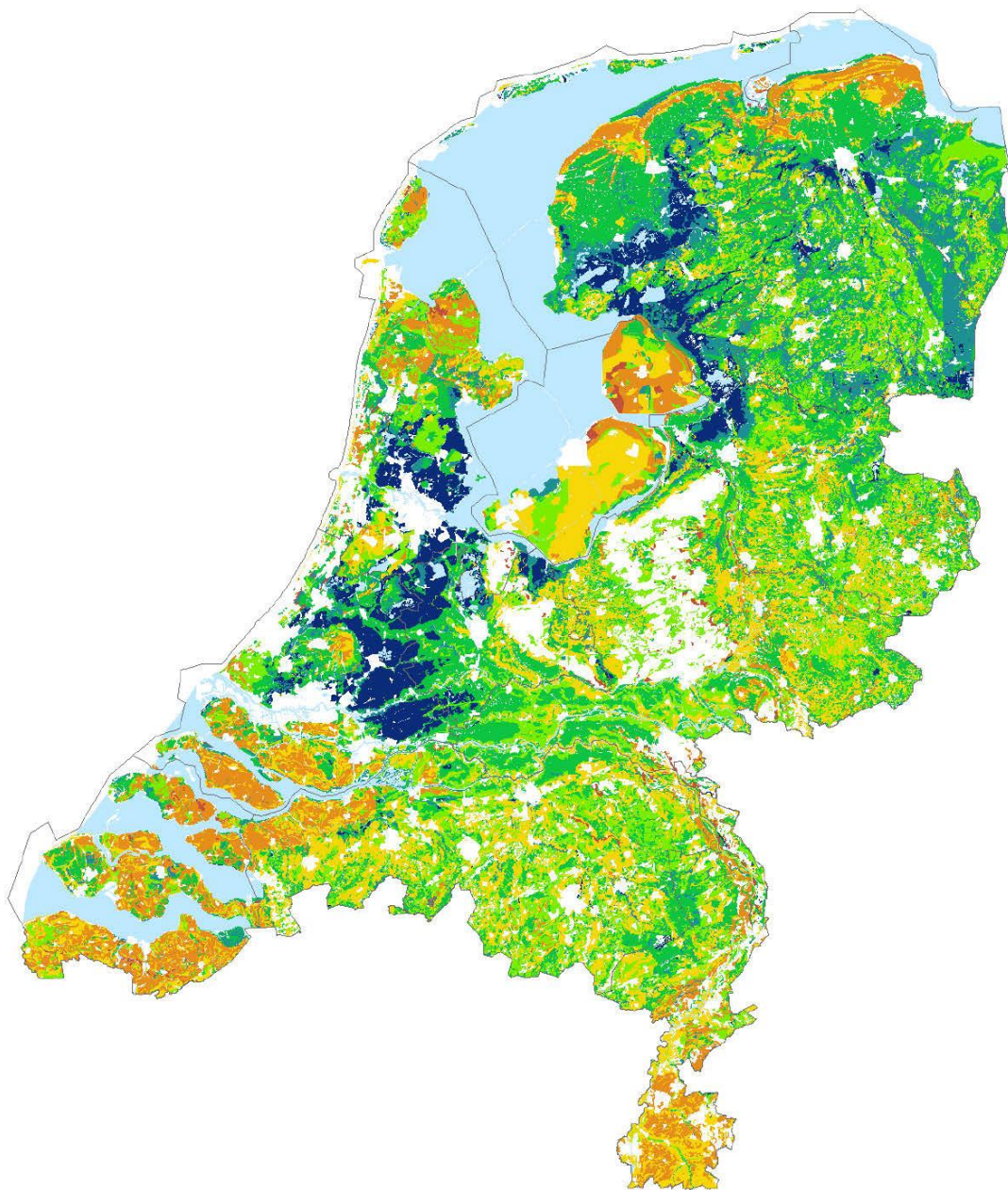


Verkenning van de bodemvitaliteit in Fryslân

Met aanbevelingen voor een nadere analyse

Chris Koopmans, Natalie Bakker



© 2022 Louis Bolk Instituut

Verkenning van de bodemvitaliteit in Fryslân -
Met aanbevelingen voor een nadere analyse

Chris Koopmans, Natalie Bakker

Publicatienummer: 2022-033 LbP

36 pagina's

www.louisbolk.nl

info@louisbolk.nl

T 0343 523 860

Kosterijland 3-5

3981 AJ Bunnik

 @LouisBolk

Louis Bolk Instituut: Onderzoek en advies ter bevordering van
duurzame landbouw, voeding en gezondheid

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding en achtergrond	7
2 Quick scan van de bodemvitaliteit	9
2.1 Bestaande literatuur	9
2.2 Trends	10
2.3 Status ten opzichte van de rest van Nederland	13
2.4 Conclusie	16
3 Bodemfuncties en prioritering	19
4 Bodemindicatoren	21
4.1 Koppeling bodemfuncties met bodemindicatoren	23
5 Databeschikbaarheid en -gebruik	25
5.1 Bodemdata	25
5.2 Verschillen in meetprotocollen	27
6 Advies voor de verdere analyse	29
Literatuur	33
Bijlage 1: Prioritering bodemfuncties matrixtabel	35
Bijlage 2: BLN indicatoren voor het bepalen van bodemkwaliteit (versie 1.1).	36

Samenvatting

Dit rapport betreft een voorstudie naar de staat van de rurale bodems in de Provincie Fryslân. Recente studies en literatuur wijzen uit dat de bodemvitaliteit in de provincie onder druk staat, o.a. door problematiek rondom bodemdaling in de veengebieden, verdichting en verzilting op kleigronden, en verzuring in zandregio's. Om te bepalen of deze trends ook daadwerkelijk de bodemkwaliteit beïnvloeden en mogelijk belangrijke bodemfuncties belemmeren is het nodig de stand van de bodemkwaliteit in Fryslân nader te bepalen. In samenwerking met Provincie Fryslân zijn daarom vanuit een integrale aanpak de belangrijkste bodemfuncties van de Friese gronden bepaald en gekoppeld aan beschikbare bodemindicatoren. Hierbij zijn bodemfysische, bodemchemische én bodembioïologische factoren meegewogen. Het resultaat laat zien dat de belangrijkste bodemfuncties (agrarische productie, waterregulatie en –zuivering, habitat voor biodiversiteit, klimaat en recycling van nutriënten) voor een groot deel via een selectie van bodemindicatoren, aansluitend bij de set zoals opgenomen in het nationaal programma landbouwbodem (BLN), gedekt kunnen worden. Data vanuit de landelijke monitoring (CC-NL) of een database van het Eurofins laboratorium zouden een basis hiervoor kunnen vormen. De voor- en nadelen van deze datasets worden in dit rapport bediscussieerd. Vanuit de bevindingen omtrent belangrijke bodemfuncties, daarmee samenhangende bodemindicatoren en beschikbare data is een advies geformuleerd hoe de bodemvitaliteit voor de Provincie Fryslân nader vastgesteld kan worden en tevens als vertrekpunt kan dienen voor een verbinding met Provinciale ambities en beleidskeuzes. Daarmee kan de bodemvitaliteit meer concreet in kaart worden gebracht en handen en voeten krijgen.

1 Inleiding en achtergrond

In juni 2020 heeft de Raad voor de Leefomgeving (RLI, 2020a) het rapport 'De Bodem bereikt' uitgebracht ter advisering aan het kabinet en het parlement. Het rapport geeft een integrale blik op de druk die staat op de rurale bodems in Nederland en het belang van samenhang van maatregelen binnen het bodemecosysteem. Als gevolg van de afnemende bodemvitaliteit worden direct afhankelijke functies niet meer naar behoren vervuld, aldus de Raad. Zo staan landbouwopbrengsten onder druk en wordt de natuur- en bosbouwfunctie verstoord. Het merendeel van de beschermde ecosystemen staat er matig tot slecht voor. Tevens voldoet de waterkwaliteit niet aan de normen en houden bodems te weinig water vast. De slechtere bodemvitaliteit beperkt de opslag van organische stof (koolstof) waardoor te veel broeikasgassen worden uitgestoten in plaats van afgebroken en opgeslagen (Rli, 2020a). Met het advies agendeert de RLI een stevigere aanpak in de uitvoering van het bodembeleid. De raad hanteert hierbij drie uitgangspunten:

- **Stuur op vitale bodems waarbij meerdere functies moeten worden gecombineerd: meervoudig bodemgebruik.** Laat de provincie daarbij de leiding nemen in de uitvoering van het beleid gericht op vitale bodems.
- **Funcities volgen bodem: om de bodem optimaal te benutten, zal het nodig zijn om de bodem leidend te laten zijn voor de combinatie van functies die erop kunnen worden uitgeoefend.** Stuur via ruimtelijke ordening op functies volgen bodem. Bescherm essentiële bodems voor bepaalde functies door deze de status van bodembeschermingsgebieden
- **Tal van overheidsinstrumenten hebben invloed op de vitaliteit van bodems en moeten worden aangepast:**
 - Stuur op een monitoring- en kennissysteem dat inzicht geeft in de vitaliteit van de bodem voor het vervullen van alle functies
 - Inventariseer of wet- en regelgeving wel sturen op vitale bodems of deze juist belemmeren en pas deze zo nodig aan.
 - Stuur via beloningsvormen op goed gedrag en gebruik daarbij een set van kritische prestatie-indicatoren.
 - Stimuleer herstelwerkzaamheden in bos- en natuurgebieden.

Vanuit de Provincie Fryslân wordt ingezet op een meer gedetailleerde analyse naar de staat van de bodem specifiek in deze provincie, om zodoende een meer onderbouwde aanpak met een duidelijk vertrekpunt te realiseren. Hierbij is het van belang een helder beeld te schetsen van de diverse functies die de verscheidene Friese bodems vervullen en te onderzoeken welke bedreigingen op dit moment actueel zijn of in de toekomst mogelijk kunnen ontstaan.

Dit rapport betreft een voorstudie naar de mogelijkheden om de staat van de bodem in de Provincie Fryslân te bepalen. Hierbij wordt rekening gehouden met een uiteindelijke integrale analyse van de bodem waarbij fysische, biologische, én chemische aspecten

worden meegenomen. In dit rapport wordt een quick-scan uitgevoerd naar de voornaamste bodemtrends die worden waargenomen in de huidige literatuur (hoofdstuk 2), worden de belangrijkste bodemfuncties van de verscheidene Friese gronden uiteengezet (hoofdstuk 3) en gekoppeld aan bodemindicatoren (hoofdstuk 4) en wordt er ingegaan op beschikbare data waaruit verdere analyses voort zouden kunnen komen (hoofdstuk 5). De voor- en nadelen van deze datasets worden hierbij aangegeven. Tot slot is er een advies opgesteld voor een nader plan van aanpak (hoofdstuk 6). Hiermee kan een basis worden gelegd om de verdere ambitie van de Provincie – het vinden van een balans tussen bodemgebruik en bodembescherming met inachtneming van natuur en mens, alsmede om de bodemfuncties beter af te stemmen op bodemkwaliteit en bodemvitaliteit – worden gerealiseerd.

Een vitale (gezonde) bodem kan worden gezien als een bodem die in staat is te functioneren als een vitaal, levend ecosysteem dat planten, dieren en mensen in stand houdt (Bonfante et al., 2020). Daarmee kan een vitale bodem meerdere functies vervullen zoals (Mol et al., 2017):

- Een goede voedselproductie garanderen door een natuurlijke en duurzame vruchtbaarheid;
- Een goede structuur behouden en daarmee de waterhuishouding van de bodem te reguleren;
- Zowel (grond)water als voedselgewassen beschermen tegen te hoge concentraties van verontreinigingen en meststoffen door optimaal te functioneren als filter;
- Een rijk en divers bodemleven ondersteunen dat de bovengenoemde functies duurzaam in stand houdt;
- Een belangrijk reservoir voor koolstof vormen en CO₂ vastleggen in de, voor de bodem nuttige, organische stof;
- Recycling van nutriënten mogelijk maken en broeikasgasemissies beperken;
- Draagkracht bieden en ruimte voor menselijke activiteiten.

De kwaliteit van een bodem wordt gedefinieerd als (Bonfante et al., 2020) 'de capaciteit van de bodem om te functioneren als een vitaal levend systeem, binnen de grenzen van het ecosysteem en het landgebruik, om de productiviteit van planten en dieren in stand te houden of te verbeteren, de water- en luchtkwaliteit te verbeteren, en het bevorderen van de gezondheid van planten en dieren. De bodemkwaliteit is daarmee de intrinsieke bijdrage die een specifieke bodem kan leveren vanuit haar bodemfysische, -chemische en -biologische kwaliteit, afhankelijk van de grondsoort, klimaat, landgebruik en bodembeheer.

2 Quick scan van de bodemvitaliteit

Om de status van de bodemvitaliteit te bepalen is het belangrijk eerst een overzicht te schetsen vanuit de literatuur en bestaande inzichten. Er is daartoe een 'quick scan' uitgevoerd waarmee de belangrijkste conclusies uit voorgaande studies en rapporten uiteengezet worden. Hierbij zijn de algemene trends op Friese klei, zand en veen vastgesteld, en zijn deze vervolgens vergeleken met de trends in de rest van Nederland. Dit vormde de basis voor het opstellen van de belangrijkste bodemfuncties in hoofdstuk 3.

2.1 Bestaande literatuur

Er zijn vanuit verscheidene partijen en organisaties de afgelopen jaren projecten uitgevoerd op het gebied van bodemkwaliteit en bodemvitaliteit in Fryslân. Deze zijn voornamelijk gericht op een specifieke functie van de bodem dan wel op een specifieke locatie en/of grondsoort. Zo zijn er vanuit het Wetterskip Fryslân recent een tweetal publicaties verschenen over de bodemkwaliteit in relatie tot water, over onderwerpen als drinkwater, oppervlaktewater, grondwater, en waterberging. Hierbij is o.a. de status van nutriënten en organische stof in de bodem geanalyseerd voor de regio's waarin het Wetterskip opereert (Ros et al., 2019; Ros et al., 2018). Daarnaast heeft het Wetterskip in samenwerking met Vitens en de provincie Fryslân in 2020 de Grondwateratlas gepubliceerd (Vitens, Wetterskip Fryslân, Provincie Fryslân, 2020). Deze geeft de belangrijkste resultaten van 3 jaar grondwaterstudie weer, waarbij ook een analyse is gemaakt van toekomstige ontwikkelingen en eventuele problemen zoals verdroging, vernatting, zeespiegelstijging en verzilting.

Specifiek in het veenweidegebied zijn er een aantal bodemonderzoeken gestart vanuit de Veenweidevisie 2015 en het Veenweideprogramma 2021-2030, beiden opgezet door de provincie Fryslân. Deze zijn hoofdzakelijk gericht op bodemdaling en veenoxidatie. Daarnaast is er een programmaliijn 'Bodem- en Grondgebruik', waarin onderzoek verricht wordt naar bodemmaatregelen die zich focussen op het verminderen van de CO₂-uitstoot van agrarische bodems, het verbeteren van draagkracht, het vergroten van het watervasthoudend vermogen en het bevorderen van de biodiversiteit.

De provincie Fryslân volgt landelijke wetgeving en Europese richtlijnen op het gebied van chemische bodemkwaliteit, waarbij wordt gestuurd op beheer en herstel van (plaatselijke) verontreiniging (Provincie Fryslân, 2022). Om dit in kaart te brengen heeft AnteaGroup in 2020, in opdracht van Friese gemeenten, een Bodemkwaliteitskaart PFAS in Fryslân uitgebracht (Rutting en Rummens, 2020). Naast bodemkwaliteitskaarten van de provincie Fryslân, bestaan er ook diverse nationale bodemkaarten. Deze kaarten worden o.a. ontwikkeld door de RLI en de WUR; hieruit kan verdere informatie gerelateerd aan bodemvitaliteit in Fryslân worden geëxtraheerd.

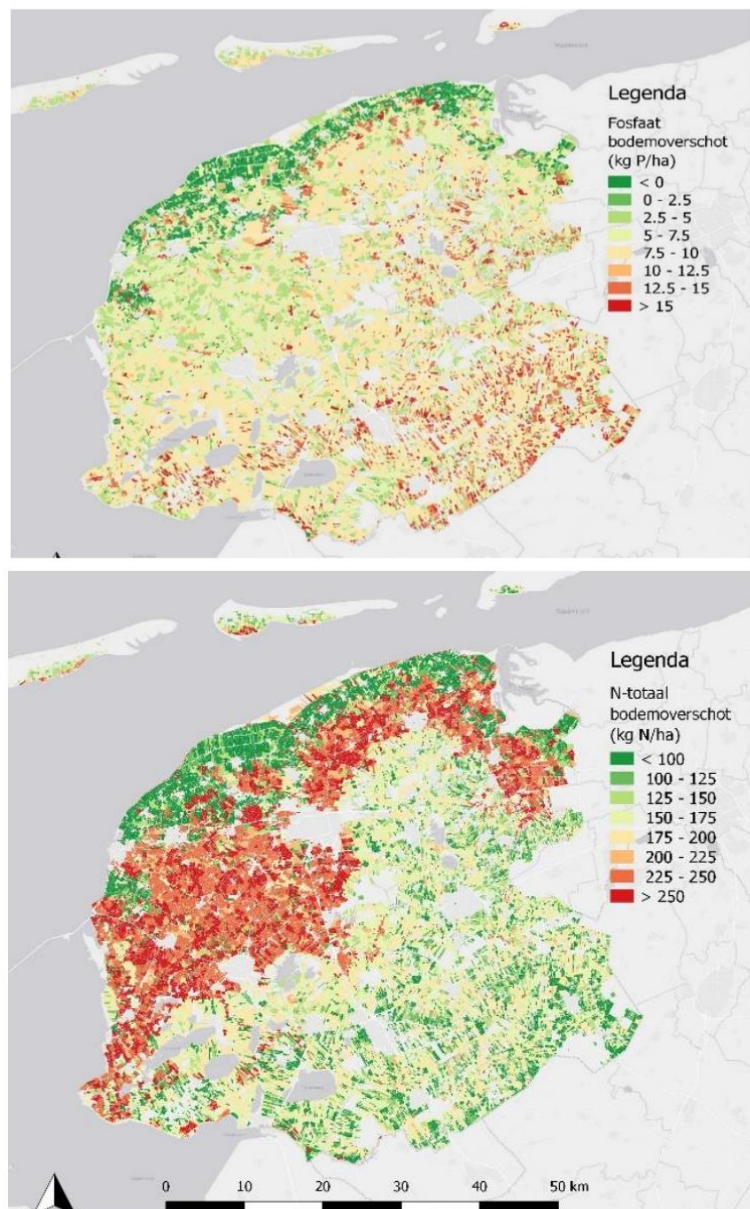
2.2 Trends

Organisch stofgehalte

Het organische stofgehalte op agrarisch grasland, bouwland en maïsland percelen in Fryslân is stabiel (of stijgend), gebaseerd op analyses tussen 1985 en 2015 (Ros et al., 2019). Het organische stofgehalte op veengronden daalt echter door veenoxidatie, met bodemdaling als gevolg (ibid.). Dit belemmert ook de vastlegging van koolstof in deze veengebieden; voor meer informatie zie 2.2.1. Het gemiddelde organische stofgehalte op veen is 18%, op klei 10%, en op zandgronden 8% (binnen de regio's beheerd door het Wetterskip); het laagst gemeten organische stofgehalte is 2% en het hoogste 32% (ibid.). Zo zijn er regionaal een aantal plekken waar organische stof ondermaats is. Dit is onder meer het geval op de zandkoppen (zie 2.2.3). Het gehalte aan bodemorganische stof is sterk afhankelijk van de textuur, het landgebruik en de N-rijkdom van de bodem.

Nutriëntenbalansen

Het fosfaatgehalte in landbouwgronden is gemiddeld genomen weinig veranderd, gebaseerd op analyses tussen 2005 en 2015 (ibid.). De N- en P-concentraties in oppervlaktewater daalden tussen 2000 en 2005, maar bleven daarna relatief stabiel. De berekende aanvoer van N en P via bemesting (met het regionale nutriëntenmodel INITIATOR) is ook stabiel gebleven, en er is de afgelopen jaren met het mestbeleid ingezet op efficiëntere verdeling van bemesting om het risico op verliezen te beperken (Ros et al., 2018). Er is op agronomische gronden sprake van een relatief hoge aanvoer van kalium via dierlijke mest, maar ondanks effecten als erfafspoeling blijkt dit weinig invloed te hebben op het grondwater en waterkwaliteit (ibid.). De overschotten van N en P (de niet-opgenomen nutriënten) zijn weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: N- en P-overschotten in Fryslân, figuren uit Ros et al. (2018).

2.2.1 Veengronden

Vanuit de literatuur is de belangrijkste bodemtrend in de Friese veengronden de daling van de bodem. Volgens recente studies daalt het maaiveld gemiddeld 1 tot 2 centimeter per jaar, en zal er, als er geen veranderingen plaatsvinden, aan het eind van deze eeuw vrijwel geen veen meer over zijn in Fryslân (de Ruyter, 2018; Kwakernaak, 2015).

De voornaamste oorzaak van de bodemdaling is het ontwateren van het veen. Zuurstof mengt zich hierdoor met het veen, en deze oxidatie zorgt vervolgens tot langzame afbraak van organische stof waarbij CO₂ uitgestoten wordt. Ieder jaar komt ~4,7 megaton CO₂ vrij uit alle Nederlandse veenbodems; zo'n 40 procent daarvan is afkomstig uit het Friese veenweidegebied (Wetterskip Fryslân en Provincie Fryslân, 2020). Veenbodemdaling heeft hierdoor repercussies voor bodemfuncties zoals (landbouw)productie en klimaat. Een lager waterpeil leidt daarnaast tot verminderd bodemleven (bijv. wormen) en minder voedselvoorziening voor o.a. weidevogels (RLI, 2020b). Daarmee beïnvloedt veenbodemdaling bodemfuncties zoals ondersteuning van de biodiversiteit en natuur.

De bodemdaling is in vele gebieden ongelijkmatig, waarbij de bebouwde omgeving verzakt, en natuurgebieden relatief hoger komen te liggen dan agrarische bodems. Dit zorgt voor veel (onomkeerbare) problemen. Binnen de Veenweidevisie en het Veenweideprogramma wordt gewerkt aan oplossingen om de daling te remmen. Het verlagen van het waterpeil heeft echter ook effect op de watervraag en heeft invloed op het water regulerend vermogen van de bodem.

Gerelateerd aan de bodemdaling is een trend van verzuring van veengronden na afbraak van strooisel en als gevolg van oxidatie van ammonium (nitrificatie). Een studie van Jonge Poerink Milieuvadvis (2008) stelde vast dat de pH van de bodem in weidevogelreservaten in Friese veenweidegebieden, veelal te laag lag. Een te lage pH (onder de 4.5-5.0) is ongunstig voor het bodemleven, en leidt tot significant lagere beschikbaarheid van stikstof, fosfaat, kalium, calcium en magnesium.

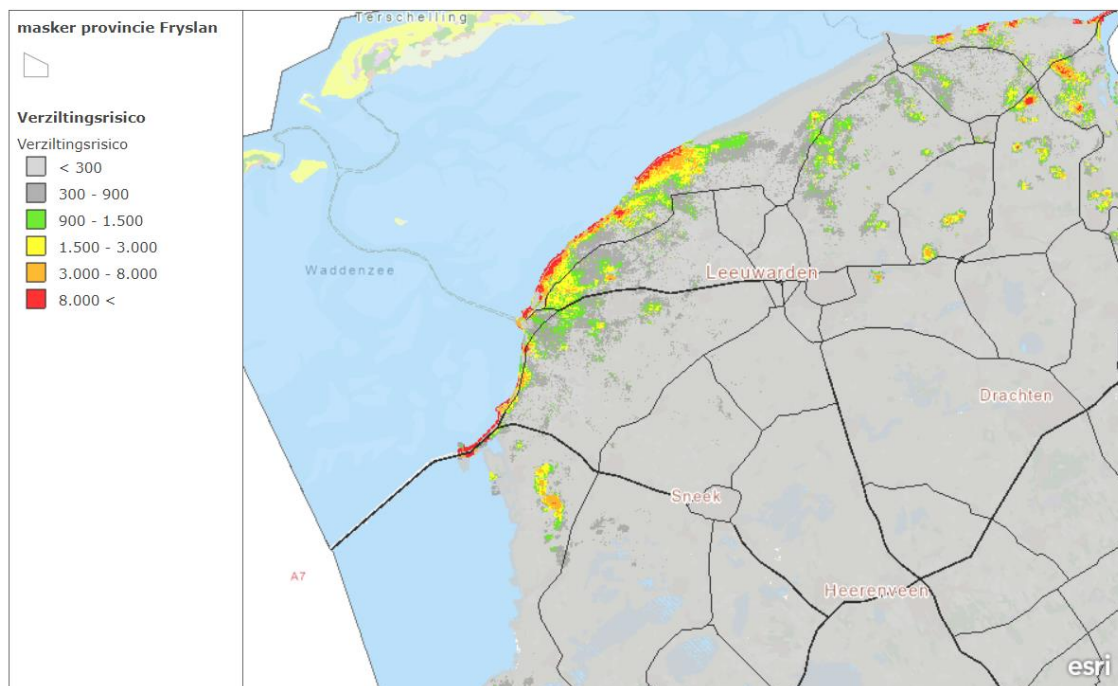
2.2.2 Kleigronden

Op de kleigronden in Fryslân spelen vooral bodemverdichting en verzilting een grote rol. Er wordt geschat dat er op 60 tot 70 procent van de akkerbouwgronden op klei in Noord-Nederland verdichting plaatsvindt (Aequator, 2016; van Essen en Harder, 2017; Wouda, 2019). Intensivering en gebruik van zwaardere machines heeft de afgelopen jaren gezorgd voor samendrukking van de bodem, met gevolg dat de structuur is verslechterd. De verstoring is vaak tot in de diepe bodem te vinden, en is moeilijk te herstellen. Gevolgen van bodemverdichting zijn o.a. plasvorming, verslemping, verstuing, beperktere beworteling, verminderde draagkracht van de grond, slechtere benutting van nutriënten en meer afspoeling. De gewasopbrengsten op landbouwgronden kunnen door bodemverdichting

tussen de 10-30% verminderen (ibid.). Al deze gevolgen hebben sterke invloed op bodemfuncties zoals productie, recycling van nutriënten, en biodiversiteit.

Naast verdichting is verzilting, indringend zeewater of zoute kwel dat aan de oppervlakte komt, een trend in de Friese noordelijke kleigebieden (Vitens, Wetterskip Fryslân, Provincie Fryslân, 2020). Zowel de stijging van de zeespiegel, lagere waterpeilen, verminderde waterberging, alsmede bodemdaling door gas- en zoutwinning in dit gebied veroorzaakt een toename in de hoeveelheid chloride in het grondwater. De ondergrondse toestroom van zout grondwater vanuit de Waddenzee neemt bij autonome ontwikkeling door zeespiegelstijging in de toekomst (2085) verder toe met circa 20% (Vitens, Wetterskip Fryslân, Provincie Fryslân, 2020). Bij een aantal drinkwaterwinningsplekken is er een huidig risico op verzilting. Toenemende verdamping en het gebruik van kunstmest, dierlijke mest in de landbouw alsmede het aanbrengen van NaCl op melkveebedrijven spelen ook een rol in de verzilting (Stuurman et al., 2006).

Bij grote mate van verzilting treedt schade op aan gewassen, door schade aan de wortelzone en hoogstwaarschijnlijk ook aan de bladzone (Julkowska et al., 2015). Risico op verzilting is door de Provincie in kaart gebracht en is weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2: Verziltingsrisico in Fryslân in kaart gebracht door de Provincie. Gebaseerd op huidige zout (chloride) gehalten in de ondergrond, en data over kwel/infiltratie.

2.2.3 Zandgronden

Op de Friese zandgronden is er een trend van verzuring en vermesting. Jarenlange, voornamelijk atmosferische depositie van stikstof en zwavel verstoren de chemische

samenstelling van de bos- en natuurbodems, met vermisting en verzuring tot gevolg. Stikstofdepositie is in Fryslân relatief hoog, met een depositie van meer dan 4.000 mol N/ha per jaar (285 g/ha/jaar), voornamelijk als gevolg van hoge lokale ammoniakuitstoot van de intensieve veehouderij (Compendium voor de Leefomgeving, 2019).

Door vermisting en verzuring zijn bodems vatbaarder voor droogte, ziekten en plagen (Beltman et al., 2019). Ook veroorzaakt het in Fryslân een afname in de vitaliteit van de bomen, een sterke verandering van de bosondergroei en bovendien een wijziging in de bodemfauna (Bijlsma, 1997; de Vries, 2008).

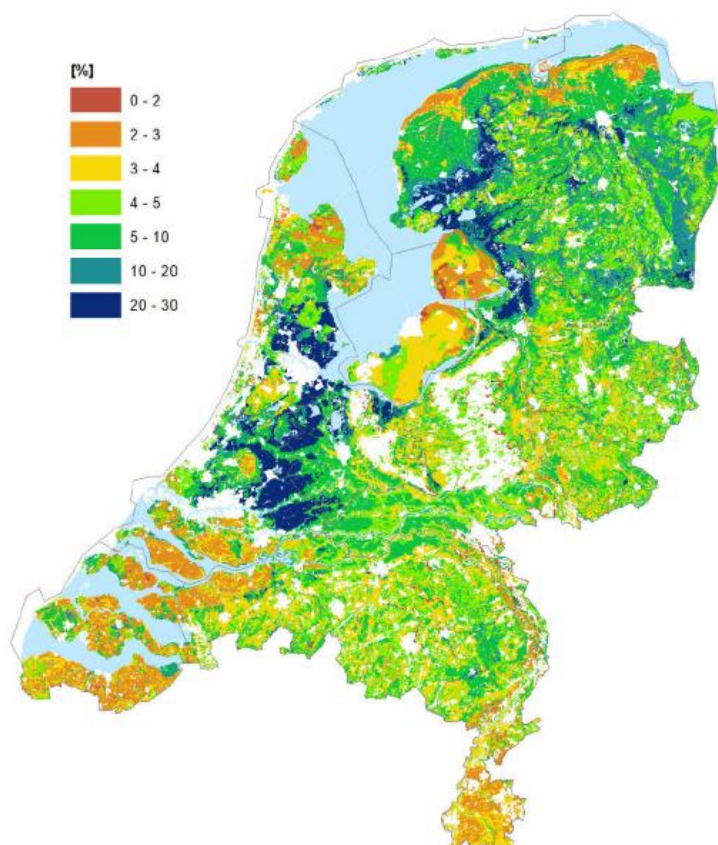
Een steekproef onder boeren in de gemeente Ooststellingwerf geeft daarnaast aan dat er bodemproblematiek heerst in de regio vanwege lage organische stofgehaltenes en droogtegevoeligheden in zandkoppen, en dat er op verscheidene zandgronden sprake is van waterstagnatie in natte periodes als gevolg van slechte bodemstructuur (van den Berg, 2019).

2.3 Status ten opzichte van de rest van Nederland

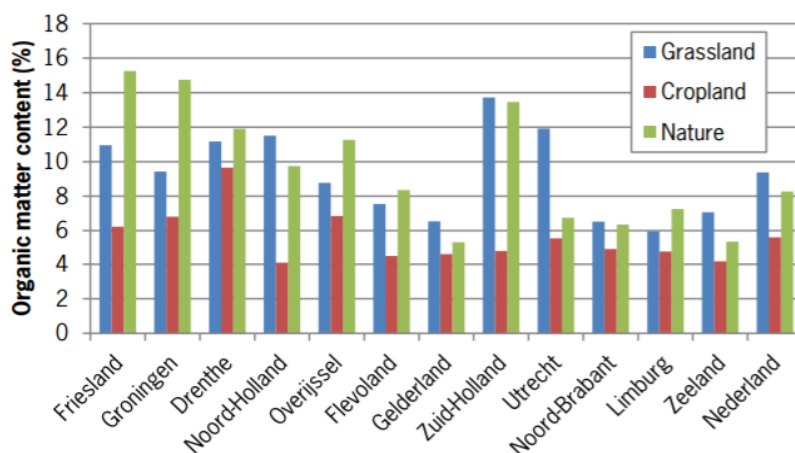
Ter inzicht hoe de bovengenoemde trends zich relateren aan de status van de bodem op nationaal niveau, worden hieronder een aantal landelijke kaarten weergegeven en verdere relevante data besproken.

In figuur 3 wordt de bodemorganische stof, bepaald op basis van gloeiverlies, op nationaal niveau in kaart gebracht. Dit op basis van gemeten gloeiverliesdata vanuit de CC-NL steekproeven (meer informatie over deze data in sectie 6.2). In figuur 4 worden de verschillende provincies met elkaar vergeleken, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen gras-, akker-, en natuurlanden. Uit de data blijkt dat Friese gronden relatief hoge organische stofgehaltenes hebben. Slechts op de zandkoppen in het Noorden, waar akkerlanden liggen, is het bodem organische stofgehalte ondermaats (tussen de 2-3%). Grote delen van de Noordelijke kleischil hebben een gehalte van 2-3 %. Er zijn echter ook akkerbouwpercelen waar het organische stofgehalte onder de 2% ligt. Hierbij bestaat het gevaar van verstuiving en verdere verarming van de grond.

T.o.v. de rest van Nederland heeft Fryslân een hoger N-overschot, maar lager P- en K-overschot. Het hoge overschot in N is voornamelijk toe te schrijven aan een relatief hoog gebruik van dierlijke mest en kunstmest (De Vries et al., 2017). Ten aanzien van zowel N, P, als K heeft Fryslân een hogere aanvoer dan de gemiddelde aanvoer over heel Nederland.

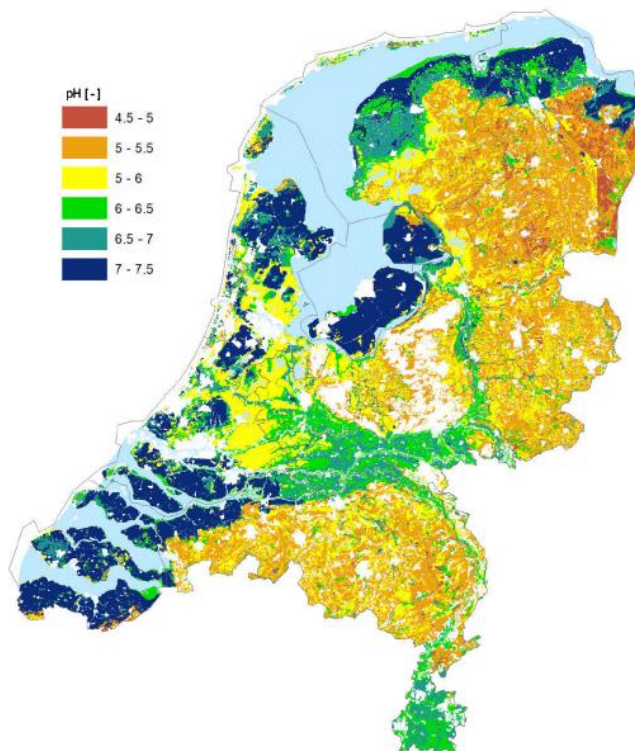


Figuur 3: Percentage bodemorganische stof in de laag 0-30 cm voor gras- en akkerlanden. Op basis van gloeiverlies metingen vanuit de CC-NL steekproef (van den Elsen et al., 2020).



Figuur 4: Gemiddeld bodemorganisch stofgehalte per provincie, voor gras-, akker- en natuurgronden. Figuur van Conijn en Lesschen (2015).

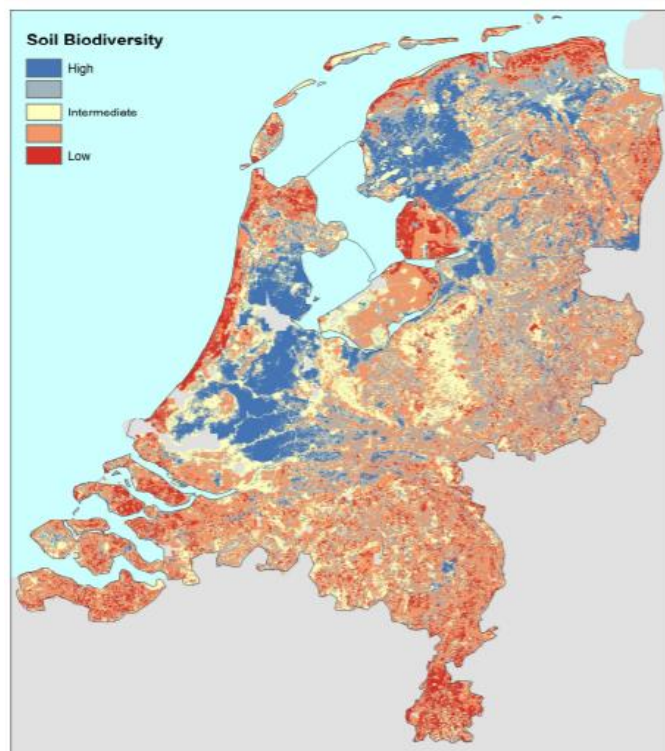
De zuurgraad van de bodem in Nederland is weergegeven in Figuur 5. De relatief verzuurde bodems in het Friese zandgebied komen overeen met pH-waardes van andere binnenlandse zandgronden in Nederland. De basische waarden in het Friese kleigebied zijn ook vergelijkbaar met waarden op kleigronden op nationaal niveau.



Figuur 6: De pH van de Nederlandse bodem (0-30 cm) voor gras- en akkerlanden. Analyse op basis van de NIRS-methode vanuit de CC-NL steekproef (van den Elsen et al., 2020).

Op het gebied van de bodembiodiversiteit is in 2019 de bodembiodiversiteitskaart van Nederland opgesteld door Rutgers et al. (2019), op basis van 16 jaar monitoring vanuit het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (Bobi). Het betreft 300+ meetpunten. De bodembiodiversiteitskaart is weergegeven in Figuur 6.

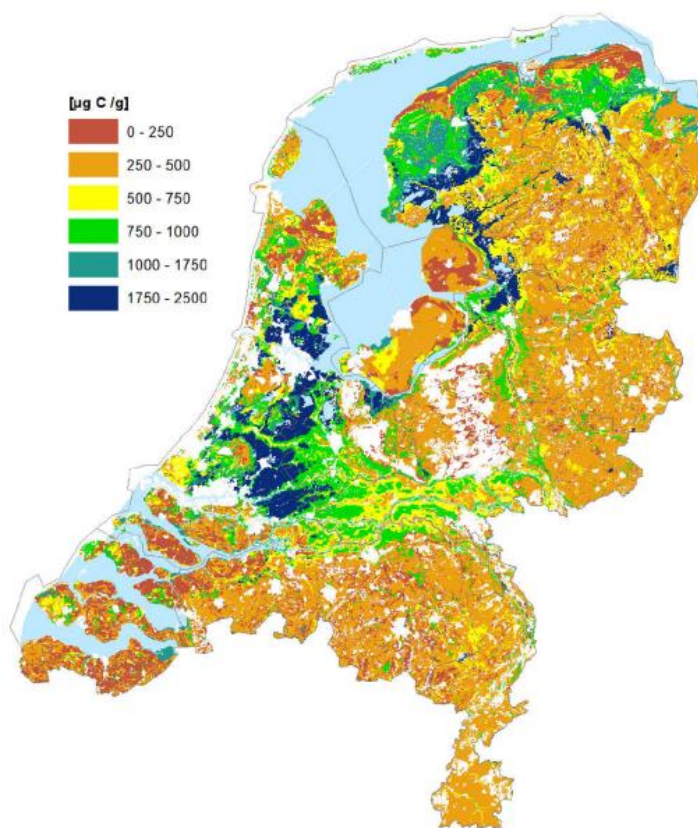
Uit de kaart blijkt dat de bodembiodiversiteit in Fryslân relatief hoog is t.o.v. andere provincies. Echter valt er een kanttekening te plaatsen bij de waarden in het veenweidegebied, waar microbiële afbraak van veen leidt tot een verhoogde microbiële component, en



Figuur 5: Bodembiodiversiteit in Nederland, geëxtrapoleerd vanuit analyses van 300+ meetlocaties van het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (Bobi). In de analyse zijn 'aantallen en soortenrijkdom van regenwormen, potwormen, nematoden en micro-arthropoden', 'koolstof- en stikstofmineralisatie' en 'leucine inbouw door microbiële gemeenschap' meegenomen. Daarmee heeft de waarde betrekking op zowel bodembiodiversiteit (ongewervelden) alsmede bodemactiviteit (micro-organismen). Figuur uit Rutgers et al. (2019).

dus een verhoogde waarde voor de gehele bodembiodiversiteit. Dit is ook terug te zien in de kaart van de concentratie van bacteriën en schimmels (PLFA) in Figuur 7, waarbij de Veenweidegebieden relatief hoog scoren.

Tegelijkertijd valt op dat de noordelijke zeekleigronden en in delen van de oostelijke zandgebieden de bodembiodiversiteit relatief laag scoort. Dit is met name het geval op akkerbouwpercelen. Hoewel geen duidelijkheid wordt gegeven of hier sprake is van een trend kan wel worden aangegeven dat de bodembiodiversiteit met name op deze landbouwgronden van akkerbouwgebieden aandacht vraagt. Deze gebieden gaan tevens gepaard met een relatief laag organische stofgehalte.



Figuur 7: Concentratie van bacteriën en schimmels (PLFA) in microgram C/kg voor gras- en akkerlanden in Nederland. Bepaald d.m.v. de NIRS-methode binnen de CC-NL steekproef in 2018 (van den Elsen et al., 2020).

2.4 Conclusie

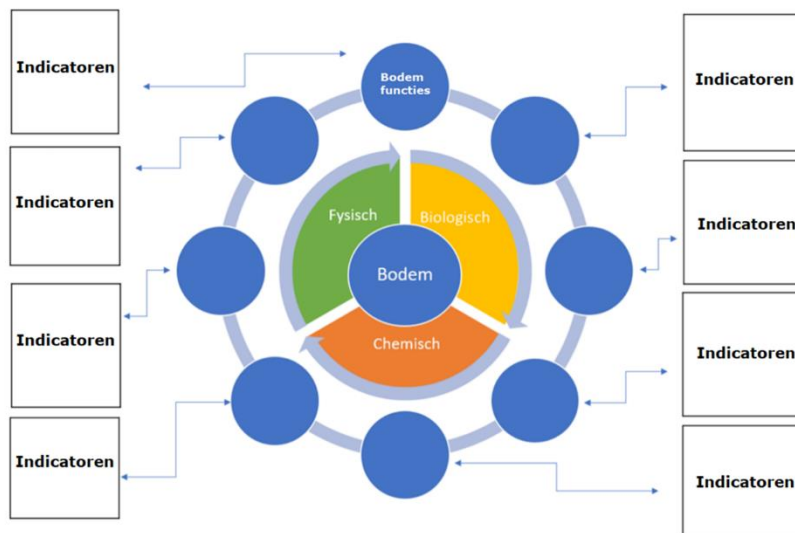
Vanuit de recente literatuur valt te concluderen dat in Fryslân de bodem en het bodembeheer zeker aandacht vragen maar er geen sprake lijkt te zijn van een trend waarbij de bodemvitaliteit generiek sterk onder druk staat. Terwijl de bodemorganische stofgehalten en nutriëntenbalansen gemiddeld genomen stabiel zijn in de provincie, zijn er een aantal (regionale) zorgelijke trends waarneembaar die de verdere ontwikkeling van een veerkrachtig bodemsysteem zouden kunnen bedreigen. Hieronder vallen o.a. trends

zoals bodemdaling in het veengebied, verdichting en verzilting op kleigronden, en verzuring in zandregio's. Met name in de akkerbouwgebieden in de noordelijke kleischil en delen van het oostelijke zandgebied, vraagt de bodembiodiversiteit extra aandacht om te kunnen achterhalen wat hier eventuele trends zijn.

Om te bepalen of deze trends ook daadwerkelijk tot negatieve consequenties leiden en/of belangrijke bodemfuncties belemmeren, is het essentieel om de exacte functies van de bodem in Fryslân vast te stellen. In het volgende hoofdstuk wordt hier nader op ingegaan.

3 Bodemfuncties en prioritering

Rurale bodems vervullen verscheidene belangrijke functies, die uiteenlopen van landbouw, natuur, opslag van (drink)water en klimaat. Welke bodemfuncties vervullen de verscheidene Friese bodems, en hoe relevant zijn deze functies voor de verschillende typen gronden? Daaropvolgend: welke bodemindicatoren kan men koppelen aan de belangrijkste bodemfuncties, zodat de status hiervan gemeten en gemonitord kan worden? In hoofdstukken 3 en 4 hebben we getracht dit te analyseren. De koppeling van bodemfuncties met indicatoren leidt tot een integrale analyse van de bodemvitaliteit; dit valt weer te geven via het systeem in Figuur 8. In deze figuur wordt de integraliteit van de (fysische, biologische en chemische) bodemfuncties en de bijbehorende indicatoren overzichtelijk uiteengezet.



Figuur 8: Overzicht van de samenhang tussen bodemfuncties en bodemindicatoren. Centraal staat de bodem, die fysische, biologische, en chemische eigenschappen heeft. De bodem vervult een aantal bodemfuncties, die gemeten of gemonitord kunnen worden door verschillende onderliggende indicatoren. Op basis van de figuur 'Samenwerken aan bodem met diverse opgaven' (figuur 4) uit de startnotitie bodembeleid provincie Fryslân (2022).

In eerste instantie volgen we de wetenschappelijk bepaalde bodemfunctie-set vanuit het Europese LANDMARK-project; een project dat zich specifiek richt op de maatschappelijke (ecosysteem)diensten van de bodem. De bodemfuncties die hierin voorkomen zijn als volgt:

- **Productie:** het leveren van productie (voedsel, veevoer, biobrandstof en vezel).
- **Waterregulatie:** het reguleren van de waterhoeveelheid.
- **Waterzuivering:** het zorgen voor schoon water.
- **Habitat voor biodiversiteit:** het zorgen voor bodembiodiversiteit en de habitat voor het bovengrondse ecosysteem.
- **Klimaat:** het vastleggen van koolstof en het verminderen van broeikasgasemissie.
- **Recycling van nutriënten:** kringlopen en hergebruik van voedingsstoffen.

Vanuit de Provincie is de behoefte aangegeven, vanwege de lokale kwesties die spelen, naast deze 6 functies, ook de rol van de bodem in het vervullen van doelstellingen in het kader van 'Wettelijk beschermen van gebieden' en 'Regulerend vermogen/stikstof' als onderscheidende dienst mee te nemen.

Er is sprake van een duurzaam bodembeheer wanneer het gebruik van de bodem voor verschillende ecosysteemdiensten blijvend aan de veranderende (menselijke- en natuurlijke) behoeften kan voldoen, terwijl tegelijkertijd het lange termijn potentieel van deze hulpbron en het onderhoud van haar productiviteit en milieufuncties wordt gewaarborgd. Duurzaam beheren van de bodem impliceert daarmee in de praktijk:

- Het op peil houden of verbeteren van de bodemvruchtbaarheid
- Het handhaven of verbeteren van het waterbergend vermogen
- Waterzuivering en retentie van nutriënten in de bodem mogelijk te maken
- Het ondersteunen van een rijke en diverse biodiversiteit, onder- en bovengronds
- Het vermogen van de bodem om CO₂ vast te leggen, te benutten en te ondersteunen
- Het in stand houden van kringlopen van nutriënten mogelijk te maken waarmee inzet van bijvoorbeeld externe inputs geminimaliseerd kan worden
- Gronden niet onnodig te verstoren door groundbewerking, graafwerkzaamheden, ontwatering etc.

Om te bepalen bij welke bodemfuncties prioriteit ligt, zijn de trends, bedreigingen, kansen, en inzichten van huidig belangrijke thema's binnen de provincie gewogen. Met een groep experts van de Provincie Fryslân vanuit de opgaven veenweide, landbouw, natuur en water is een rangschikking gemaakt voor de bovengenoemde bodemfuncties en zijn deze gescoord op een schaal van 1-5 in een matrixtabel. De volledige uitwerking hiervan is te vinden in bijlage 1. Dit betreft slechts een gemiddelde inschatting van een beperkte groep experts, en daarmee kan de matrixtabel slechts gebruikt worden als leidraad voor het bepalen van de voornaamste bodemfuncties. Uit deze exercitie kwamen de volgende bodemfuncties naar voren als zijnde 'hoge prioriteit':

Tabel 1: Prioritering bodemfuncties per bodemtype in Friesland.

Klei	Zand	Veen
Productiviteit	Waterregulatie en -zuivering	Waterregulatie
Klimaat	Habitat voor biodiversiteit	Klimaat
	Wettelijk beschermde gebieden	

4 Bodemindicatoren

In het Nationaal Programma Landbouwbodems wordt gestreefd om alle bodems in Nederland in 2030 duurzaam te beheren. Het gestandaardiseerd vaststellen van de bodemkwaliteit is daarbij een belangrijke voorwaarde (Van Dijk, 2020). Er is landelijk dan ook behoefte aan een gemeenschappelijke, eenduidige basis om de bodemkwaliteit en duurzaamheid van de bodem te bepalen. Het ministerie van LNV heeft, in samenspraak met het bedrijfsleven, gevraagd om een robuuste, wetenschappelijk verantwoorde, eenduidige systematiek, om te bepalen wat een goede bodemkwaliteit is.

Sinds 2019 wordt hierom gewerkt aan een uniforme manier om bodemindicatoren te meten. Hanegraaf et al. (2019) hebben dit uitgewerkt tot een eerste integrale set van Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland (BLN). Landelijk is deze BLN door partijen onderschreven in het Nationaal Programma Landbouwbodem (van Dijk, 2020). De in de BLN-versie 1.0 gepresenteerde lijst met indicatoren (Hanegraaf et al., 2019) is een wetenschappelijk indicatorset die de basis vormt om de kwaliteit van de Nederlandse landbouwbodems integraal (fysisch, chemisch, biologisch en visueel), voor verschillende landgebruiksdoelen, vast te stellen.

De indicatoren in de BLN lijst zijn door deskundigen geselecteerd als de meest relevante kenmerken voor bodemkwaliteit op het gebied van koolstof, bodemfysica, bodemchemie en bodembioologie (de Haan et al., 2021). De methoden om die indicatoren te kunnen meten of bepalen moeten:

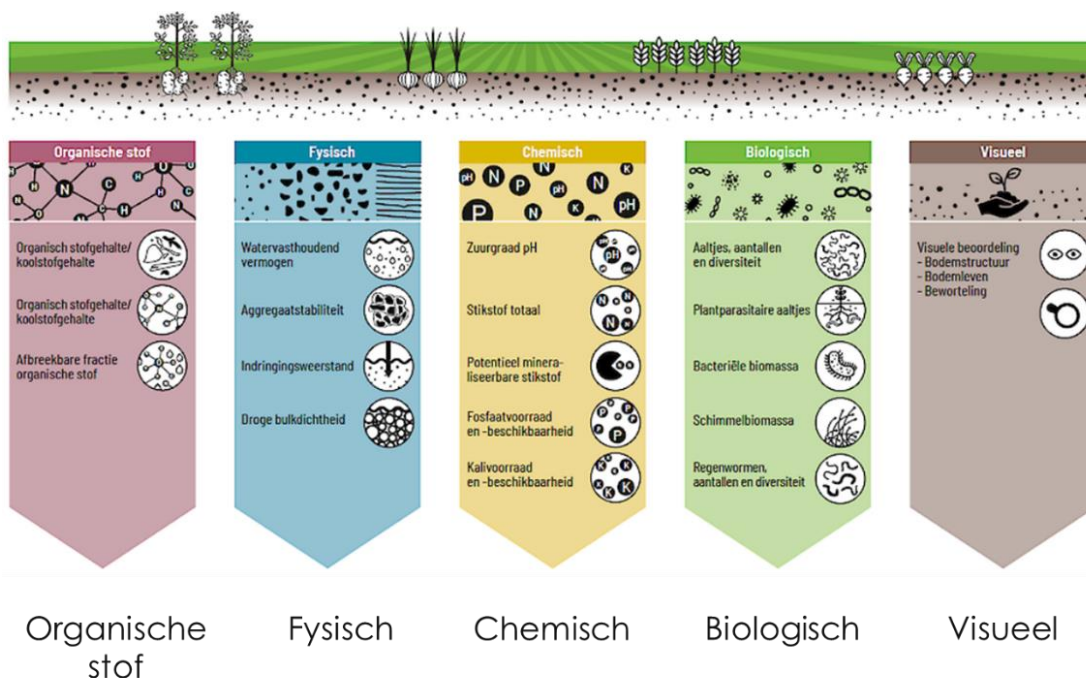
- Voldoende nauwkeurig en precies zijn om verandering van de indicator door management van de boer binnen grenzen te kunnen detecteren.
- Zo goedkoop mogelijk zijn binnen de bij punt 1 gestelde nauwkeurigheds- en precisiegrenzen.
- Snel en praktisch uit te voeren zijn (in veld of lab).
- Zo robuust mogelijk zijn: onafhankelijk van invloeden van andere omstandigheden.

Uiteindelijk is het doel om met een BLN-versie 2.0 te komen waarbij de focus ligt op een relatief goedkope en eenvoudig systematiek om de bodemkwaliteit integraal vast te stellen. Met name voor een goede integrale beoordeling van bodemkwaliteit moet echter nog veel ontwikkeld worden. De BLN-systematiek is breed inzetbaar, echter, de referentiewaarden beperken zich tot nu toe tot de landbouwgronden en zijn afgeleid van bemestingsadviezen gericht op maximale landbouwkundige productie.

Tegelijkertijd is door een consortium van NMI, LBI, CLM, Aeres, WUR e.a. gewerkt aan een beoordelingssystematiek van de kwaliteit van landbouwbodems. De aannames per indicator zijn door Ros (2019) uitgewerkt en in een aantal factsheets verwerkt. Aan de hand

hiervan is een Open Bodemindex gemodelleerd en als 'commercieel' instrument in de markt gezet (OBI). Dit instrument is in beheer bij een stichting van Rabobank, ASR en Vitens. Alhoewel de achtergronden per indicator beschikbaar zijn via factsheets, is het instrument zelf complex en lastig te doorgronden. Een grondige toetsing door een onafhankelijk partij ontbreekt. Hierdoor is niet altijd duidelijk of de uitkomsten van de OBI overeenkomen met wetenschappelijke benaderingen zoals met de BLN en praktijkmetingen.

Vanwege zijn onafhankelijk ontwikkeling op nationale schaal, transparantie en degelijkheid lijkt de BLN-systematiek vooralsnog het meest geschikt om de staat van de bodem te bepalen en/of monitoren. Figuur 9 is een weergave van de indicatoren zoals die op dit moment zijn opgenomen in de BLN-indicatorset. De lijst aan analysemethoden is opgenomen in bijlage 2.



Figuur 9: Bodem Indicatoren voor landbouwgronden in Nederland (BLN) (de Haan et al., 2021)

In deze BLN-versie 1.1, is een selectie van 18 belangrijke indicatoren gemaakt om een betrouwbaar beeld van de integrale bodemkwaliteit te geven. Hierbij zijn zowel klassieke, betrouwbare, maar soms dure en trage meetmethoden geselecteerd en tevens de alternatieve, vaak snellere en goedkopere meetmethoden. De BLN-versie 1.1, is bruikbaar voor alle combinaties van bodemtypen en landgebruik in Nederland. Voor de combinatie akkerbouw op klei, akkerbouw op zand, melkveehouderij op klei en melkveehouderij op zand worden ook streefwaarden en/of referentiewaarden gegeven (de Haan et al., 2021).

4.1 Koppeling bodemfuncties met bodemindicatoren

Voor de bodemfuncties van de Friese bodems genoemd in hoofdstuk 3 zijn de bijbehorende bodemindicatoren vanuit de BLN bepaald. Er is onderscheid gemaakt tussen primaire indicatoren en aanvullende indicatoren. Voor het volledige overzicht, zie Tabel 2.

Tabel 2: Functies van de bodem in Fryslân, uitgezet tegen indicatoren vanuit de BLN die gebruikt kunnen worden om de staat van de bodemfunctie te bepalen. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen primaire indicatoren en aanvullende indicatoren.

Bodemfunctie	Primaire indicatoren	Aanvullend
Productiviteit	Organische stof (%), zuurgraad (pH),	Fosfaat, Stikstof-totaal Berekende C/N ratio
Waterregulatie	Bulkdichtheid	Watervasthoudend vermogen (grond)waterpeil Indringingsweerstand Structuurbeoordeling Textuur (zand-silt-klei)
Waterzuivering	Nmin najaar	NO ₃ in bovenste grondwater
Recycling van nutriënten	pH, N-totaal, Mineralisatie (PMN), P-totaal en -beschikbaarheid, K-totaal en -beschikbaarheid	N-, P-, K-overschotten Nutriëntenefficiëntie (afvoer vs. aanvoer) Aandeel N, P, K uit organische meststoffen C/N ratio meststoffen Ca/Mg ratio
Klimaat/koolstof	Bodemorganische koolstof (C)	C-balans of EOS berekening
Habitat voor biodiversiteit	PMN Bacteriële biomassa, Schimmel biomassa	Aaltjes Regenwormen, Bacteriële biomassa (PLFA) schimmel biomassa (PFLA)
Wettelijk beschermde gebieden	pH, P-AL	Vochttoestand (diepte grondwaterstand)
Regulerend vermogen/stikstof	pH, CEC, Fosfaat verzadigingsgraad	N-depositie Vochttoestand

Door koppeling van de bodemindicatoren met de belangrijkste functies, ontstaat een lijst van parameters welke gebruikt zouden kunnen worden om de staat van de bodem – in relatie tot de belangrijkste bodemfuncties – te bepalen en te monitoren. Voor kleigronden zijn dit, gezien de voorgestelde primaire functies uit hoofdstuk 3, de bodemorganische (kool)stof en de zuurgraad, voor veengronden de bodemorganische (kool)stof en bulkdichtheid, en voor zandgronden zijn de indicatoren bulkdichtheid, Nmin najaar, PMN, bacteriële en schimmel biomassa, en pH/P-AL het meest relevant. Ook zouden voor de diverse functies nog aanvullende indicatoren overwogen kunnen worden zoals een versterkte inzet op bodembiodiversiteitsindicatoren en (grond)waterpeil in de veengebieden. Of deze data ook beschikbaar zijn in de huidige datasets (gratis dan wel betaald), wordt in het volgende hoofdstuk onderzocht. Veel van deze indicatoren zijn echter ook nieuw en (nog) sterk in ontwikkeling. Hierdoor is de interpretatie van gevonden waarden vaak nog een lastige en veeleisende klus.

5 Databeschikbaarheid en -gebruik

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op beschikbare bodemdata, eigenaarschap van data en wordt een inschatting gemaakt van de bruikbaarheid voor verdere analyse.

De ontwikkeling van de BLN zoals beschreven in hoofdstuk 3 wil niet zeggen dat deze systematiek al heeft geleid tot grootschalige en goedkope monitoring van Nederlandse gronden. Toepassing van de BLN heeft vooral plaatsgevonden binnen de dataverzameling van het programma Slim Landgebruik en de PPS Beter Bodembeheer. Daarbij is

- Een analyse uitgevoerd op landelijke data uit 2018 van de zogenaamde CC-NL-bemonstering op koolstofvastlegging. Doordat de bemonstering een ander doel had dan de bodemkwaliteit betreft de analyse slechts een deel van de BLN-data.
- Een groot deel van de BLN-indicatoren is gemeten in lange termijnexperimenten naar bodemmaatregelen om na te gaan in hoeverre deze maatregelen ook de bodemkwaliteit kunnen beïnvloeden (Hoogmoed et al., 2021; Schepens et al., 2022).
- Ook zijn de BLN-indicatoren gemeten op ca. 130 bedrijven in de bodem- en klimaatnetwerken van Slim Landgebruik waarbij zo'n 30 bedrijven uit Fryslân betrokken zijn.
- Binnen de PPS Beter Bodembeheer wordt de BLN tenslotte getest bij 16 akkerbouwbedrijven verdeeld over heel Nederland waarbij zowel de klassieke als alternatieve meetmethoden worden toegepast.

5.1 Bodemdata

In het kader van deze studie is nagegaan welke gegevens beschikbaar zouden zijn uit de CC-NL studie. Tabel 3 geeft een overzicht van de in die studie gemeten indicatoren. Opvallend is dat naast het uitgebreide assortiment aan organische stof/koolstof metingen ook bodembioologische indicatoren via de PLFA-methode zijn gemeten. Deze methode wordt weliswaar aangeboden door een laboratorium (Eurofins), maar behoort niet tot de standaard bepalingen.

In Figuur 10 is zichtbaar dat met de CC-NL zo'n 100 locaties in Fryslân zijn bezocht verspreid over akkerbouwpercelen, graslandpercelen en natuur. De CC-NL data zijn verzameld ten behoeve van Slim Landgebruik en met toestemming van de grondeigenaar. Navraag bij de beheerder van deze data (WenR) leerde dat de data slechts in geaggregeerde vorm beschikbaar zouden zijn. Wat die geaggregeerde vorm precies inhoud kon helaas niet worden aangegeven. Indien voor een inventarisatie van data voor Fryslân ook de exacte locaties nodig zouden zijn, zou individuele toestemming van de grondeigenaren opnieuw gevraagd moeten worden.

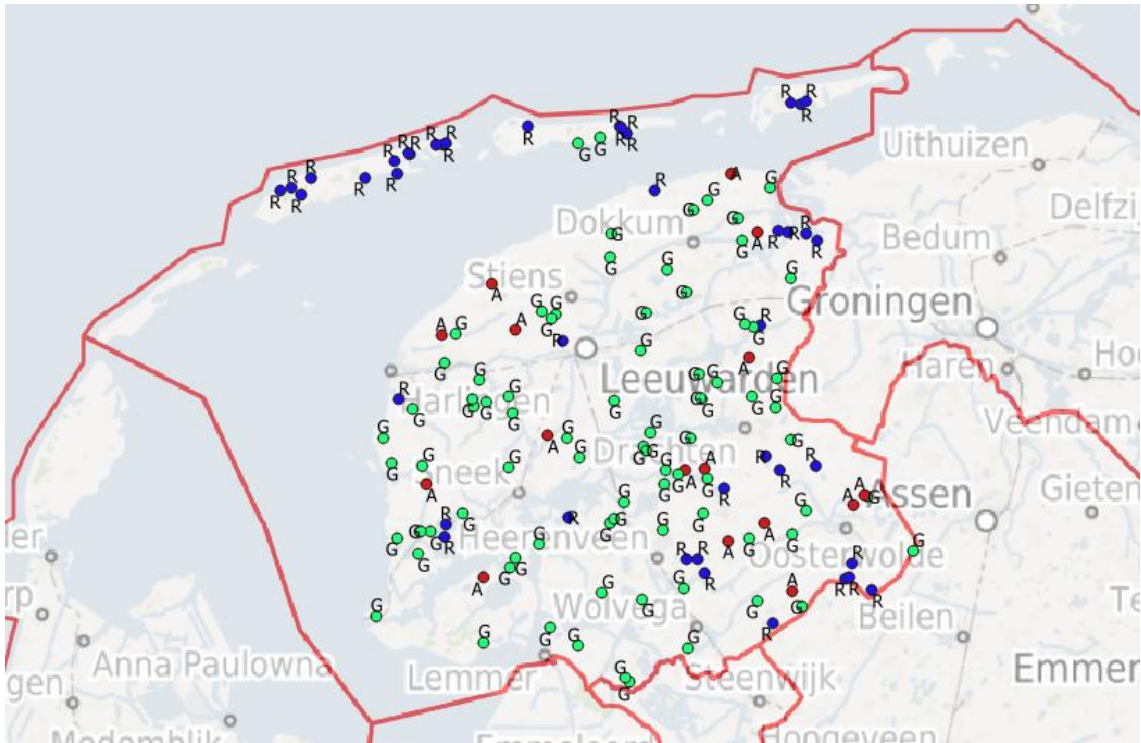
Ook het laboratorium van Eurofins beschikt over een aanzienlijke dataset voor Fryslân. Hierbij gaat het om ruim 500 metingen. Ook deze zijn inzetbaar waarbij gemiddelden van steeds ca. 20 locaties beschikbaar zouden zijn voor verdere analyse. Het betreft hierbij een beperkte set aan jaarlijkse metingen en een uitgebreide set aan vierjaarlijkse metingen volgens de lijst in Tabel 3. Opvallend hierbij is dat de lijst redelijk overeenkomt met de CC-NL indicatorenlijst, maar de bodembioologische indicatoren ontbreken. Naast de puur landbouwkundige percelen beschikt Eurofins ook over een beperkte set aan analyse van de natuurgronden. Gegevens voor Fryslân zouden ook voor deze gronden in geaggregeerde vorm beschikbaar zijn. Hoewel het aantal analyses vergeleken met de landbouwkundige set beperkt is, verwacht men dat dit de grootste dataset voor natuurgronden is.

Tabel 3: Beschikbare data op basis van Eurofins data van landbouwgronden en (beperkt) natuurgronden en uit de Slim Landgebruik CC-NL analyses in 2018.

	Eurofins data¹	CC-NL²
	(n= 518) (gemiddelde 20 per postcode)	(n= ca 100) (1157 heel Nederland)
Organische stof	Soil Organic Carbon (SOC): Soil Organic Matter (SOM) Soil Inorganic Carbon (SIC) Total Carbon (TC)	Soil Organic Carbon (SOC) Soil Organic Matter (SOM-NIRS) Soil Inorganic Carbon (SIC) Total Carbon (TOC) Soil Organic Matter (NatChem)
Fysisch		Dichtheid
Chemisch	N-total soil stock N-plant available (mineral-N) S-total soil stock S-plant available (mineral-S) P-total soil stock P-plant available K-soil stock K-plant available Ca-soil stock Ca-plant available Mg-soil stock Plant available Mg, Fe, Zn Mn, Cu, B, Mo, Si, Co, Se, Na	N-total soil stock S-total soil stock P-plant available P-AL-Klassiek P-Oxalaat Koolzure kalk (KZK) Fosfaatbindend vermogen Fosfaat verzadigingsgraad
Biologisch		PMN DON PLFA_Total PLFA_Fungi PLFA_Bacteria CEC pH Clay, < 2 µm Silt, 2 - 50 µm Sand, > 50 < 2000 µm

¹ 0-10 cm grasland; 0-25 cm bouwland

² 0-30 cm en 30-100 cm



Figuur 10: Meetlocaties van de CC-NL studie binnen de Provincie Fryslân. A = akkerbouw, G = grasland, R = overig.

5.2 Verschillen in meetprotocollen

Naast de verschillen van indicatoren tussen CC-NL en Eurofins data mag verwacht worden dat er ook verschillen zijn in het bemonsteringsprotocol. Zo heeft CC-NL gebruik gemaakt van bemonsteringen rond een vaststaand punt. Daarbij heeft een bemonstering plaatsgevonden tot een diepte van 90 cm, in stappen van 30 cm. Eurofins hanteert een standaard protocol. Hierbij worden monsters in een W-vorm in een perceel genomen. Daarbij kunnen tussen jaren verschillen optreden in de bemonstering, doordat soms percelen en soms kavels worden bemonsterd. Eurofins hanteert standaard een diepte van 25 cm voor akkerbouwgronden en slechts 5 cm voor graslandpercelen. Hiermee verschillen de bemonsteringsdieptes tussen CC-NL en Eurofins data. De standaarden die voor het BLN-protocol worden aanbevolen zijn 40-50 steken in een W-vorm middels een guts van 0-25 cm. De verschillen tussen de meetprotocollen bemoeilijkt de vergelijking tussen de datasets.

6 Advies voor de verdere analyse

De vraag hoe het gesteld is met de actuele bodemvitaliteit in Fryslân, gezien vanuit de diverse functies die de bodem heeft en de bedreigingen die ons in de toekomst mogelijk staan te wachten, laat zien dat er grote verschillen zijn tussen de bodemtypes veen, klei en zand.

De afbraak van veen en verzuring na oxidatie kan gevolgen hebben voor de samenstelling van het bodemleven op de veengronden. Op de kleigronden kan verdichting en verzilting, die we vaak ook tot dieper in de bodem aantreffen, leiden tot veranderingen in met name de fysische bodemkwaliteit maar ook nutriëntenhuishoudingen en pH. En tenslotte kan op de zandgronden door de trend naar verzuring en vermisting de bodemkwaliteit beïnvloed worden, waarbij sprake kan zijn in verschuivingen van de chemische en biologische bodemkwaliteit. Hierdoor zijn deze gronden relatief vatbaar voor droogte, ziekten en plagen. De trends oefenen invloed uit op de verscheidene belangrijke functies die van deze gronden worden verwacht.

De verkenning naar de huidige staat van de bodem in Fryslân aansluitend bij de functies, laat zien dat de bodem het beste in de samenhang en vanuit een systeembenadering benaderd kan worden. Transparantie van het resultaat, begrijpelijkheid en relatieve eenvoud zijn belangrijk om trends in de tijd te kunnen volgen en inzichten begrijpelijk te houden voor eenieder die zorgt draagt voor de bodem.

Een verdere analyse van de huidige staat van de bodem, zo laat deze inventarisatie zien, zou kunnen bestaan uit een drietal componenten:

1. Provincie-brede scan op basis van Eurofins data. Voordeel is dat deze data relatief eenvoudig beschikbaar zijn en een eerste beeld kunnen geven van de toestand van de bodem in de provincie Fryslân. Beperkingen betreffen het ondiepe karakter van de metingen (0-10 cm) op de graslandpercelen, de focus op landbouwpercelen met beperkt inzicht in de natuurgronden en het gebrekkige zicht op bodemleven indicatoren wat deze gestandaardiseerde, eenvoudige, goedkope en snelle methodiek geeft.
2. Een verdere analyse op basis van de beschikbare BLN-data uit de CC-NL analyses. Dit zou kunnen bestaan uit een analyse op een hoger geaggregeerd niveau. De CC-NL dataset omvat vrijwel alle belangrijke bodemindicatoren, op 'Nmineraal in het najaar' na. Voor een diepere analyse van de toestand van de bodem waarbij gebruik gemaakt moet worden van elke bemonsteringslocatie is opnieuw toestemming van de eigenaren van de locatie een vereiste.

3. Aanbevolen wordt om in aanvulling op (1) of (2) een verdiepende monitoring te realiseren op bijvoorbeeld 15 focuslocaties. Hierbij zou specifiek gekeken kunnen worden naar locaties die representatief zijn voor een bepaald gebied, bodemtype en aansluiten bij de primaire bodemfuncties. Op die locaties kunnen indicatoren uitgebreider worden gevolgd om met name meer zicht te krijgen op de bodembioïologische indicatoren en eerder zicht te krijgen op veranderingen en de achtergronden daarvan. Overwogen kan worden om hierbij ook de bodembioïologische analyses verder uit te breiden met een analyse van de microbiële gemeenschap via eDNA analyse van de bodem met Next Generation Sequencing (NGS). Dergelijke technieken zijn bij verschillende organisaties waaronder Bioclear beschikbaar.
4. Tenslotte kan overwogen worden om bovenstaande analyses te completeren met een evaluatie op basis van de OBI-score. Hierbij kan zicht worden gekregen over de potentie voor verbetering op basis van streefwaarden. Een dergelijke analyse is echter alleen van waarde indien direct kan worden aangesloten bij daadwerkelijke data en een vergelijk tussen de BLN-indicatoren en OBI-uitslagen kan worden gemaakt. Ook moet rekening worden gehouden met de sterke focus op de productiefunctie van de bodem in de OBI-aanpak.

Tabel 4: Effectmonitoring van de bodemkwaliteit gebied dekkend en gericht op focuslocaties op basis van een frequentie van 10 jaar (gebied) en 3 jaar (focuslocaties).

Bodemfunctie	Primaire indicatoren gebied dekkend	Toelichting	Aanvullende indicatoren focuslocaties	Toelichting
Organische stof	Organische stof (%), Bodemorganische koolstof (C) zuurgraad (pH),	Stabiël factor, bewezen indicator algemene bodemkwaliteit en klimaat/koolstof	Hot water carbon (HWC) als snelle indicator voor verandering	
Bodemfysisch	Bulkdichtheid	Indicator bodemverdichting en waterregulatie	Watervasthoudend vermogen Indringingsweerstand Structuurbeoordeling Vochttoestand (diepte grondwaterstand)	Op termijn mogelijk via satellietbeelden plasmvorming
Bodemchemisch	Zuurgraad (pH) N-totaal, P-totaal K-totaal N,P,K beschikbaarheid	Indicatoren recycling nutriënten en stikstof	N-, P-, K-overschotten N ⁻ -mineraal najaar NO ₃ bovenste grondwater P-AI Fosfaat verzadiging	
Bodembioïologisch	PMN, Bacteriële biomassa, Schimmel biomassa	Globale indicator microbiële activiteit	Bacteriële biomassa (PLFA) Schimmel biomassa (PFLA) Regenwormen Microbioom (eDNA analyse) Aaltjes	

Op basis van bovenstaande zou een monitoringsplan, gericht op de doelgroepen bestuurders, deskundigen en beleidsmakers en overige geïnteresseerde er als volgt kunnen uitzien:

- Effect monitoring op basis van gebieden. De monitoring vindt gebied dekkend plaats op basis van steekproeven. Hierbij wordt gemeten aan de parameters die aansluiten bij de BLN-indicatoren. Analyse op basis van Eurofins data of CC-NL gegevens.
- Effect monitoring gericht op geselecteerde locaties (bijvoorbeeld 15 locaties met 5 op veen, 5 op klei en 5 op zand inclusief zowel landbouw- als natuur natuurgronden).

Een samenvatting van een dergelijke aanpak is weergegeven in Tabel 4.

Literatuur

- Aequator. (2016). Verdichting in het Noorden. Beschikbaar via:
<https://www.aequator.nl/wp-content/uploads/2017/08/Verdichting-in-het-noorden-21-9-2016.pdf>
- Beltman, W., Boesten, J., Reinds, G. J., Reijneveld, A., Rietra, R., Römken, P., & Velthof, G. (2019). Chemische Bodemkwaliteit in Nederland. Wageningen Environmental Research & Eurofins Agro.
- Bijlsma, S. (1997). Het Friese veld - Zandgronden. *Twirre*, 8, 4–6.
- Bonfante, A., Basile, A., & Bouma, J. (2020). Targeting the soil quality and soil health concepts when aiming for the United Nations Sustainable Development Goals and the EU Green Deal. *SOIL* 6, p. 453-466.
- Compendium voor de Leefomgeving. (2019). Stikstofdepositie, 1990-2018.
<https://www.clo.nl/indicatoren/nl0189-stikstofdepositie>
- Conijn, J. G., & Lesschen, J. P. (2015). Soil organic matter in the Netherlands : Quantification of stocks and flows in the top soil. Alterra rapport 2663, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek. Wageningen, 72 p. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/498774>
- Fryslân, P. (2022). Startnotitie Bodembeleid. Provincie Fryslân, Leeuwarden.
- Fryslân, W. F. en P. (2020). Ontwerp-Veenweideprogramma 2021-2030 Foarút mei de Fryske Feangreiden. Provincie Fryslân & Wetterskip Fryslân, Leeuwarden.
- Haan, J.J. de., E. van den Elsen, & Visser, S.M. (2021). Bodemindicatoren voor landbouwgronden in Nederland (BLN versie 1.1). Wageningen Plant Research, WUR Open Teelten, Wageningen. <https://edepot.wur.nl/550065>
- Haan, J.J. de, E. van den Elsen & Visser, S.M. (2021). Evaluatie van de Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland (BLN), versie 1.0; BLN, versie 1.1 en schets van een ontwikkelpad naar een BLN, versie 2.0. Wageningen Research, Rapport WPR-883. 56p. <https://doi.org/10.18174/549973>
- Hanegraaf, M.C, van den Elsen, H.G.M., de Haan, J.J., & Visser, S.M (2019). Bodemkwaliteitsbeoordeling van landbouwgronden in Nederland - indicatorset en systematiek, versie 1.0. Wageningen Research, Rapport WPR-795. <https://doi.org/10.18174/498307>
- Hoogmoed, M., Timmermans, B.G.H., Bloem, J., van Asperen, P., Crujisen, J., De Haan, J., Selin Norén, I., Slier, T., Wagenaar, J.P., Elsen, A., Martens, S. & Koopmans, C.J. (2021). Verschillen in bodemkwaliteit door koolstofmaatregelen; In beeld gebracht aan de hand van de BLN indicatorset. Louis Bolk Instituut, 37 p.
- Jonge Poerink, B. (2008). Zuurgraadregulering van de bodem bij weidevogelreservaten. Investeringsplan Weidevogelreservaten Fryslân.
- Julkowska, M. M., & Testerink, C. (2015). Tuning plant signaling and growth to survive salt. *Trends in Plant Science*, 20(9), 586–594. <https://doi.org/10.1016/J.TPLANTS.2015.06.008/ATTACHMENT/8DC2849A-B0D8-43B8-9C8B-2457438C7BDB/MMC1.MP4>
- Kwakernaak, C. (2015). Versnelde bodemdaling in veen-gebieden door warmer weer. Alterra, Wageningen University & Research, Wageningen.
- Mol, G., de Cleen, M., Molenaar, C., Keesstra, S., & Visser, S. (2017). Sustainable Development Goals: Transitie realiseren met duurzaam bodem- en landgebruik. Opiniestuk. Wageningen UR, Bewust Bodemgebruik, Terragenda, Rijkswaterstaat.
- RLI. (2020a). De Bodem Bereikt?! Raad voor de leefomgeving en infrastructuur. Den Haag 77 p. https://www.rli.nl/sites/default/files/advies_de_bodem_bereikt_-_def.pdf
- RLI. (2020b). Stop Bodemdaling in Veenweidegebieden - Het Groene Hart als Voorbeeld. Raad voor de leefomgeving en infrastructuur. Den Haag 94 p. https://www.rli.nl/sites/default/files/advies_stop_bodemdaling_in_veenweidegebieden_-_def.pdf

- Ros, G., Kros, H., Van Vliet, P., & Van Duijvendijk, K. (2018). Kwantificering nutriëntensituatie Voor beheergebied Wetterskip Fryslân. Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen.
- Ros, G., & Verweij, S. E. (2019). Bodem- en waterkwaliteit in het beheergebied van Wetterskip Fryslan. Deel 2. Ruimtelijke gebiedsanalyse. Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen. Beschikbaar via: https://www.nmi-agro.nl/wp-content/uploads/2020/03/1726_N17_final.pdf
- Ros G.H., 2019. De Open Bodemindex 0.11. OBI rapportage, 183 pp. Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen
- Ros, G.H., Haan, J., Hendriks, C., Koorneef, G.J., van Rijssel, S.Q., & Koopmans, C.J. (2022). Het meten en beoordelen van de kwaliteit van landbouwbodem: De bodem doorgrond. Bodem 1: 32-34.
- Rutgers, M., van Leeuwen, J. P., Vrebos, D., van Wijnen, H. J., Schouten, T., & de Goede, R. G. M. (2019). Mapping soil biodiversity in Europe and the Netherlands. *Soil Systems*, 3(2), 39. <https://doi.org/10.3390/SOILSYSTEMS3020039>
- Rutting, M. A. L., & Rummens, R. (2020). Bodemkwaliteitskaart PFAS in Fryslân. Antea Group, Heerenveen. In opdracht van Fryske Uffieringstsjinst Miljeu en Omjouwing (FUMO), Grou.
- Ruyter, C. P., de (2018). Naar een weerbaar en volhoudbaar laagveenlandschap. Landschap, 4. Bureau Peter de Ruyter landschapsarchitectuur, Haarlem.
- Schepens, J.A.B., Timmermans, B.G.H, Herbert, Z.G.J., M. Hoogmoed, M., Fuchs, L.M., Heupink, D.T., Slier, T., Wagenaar, J.P., & Koopmans, C.J. (2022). Effecten van koolstofvastleggende maatregelen op de (BLN)-bodemkwaliteit indicatoren - Deel 2. Louis Bolk Instituut, Publicatienummer: 2022-010 LbP, 34 p.
- Stuurman, R., Essink, G.O., Broers, H.P., van der Griff, P. (2006). Monitoring zoutwaterintrusie naar aanleiding van de Kaderrichtlijn Water "verziltting door zoutwaterintrusie en chloridevervuiling". TNO in opdracht van VROM. Utrecht. www.helpdeskwater.nl/publish/pages/131615/tno_zoutintrusie2006ur0080a.pdf
- van den Berg, M. (2019). Biomassa circulair ingezet voor compost ten behoeve van bodemvruchtbaarheid in de gemeente Ooststellingwerf in Fryslân. Master Thesis. WUR-FSE, Louis Bolk Instituut, 24 p.
- van den Elsen, E., van Tol-Leenders, D., Teuling, K., Römken, P., de Haan, J., Korthals, G., & Reijneveld, A. (2020). De staat van de Nederlandse landbouwbodems in 2018: Op basis van beschikbare landsdekkende dataset (CC-NL) en bodem-indicatorenlijst (BLN). Wageningen Environmental Research rapport, no. 3048. Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/537281>.
- van Dijk, J.J. (2020). Nationaal Programma Landbouwbodems. Stuk van Jan Jacob van Dijk, namens de ketenpartijen aan de minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Kamerstuk.
- van Essen, E., Harder, W. (2017). Verkennend onderzoek naar bodemverdichting. Aequator Groen & Ruimte, powerpoint presentatie. Beschikbaar via: https://agrarischwaterbeheer.nl/system/files/documenten/nieuws/bodemverdichting_afrondend_verslag.pdf
- Vitens, Provincie Fryslân, Wetterskip Fryslân. (2020). Grondwateratlas. [https://www.fryslan.frl/flysystem/media/Grondwateratlas Fryslân 2020.pdf](https://www.fryslan.frl/flysystem/media/Grondwateratlas_Fryslan_2020.pdf)
- Vries, W., de (2008). Verzuring: oorzaken, effecten, kritische belastingen en monitoring van de gevolgen van ingezet beleid. Alterra, Wageningen. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/44945>
- Vries, W., de, Kros, H., Cees Voogd, J., Van Duivendijk, K., & Ros, G. (2017). De huidige mineralenbalans in Noord-Nederland Kansen voor het sluiten daarvan op regionale schaal en bedrijfsschaal. Wageningen University & Research, Environmental Research & Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen.
- Wouda, T. (2019). Bodemverdichting groot probleem. Nieuwe Oogst, 12. Beschikbaar via: <https://www.aequator.nl/wp-content/uploads/2019/09/bodemverdichting.pdf>

Bijlage 1: Prioritering bodemfuncties matrixtabel

In onderstaande tabel is de volledige score van de prioriteit van bodemfuncties, op een schaal van 1-5 (5 belangrijkste), weergegeven. Dit op basis van verscheidene bodemexperts vanuit de Provincie Fryslân. Er is een onderscheid gemaakt tussen kleigronden, zandgronden, en veengebieden.

Bodemfunctie	Klei	Zand	Veen
Productiviteit	5	4	4
Waterregulatie	3	5	5
Waterzuivering	1	5	3
Recycling van nutriënten	2	2	4
Klimaat/koolstof	4	4	5
Habitat voor biodiversiteit	3	5	4
Wettelijk beschermde gebieden	2	5	4
Regulerend vermogen/stikstof	2	4	4

Bijlage 2: BLN indicatoren voor het bepalen van bodemkwaliteit (versie 1.1).

Nr	Indicator	Klassieke meetmethode	Snelle, goedkope meetmethode*	Eenheid
Organische stof indicatoren				
1	Organisch stofgehalte (Soil Organic Matter – SOM)	Gloeiverlies 550 °C	NIRS	%
2	Organisch koolstofgehalte (Soil Organic Carbon – SOC)	Koolstof, 550 °C	NIRS	%
3	Afbreekbare fractie organische stof	Extractie in heet water (HWC)	n.b.	mg kg ⁻¹
Fysische indicatoren				
4	Watervasthoudend vermogen	Zandbak/drukpan	pedotransferfunctie o.b.v. textuur + OS	m ³ m ⁻³
5	Aggregaatstabiliteit	Natte zeefmethode	n.b.	%
6	Indringingsweerstand	Penetrometer	n.b.	MPa
7	Droge bulkdichtheid	Massa na drogen 105 °C	Pedotransferfunctie o.b.v. OS%	kg m ⁻³
Chemische indicatoren				
8	Zuurgraad (pH)	Extractie in CaCl ₂	NIRS	-
9	Stikstof totaal (N-totaal)	Hassink	NIRS	g kg ⁻¹
10	Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN)	Anaerobe incubatie	n.b.	mg kg ⁻¹
11	Fosfaatvoorraad (P-Al) en fosfaat beschikbaarheid (P-CaCl ₂)	Extractie in ammoniumlactaatazijnzuur Extractie in CaCl ₂	NIRS n.b.	g P ₂ O ₅ 100 g ⁻¹ mg P kg ⁻¹
12	Kalivoorraad (K-CEC) en kalibeschikbaarheid (K- CaCl ₂)	Co-hexamine Extractie in CaCl ₂	NIRS n.b.	mmol+ kg ⁻¹ mg K kg ⁻¹
Biologische indicatoren				
13	Aaltjes, aantallen en diversiteit	Microscopie	PCR	# 100 ml ⁻¹ verse grond # taxa 100 ml ⁻¹ verse grond
14	Plantparasitaire aaltjes, aantallen en diversiteit	Microscopie	PCR	# 100 ml ⁻¹ verse grond
15	Bacteriële biomassa	Microscopie	PLFA	µg C g ⁻¹ droge grond
16	Schimmelbiomassa	Microscopie	PLFA	µg C g ⁻¹ droge grond
17	Regenwormen, aantallen en diversiteit	Mosterd extractie	n.b.	# m ⁻² # taxa m ⁻² #
Overige indicatoren				
18	Visuele beoordeling	Visueel	n.b.	Bodemstructuur # Bodemleven Beworteling

*Betekenis afkortingen: n.b. = niet beschikbaar.