie in bodemeigenschappen binnen het perceel nog niet meegenomen worden.

De Open Bodemindex anno 2019 heeft wel een extra randvoorwaarde die sturing geeft aan de gebruikte systematiek. Het uitgangspunt is namelijk dat er maximaal aansluiting wordt gezocht bij **bestaande datastromen en meetmethodieken**. Deze keuze is gemaakt omdat met slim combineren van bestaande bodemanalyses en perceeieigenschappen een groot aantal bodemfuncties al kwantitatief in beeld te brengen is. Ook willen we zorgdragen voor een applicatie (en werkwijze) die weinig aanvullende kosten met zich meebrengt. We beseffen dat we hierdoor mogelijke bodemfuncties (zoals bijvoorbeeld de C-opslag in agrarische bodems) minder nauwkeurig kunnen kwantificeren, en zoeken in dit soort situaties naar alternatieve berekeningsmethoden.

De Open Bodemindex heeft niet de ambitie om ingezet te worden als bemestingsplanner, beregenings-wijzer of als adviesmodule voor een optimaal bouwplan. Het is gericht op het kwantificeren, waarderen en valoriseren van bodemkwaliteit en kan als zodanig wel waardevolle informatie geven voor een duurzamere bemesting en bodembeheer. In 2020 wordt het instrument overgedragen aan een (nog op te starten) onafhankelijke entiteit om zo de kwaliteit als ook de toepassing goed te kunnen waarborgen. De precieze invulling hiervan is op dit moment nog onbekend.

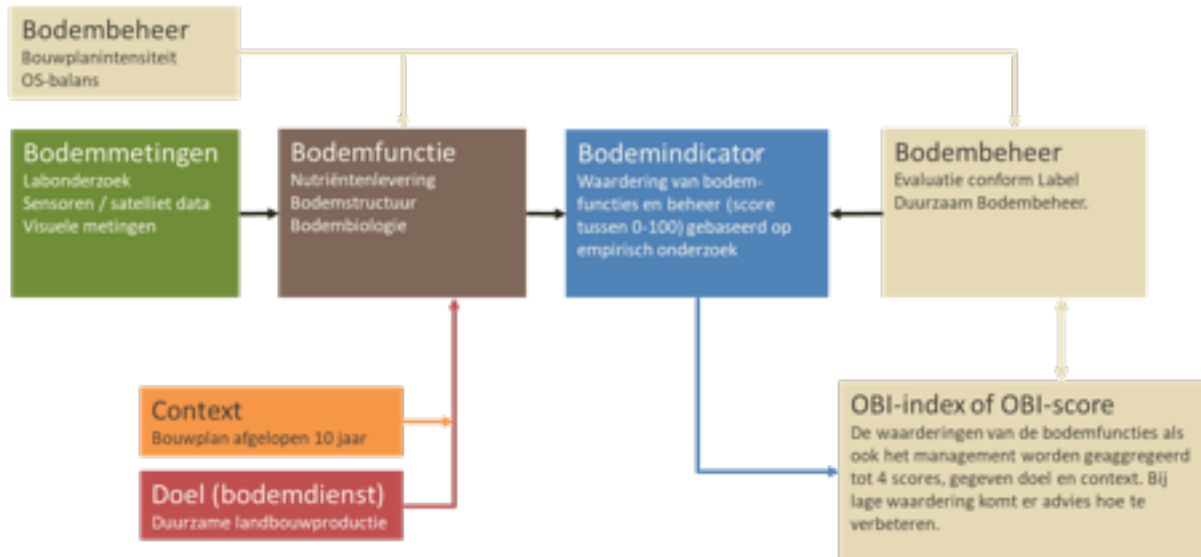
4. Bodemwaardering

Op basis van deze metingen een gewogen evaluatie uitvoeren van de bodemkwaliteit is een uitdaging waar verschillende wetenschappelijke instellingen jaren aan hebben gewerkt. Tot op heden is deze kennis weinig tot niet beschikbaar gekomen voor toepassing op een boerenbedrijf. In een recente review van alle wetenschappelijk beschreven instrumenten stellen Buneman et al. (2018) dat *“explicit evaluation of soil quality with respect to soil threats, soil functions and ecosystem services has rarely been implemented, and few approaches provide clear interpretation schemes of measured indicator values.”* De belangrijkste reden hiervoor is dat de bodem een complex samenspel vormt van chemische, biologische en fysische processen en dat het doel waarvoor je de bodem wilt gebruiken enorm veel invloed heeft op de evaluatie van deze processen. Wel bestaat er brede consensus dat het voor een goede interpretatie van de bodemkwaliteit nodig is om iets te zeggen over zowel bodemchemie en bodemstructuur als bodem-biologie. Organische stof vervult daarbij een sleutelrol omdat het effect heeft op al deze drie aspecten. Dit komt ook tot uiting in de minimale dataset zoals deze is samengesteld door onderzoekers van Wageningen Universiteit en Research Centre (Hanegraaf et al., 2019). De interpretatie van bodemanalyses is overigens een andere uitdaging; een kwaliteitsbeoordeling is per definitie gekoppeld aan één of meerdere doelen waarvoor de desbetreffende bodem kan worden benut.

De ontwikkelde Open BodemIndex is gebaseerd op het Soil Management Assessment Framework (Andrews & Carroll, 2001; Andrews et al. 2002, 2004; Karlen et al. 2001, 2003; Wienhold et al 2004, 2009). Daarbij worden verschillende stappen onderscheiden, zoals deze hieronder schematisch worden weergegeven (Figuur 1).

Om de bodemkwaliteit goed te beheren is het nodig om het begrip ‘duurzaam bodembeheer’ te concretiseren. Een bodem kan namelijk voor allerlei doelen worden ingezet. Binnen de huidige Open Bodemindex is het uitgangspunt dat de bodem zo wordt beheerd dat er sprake is van een duurzame landbouwproductie. Concreet betekent dit dat de bodem wordt geëvalueerd met betrekking tot de wens om het bouwplan van de afgelopen tien jaar te continueren. De bodem wordt daarbij duurzaam beheerd, in die zin dat de bodemkwaliteit de gewasproductie maximaal faciliteert en ook voldoende is (en blijft) om de gewasproductie in de toekomst te blijven faciliteren. Duurzaam betekent ook dat het landbouwkundig gebruik van de bodem samengaat met minimale verliezen naar het grond- en oppervlaktewater. In de toekomst (na 2019) kan de OBI ook gebruikt worden om inzicht te geven in de

bijdrage van de bodem aan de maatschappelijke opgaves voor biodiversiteit en klimaat, maar kwantificering van deze opgaves hebben in het jaar 2019 geen prioriteit.



Figuur 1. Bodemwaarderingsystematiek zoals toegepast binnen de Open Bodemindex.

Binnen de randvoorwaarde van context (continuering bouwplan) en doel (duurzame landbouwproductie) wordt op basis van routinematig beschikbare bodemanalyses, perceeleigenschappen en remote sensing gegevens de kwaliteit van de bodem in kaart gebracht (Figuur 1). De bodemeigenschappen wordt op basis van landbouwkundig onderzoek én in samenhang met elkaar gebruikt om een hele set aan bodemfuncties te kwantificeren (Figuur 2). Deze functies kunnen worden geclusterd rondom de drie relevante aspecten van de bodem, namelijk i) chemie en nutriëntenlevering, ii) structuur en beworteling en iii) biologie en ziekteverendheid. Separaat aan deze drie aspecten – die elk sterk leunen op daadwerkelijke metingen – wordt ook het bodembeheer geëvalueerd.



Figuur 2. Uitgewerkte bodemfuncties zoals deze zijn ingebed binnen de OBI, oktober 2019.

Om het bodembeheer te evalueren wordt aangesloten bij het ontwikkelde label Duurzaam Bodembeheer. Dit Label Duurzaam Bodembeheer is in 2016 op verzoek van ASR ontworpen door CLM Onderzoek & Advies, in samenwerking met andere bodemdeskundigen van Nederlandse onderzoeksinstituten, laboratoria en adviesbureaus. Duurzaam bodembeheer is namelijk een belangrijke voorwaarde om de waarde van de grond te behouden. De bodemkwaliteit geeft de conditie van de bodem weer om te functioneren als een veerkrachtig ecosysteem dat planten, mensen en dieren kan ondersteunen. Met een team van bodemexperts uit het onderzoek en de praktijk is een selectie gemaakt van meetbare en controleerbare bodembeheermaatregelen die bijdragen aan de ecosysteemfuncties van de bodem. Hierbij is onderscheid gemaakt in de sectoren akkerbouw en melkveehouderij als ook in de verschillende grondsoorten. Door de bodemexperts zijn deze maatregelen geselecteerd en gewaardeerd in relatie tot de invloed ervan op de bodemkwaliteit.

Binnen het beheer wordt expliciet aandacht gegeven aan organische stof, als belangrijke motor van de bodemvruchtbaarheid. Omdat veranderingen in het organische stofgehalte moeilijk meetbaar zijn, wordt op basis van het bouwplan – en de aanname dat de gebruikruimte wordt opgevuld met dierlijke mest – een inschatting gemaakt van de netto aan- dan wel afvoer van Effectieve Organische Stof. Deze balans is indicatief voor de verwachte ontwikkelingen in het OS-gehalte van de bodem.

Zodra de verschillende bodemfuncties kwantitatief zijn gemaakt, helpt dit de agrarische ondernemer om zicht te krijgen op de verschillen tussen zijn percelen. Het bevordert de bodemkwaliteit omdat *gericht* gestuurd kan worden op de instandhouding dan wel verbetering van de bodemkwaliteit. Om deze laatste stap te ondersteunen worden de berekende bodemfuncties (elk met hun eigen eenheid) geëvalueerd en vertaald in een uniforme en heldere systematiek waarbij de relevantie van deze bodemfunctie wordt omgezet in een score tussen nul en honderd (Figuur 1). Voor het vaststellen van deze vertaalslag wordt gebruik gemaakt van bestaande datasets en veldproeven waarmee de relevantie van een bodemfunctie voor de gewasproductie (of kwaliteit) kwantitatief kan worden onderbouwd. Deze omzetting naar een uniforme waarderingsscore – de indicator – maakt het voor agrarisch ondernemers mogelijk om anderen te laten zien wat voor een positieve bijdrage zij leveren aan een duurzame wereld en daarmee inspanningen om te zetten in extra inkomen.

Zodra van elke bodemfunctie ook een bodemindex beschikbaar is, kan dit vertaald worden in een integrale beoordeling van de bodem als geheel (Figuur 1). Bij deze integratie wordt expliciet rekening gehouden met de huidige en gewenste (dan wel haalbare) bodemkwaliteit. Dit betekent ook dat de gewenste situatie rekening houdt met bodemsoort en gebruiksdoel van de bodem. Hoe en op welke manier gewas-differentiatie binnen het bouwplan als ook milieukundige versus landbouwkundige doelen invloed (mogen en kunnen) uitoefenen op de integratie is op dit moment nog niet duidelijk.

Als laatste worden per bodemfunctie aanbevelingen gegeven voor beheersmaatregelen die uitgevoerd kunnen worden om de bodemkwaliteit te verbeteren (Figuur 1). Hiervoor worden op basis van de wetenschappelijke literatuur maatregelen geïnventariseerd in relatie tot hun impact op bodemfuncties dan wel bodem-indicatoren. Als blijkt dat de bodemkwaliteit op verschillende aspecten verbetert kan worden, wordt de meest relevante maatregel geadviseerd.

5. Open Source Ontwikkeling

Het consortium van WUR, NMI en Farmhack heeft de ambitie om alle rekenregels openbaar beschikbaar te maken om zo transparantie in bodemwaardering te faciliteren én te sturen op eenduidigheid op basis van wetenschappelijk onderbouwde rekenregels. Dit is onzes inziens een randvoorwaarde om de afweging van doelen (voor welke opgave kan deze bodem ingezet worden) ook concreet te onderbouwen met metingen en cijfers als ook om duurzaam bodembeheer financieel te belonen.

Het rekenhart is beschikbaar via <https://github.com/springgbv/Open-Bodem-Index-Calculator>.

De onderliggende argumentatie, gebruikte gegevens en inhoudelijke onderbouwing wordt per bodemfunctie toegelicht in zogeheten factsheets. Deze zijn opvraagbaar bij de auteur van dit document als ook online in te zien dan wel te bediscussiëren. Hiervoor heeft Farmhack een open discussieplatform ingericht: <https://forum.farmhack.nl/c/open-bodem-index>

6. Bijdragen aan de ontwikkeling van de OBI?

Afhankelijk van ieders expertise zijn er verschillende mogelijkheden om bij te dragen aan de ontwikkeling van de Open Bodemindex. Voor bodemexperts liggen er de volgende mogelijkheden:

- **Review bodemfuncties.** Elke bodemfunctie is beschreven in een factsheet waarin uitgebreid wordt ingegaan op de onderliggende meetgegevens en de gebruikte rekenregels om een bodem-analyse of perceelkenmerk te interpreteren in relatie tot het gewenste doel. Deze factsheets zijn online in te zien als ook van feedback te voorzien. Ook is er de mogelijkheid om aanbevelingen te geven voor verdere verbetering of concretisering. Het is mogelijk om deze feedback toe te sturen naar het consortium via een mail naar de auteur van dit document.
- **Toevoegen bodemfuncties.** De eerste versie van de Open Bodemindex is sterk gefocust op het kwantificeren van bodemfuncties voor een duurzame landbouwkundige productie. Het meten, beoordelen en bieden van handelingsperspectief via maatregelen voor andere bodemdiensten zoals biodiversiteit, klimaatmitigatie of waterkwaliteitsverbetering zijn voornamelijk nog niet beschikbaar. Als u meetgegevens of rekenregels heeft die hiervoor inzetbaar zijn, dan kunt u
 - contact opnemen met de auteur van dit document,
 - het idee lanceren op het discussieplatform (<https://forum.farmhack.nl/c/open-bodem-index>), of
 - een branch aanmaken op de OBI repo op github, daar uw code aan toe voegen en een pull request aanvragen bij de beheerder van deze repo.
- **Toepassing binnen praktijksituaties.** Een applicatie om bodemkwaliteit en bodembeheer concreet te maken heeft alleen perspectief als agrarische ondernemers actief een bijdrage leveren aan de ontwikkeling van de index. In de eerste jaren bij gebruik zullen naar alle waarschijnlijkheid verschillende items opduiken om de ontwikkelde rekenregels nog meer aan te laten sluiten bij de actuele praktijk op individuele percelen. Door de OBI te gebruiken in studiegroepen als individuele bedrijfsbegeleiding worden waardevolle ervaringen opgedaan die nuttig zijn om gedeeld te worden. Om zo uiteindelijk een bodemwaarderingsinstrument te ontwikkelen waarmee goed bodembeheer daadwerkelijk aangetoond (en beloond) kan worden.

Elke nuttige aanvulling en verbetering van een factsheet (dan wel de applicatie) wordt opgeslagen, waarbij ieders bijdrage wordt vermeldt als onderdeel van het versiebeheer. Onderzoekers en experts die bijdragen (als ook hun organisaties) worden per factsheet vermeldt als medeauteur, en de bedoeling is om meewerkende auteurs ook te vermelden bij de achtergrond-documentatie van het rekenhart als ook de ondersteunende website. Eens per vier maanden wordt de ingebrachte kennis, kennisregels en feedback verwerkt in een update van het rekenhart en de ondersteunende documentatie. Deze update wordt aan alle meewerkende onderzoekers toegezonden.

7. Versie

Versie 0.1 20191004 opgesteld door Gerard Ros (NMI)

8. Literatuur

- Andrews, S.S., Carroll, C.R. 2001. Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. *Ecological Applications*, 11(6), 1573-1585.
- Andrews, S.S., Karlen, D.L., Cambardella, C.A. 2004. The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method. *Soil Science Society of America Journal*, 68(6), 1945-1962.
- Andrews, S.S., Karlen, D.L., Mitchell, J.P. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 90(1), 25-45
- Bünemann et al. 2016 Concepts and indicators of soil quality – a review
- Karlen, D.L., Andrews, S.S., Doran, J.W. 2001. Soil quality: Current concepts and applications. *Advances in Agronomy*, Vol 74, 74, 1-40.
- Karlen, D.L., Ditzler, C.A., Andrews, S.S. 2003. Soil quality: why and how? *Geoderma*, 114(3-4), 145-156. Karlen, D.L., Gardner, J.C., Rosek, M.J. 1998. A soil quality framework for evaluating the impact of CRP. *Journal of Production Agriculture*, 11(1), 56-60.
- Molendijk et al. 2018 Instrumenten voor Duurzaam Bodembeheer- een overzicht.
- Van der Wal A, De Lijster E & W Dijkman (2016) Ontwerp Label Duurzaam Bodembeheer. CLM-rapport 910, 56 pp.
- Wienhold, B.J., Andrews, S.S., Karlen, D.L. 2004. Soil quality: a review of the science and experiences in the USA. *Environmental Geochemistry and Health*, 26(2-3), 89-95. Wienhold, B.J., Karlen, D.L., Andrews, S.S., Stott, D.E. 2009. Protocol for indicator scoring in the soil management assessment framework (SMAF). *Renewable Agriculture and Food Systems*, 24(4), 260-266.