

Nieuwe steekproefomvang voor landelijke monitoring koolstof en bodemkwaliteit

Vervolg op rapportages CC-NL en De staat van de Nederlandse landbouwbodems in 2018

Teuling, K.¹, M. Knotters¹, T.P. van Tol-Leenders¹, J.P. Lesschen¹, J.A. Reijneveld²

¹Wageningen Environmental Research

²Eurofins Agro

Colofon

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research met subsidie van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend Programma Slim Landgebruik (BO-53-002).

December, 2021

Contact: Slimlandgebruik@wur.nl

Teuling, K., M. Knotters, T.P. van Tol-Leenders, J.P. Lesschen, J.A. Reijneveld, 2021, *Nieuwe steekproefomvang voor landelijke monitoring koolstof en bodemkwaliteit, Vervolg op rapportages CC-NL en De staat van de Nederlandse landbouwbodems in 2018*, Wageningen Environmental Research. Blz.; 22, fig.; 4, tab; 5.

Inhoudsopgave

Verantwoording.....	4
Samenvatting.....	5
1 Inleiding.....	6
1.1 Achtergrond.....	6
1.2 Probleemstelling.....	6
1.3 Doel.....	7
1.4 Opzet rapport.....	7
2 Ontwerpkeuzes.....	8
2.1 Doelstelling steekproef.....	8
2.2 Eisen en randvoorwaarden.....	8
2.3 De Landelijke Steekproef Kaarteenheden.....	9
2.4 Uitbreidingen voor alle interessedomeinen.....	9
3 Aanpak uitbreiding.....	10
3.1 Aanvulling en uitbreiging steekproef.....	10
3.1.1 Basisaanvulling.....	10
3.1.2 Toekomstbestendigheid.....	11
3.1.3 Ondersteuning klimaatdoelstellingen.....	11
4 Resultaat.....	13
4.1 Aanvulling van de huidige steekproef.....	13
4.2 Landgebruik.....	13
4.3 Uitbreiding Klimaatdoelstelling.....	14
4.3.1 Domein minerale landbouwgronden.....	14
4.3.2 Alle domeinen.....	17
4.4 Bodemkwaliteit.....	19
5 Conclusie en discussie.....	20
Literatuur.....	21
Bijlage 1. Scenario's voor uitbreiding LSK.....	22

Verantwoording

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

Akkoord Referent (WENR) die het rapport heeft beoordeeld,

functie: Onderzoeker, team Bodem Water en Landgebruik, Wageningen Environmental Research

naam: Erik van den Elsen

datum: 06-12-21

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Mirjam Hack-ten Broeke

datum: 09-12-21

Samenvatting

Binnen het klimaatverdrag heeft Nederland zich verplicht om jaarlijks te rapporteren over de verandering in voorraad organische stof en koolstof in de bodem, met onderscheid naar landgebruik en landgebruiksverandering, en over maatregelen in de landbouw met betrekking tot koolstofvastlegging in de bodem.

Met het oog op komende klimaatrapportages (2020-2030) is vanwege het gestelde beleidsdoel van CO₂ - toename van 0,5 Mton per jaar in minerale landbouwbodems voor Nederland een nauwkeurige monitoring van de koolstofvoorraad van belang. In 1998 is deze voorraad bepaald aan de hand van bemonsteringgegevens van 1392 locaties van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK). In de CC-NL meetcampagne in 2018 is de koolstofvoorraad opnieuw bepaald. Tijdens deze bepaling is gebleken dat de LSK-steekproef in de huidige vorm niet sterk genoeg is voor de hiervoor genoemde doelen.

Een uitbreiding van de steekproef uit 2018 is gewenst omdat alleen zo een volledig en voldoende nauwkeurig landsdekkend beeld van de koolstofvoorraden in de bodem kan worden bepaald. Daarnaast is het noodzakelijk om bij bepaalde combinaties van landgebruik en bodemtype de steekproef uit te breiden voor een nauwkeurigere schatting van gehalten aan organische stof, koolstofvoorraden en veranderingen.

Binnen de LSK zijn 1392 locaties gedefinieerd. Hiervan zijn er in 2018 uiteindelijk 1152 bemonsterd. Er zijn 240 locaties niet bemonsterd vanwege bebouwing of het ontbreken van toestemming. Om dit in de volgende meetcampagne te voorkomen en tot een toekomstbestendig steekproefontwerp te komen zijn er in totaal 1632 locaties nodig, 480 meer dan in de originele LSK. Hiermee wordt de steekproef opnieuw aangevuld tot de originele grootte en tegelijk uitgebreid om de te verwachten, niet bemonsterbare locaties te vervangen.

In het kader van het klimaatverdrag zijn er echter meer metingen nodig. Om de steekproef nauwkeurig genoeg te maken voor de specifieke klimaatdoelstelling om vanaf 2030 gemiddeld 0,5 Mton koolstof per jaar vast te leggen in minerale landbouwgronden, zijn 365 extra punten nodig in het domein minerale landbouwgronden.

Deze combinatie van uitbreidingen tot een toekomstbestendige en beleidsondersteunende steekproefopzet resulteert dan in een uitbreiding met in totaal 845 locaties. Dit komt neer op een steekproef met in totaal 1997 locaties.

Mogelijk ontstaat er in de toekomst ook een behoefte om andere beleidsdoelstellingen te monitoren in het kader van duurzaam bodembeheer en bodemkwaliteit. Op basis van mogelijke nieuwe beleidsdoelen voor duurzaam bodembeheer kan er dan berekend worden hoeveel extra meetpunten nodig zijn.

Een nieuwe steekproefomvang voor de landelijke monitoring van koolstof is hiermee bepaald. Daarnaast weten we welke steekproefomvang noodzakelijk is om het klimaatbeleid te monitoren en te ondersteunen. Om daadwerkelijk te kunnen meten zijn er nog een aantal stappen te doorlopen, namelijk allereerst het loten van nieuwe meetpunten, dus de exacte locaties bepalen op basis van de gewenste steekproefomvang. Daarnaast is er afstemming nodig met de ontwikkelingen in de Bodemkwaliteitsindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland (BLN) over welke indicatoren, op welke wijze, rekening houdend met de metacondities, bemonsterd moeten gaan worden. Tot slot is er een meetplan nodig waarin de bemonstering concreet is uitgewerkt.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Op 23 mei 2018 stuurde de toenmalige minister van LNV, Carola Schouten, haar Bodemstrategie naar de Kamer. Hierin verwoordt ze dat haar streefbeeld is dat in 2030 alle Nederlandse landbouwbodems duurzaam worden beheerd, zodat de bodem optimaal kan functioneren en de kwaliteit zo hoog mogelijk is en blijft voor volgende generaties. Naast deze beleidsambitie moet er ook een doel worden bereikt: volgens het regeerakkoord moet in 2030 1,5 Mton CO₂-equivalent klimaatwinst worden behaald door ander landgebruik dan voorheen. In het Klimaatakkoord staat uitgewerkt dat in landbouwbodems buiten veenweide-gebieden 0,5 Mton CO₂-equivalent in de bodem moet worden vastgelegd. Dit is in lijn met het door Nederland ondersteunde Franse '4 pour mille'-initiatief om door middel van duurzaam bodembeheer onder andere extra koolstofvastlegging in Nederlandse landbouwbodems te realiseren.

De koolstofvoorraad in de bodem van Nederland is in 1998 bepaald aan de hand van bemonsteringgegevens van 1392 locaties van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK).

In 2018 gaf het Ministerie van LNV opdracht om de dataset te actualiseren met het oog op komende klimaatrapportages (2020-2030). Door de uitgebreide meetcampagne in 2018 kennen we de gehalten en voorraden van organische stof en koolstof in de bodem van Nederland en de staat van een aantal bodemkwaliteitsindicatoren (Van Tol et al., 2019; Van den Elsen et al., 2020).

1.2 Probleemstelling

Binnen het Klimaatverdrag heeft Nederland zich verplicht om jaarlijks te rapporteren over de verandering in de voorraad organische stof en koolstof in de bodem, met onderscheid naar landgebruik en landgebruiksverandering, en over maatregelen in de landbouw die betrekking hebben op koolstofopslag. De rapportage omvat in ieder geval de laag 0 - 30 cm en waar relevant de laag 30 - 100 cm beneden maaiveld. De rapportage gaat naar het UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) en naar de EU en behoort tot de categorie LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry) van de zogenaamde National Inventory Reports. Voor een dergelijke rapportage zijn guidelines beschikbaar. De metingen van 2018 zijn de referentie om de relatie met het verleden en de toekomst te kunnen leggen. De gehanteerde methodiek en de resultaten van de meetcampagne in 2018 en de vergelijking met de vorige campagne in de jaren '90 (1998) van de vorige eeuw zijn daarom vastgelegd in een wetenschappelijk manuscript en inmiddels aangeboden ter review voor publicatie (Knotters et al., p. 2021).

Met het oog op komende klimaatrapportages (2020 - 2030) is vanwege het gestelde beleidsdoel van 0,5 Mton CO₂ vastlegging voor Nederland in minerale bodems per jaar nauwkeurige monitoring van de koolstofvoorraad in de Nederlandse bodem van belang. In circa 1998 is deze voorraad bepaald aan de hand van bemonsteringgegevens van 1392 locaties van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK). In de CC-NL meetcampagne in 2018 zijn deze locaties wederom bezocht. Van alle punten is 85% bemonsterd die ook in 1998 zijn bemonsterd. Door bijvoorbeeld toegenomen bebouwing zijn er meetpunten vervallen. Daarnaast is het noodzakelijk om bij bepaalde combinaties van landgebruik en bodemtype de steekproef uit te breiden voor een nauwkeurigere schatting van gehalten aan organische stof, koolstofvoorraden en veranderingen. Een uitbreiding van de steekproef 2018 is gewenst omdat alleen zo een volledig, voldoende nauwkeurig landsdekkend beeld van de koolstofvoorraden in de bodem kan worden bepaald. Een nieuwe steekproefomvang zorgt voor een toekomstbestendig monitoringssysteem dat kan worden gebruikt ten behoeve van zowel LULUCF-rapportages als monitoring van de brede bodemkwaliteit in Nederland en bestand is tegen een verwachte verandering in landgebruik waardoor opnieuw meetpunten zullen verdwijnen uit de steekproef.

1.3 Doel

Het doel van dit project is om een nieuwe steekproefomvang te bepalen waarmee nauwkeurig de koolstofvoorraad in de Nederlandse bodem en de bodemkwaliteit in de periode 2020-2030 kan worden gemonitord voor zowel LULUCF-rapportages als rapportages over de bodemkwaliteit in Nederland.

1.4 Opzet rapport

In hoofdstuk 2 worden de mogelijke ontwerpkeuzes besproken. Hoofdstuk 3 beschrijft de aanpak van om tot het nieuwe steekproefontwerp te komen. Hoofdstuk 4 geeft de resultaten. Hoofdstuk 5 sluit af met conclusies en discussiepunten over de stap die na het ontwerp van deze nieuwe steekproef naar monitoring dient te worden gezet.

2 Ontwerpkeuzes

2.1 Doelstelling steekproef

Het doel van de monitoring, waarvoor de steekproef wordt ontworpen, is het vaststellen van het organische stofgehalte, de koolstofvoorraad en veranderingen daarvan in de tijd en mogelijk ook bodemkwaliteitsindicatoren voor de volgende interessedomijnen:

1. Landelijk gebied in Nederland: onverhard, in gebruik als landbouw, bos en natuur, laag 0-30 cm en laag 30-100 cm.
2. Minerale gronden in het landelijk gebied in Nederland, laag 0-30 cm en laag 30-100 cm, als geheel en per landgebruikscategorie: bouwland, grasland, natuur, bos.

2.2 Eisen en randvoorwaarden

1. **Nauwkeurigheid:** Veranderingen in organische stofgehalte en koolstofvoorraad moeten voldoende nauwkeurig worden vastgesteld voor de genoemde interessedomijnen; zie de uitwerking hieronder.
2. **Robuustheid:** Naast beantwoording aan de bovenstaande doelen moet de steekproef ook informatie opleveren voor beantwoording van toekomstige, nog onbekende vragen of in elk geval kunnen worden aangepast om deze nieuwe vragen te kunnen beantwoorden; zie de uitwerking hieronder.

De **nauwkeurigheidseis** houdt in dat locaties herhaald moeten worden bemonsterd in de tijd. Wanneer je niet op dezelfde locaties terugkeert wordt het immers moeilijker om trends te schatten, omdat je dan ook met ruimtelijke variatie te maken hebt. Die ruimtelijke variatie kan worden omzeild door op dezelfde locaties terug te keren. Dit betekent dat:

1. de locaties van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK), die ook bij CCNL (2018) zijn bemonsterd, worden her-bezocht met nauwkeurige positiebepaling;
2. de LSK wordt uitgebreid voor interessedomijnen waarin nu te weinig steekproeflocaties liggen om organische stofgehalten, koolstofvoorraden en veranderingen daarin nauwkeurig vast te stellen.

De randvoorwaarde van **robustheid** betekent dat:

1. de steekproef niet alleen informatie per interessedomein oplevert, maar ook patrooninformatie, kaartjes dus. De steekproeflocaties moeten daarom een zo goed mogelijke ruimtelijke spreiding hebben. Hier draagt de stratificatie bij de LSK al aan bij. De ruimtelijke spreiding van de aanvullende steekproeflocaties kan worden bevorderd door niet alleen naar interessedomein te stratificeren maar ook naar regio en/of door compacte geografische strata te onderscheiden binnen de interessedomijnen;
2. de steekproef niet alleen informatie oplevert over de toestand of veranderingen daarin, maar ook informatie die gebruikt kan worden in het onderzoek naar natuurlijke en antropogene processen. Daarom moet ernaar worden gestreefd dat de steekproefpunten zo goed mogelijk zijn verspreid over het gehele spectrum van voorkomende eigenschappen. De stratificatie draagt hieraan bij;
3. om procesonderzoek te ondersteunen zou op een aantal steekproeflocaties de set te bemeten variabelen moeten worden uitgebreid. Deze locaties moeten goed verspreid liggen in de eigenschappenruimte.

2.3 De Landelijke Steekproef Kaarteenheden

De Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK) startte in 1988, onder meer om de nauwkeurigheid van de bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000 te bepalen en om de inhoud van kaarteenheden kwantitatief te beschrijven. De LSK bevat 1392 locaties, die volgens een gestratificeerde, enkelvoudige aselechte steekproef zijn geselecteerd (Finke et al., 2001). Min of meer uniforme deelgebieden (strata) zijn onderscheiden op basis van bodemtype en grondwatertrap volgens de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000. In totaal zijn 96 deelgebieden onderscheiden en in elk hiervan zijn steekproeflocaties geloot.

Op basis van bodemtype en grondwatertrap zijn uniforme deelgebieden (96 strata) onderscheiden.

De voordelen van deze steekproef zijn:

- goede spreiding over verschillende bodemkundige en hydrologische situaties;
- goede ruimtelijke spreiding;
- landelijk beeld van koolstofvoorraden en verandering hiervan in de tijd is statistisch significant vast te stellen;
- landelijk beeld bodemkwaliteit voor een aantal indicatoren binnen Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland (BLN, Hanegraaf et. al., 2019) en verandering hiervan in de tijd is statistisch significant vast te stellen;
- geen afhankelijkheid van modellen en daarbij behorende aannames.

Vanwege de bovengenoemde voordelen is ervoor gekozen om als basis vast te houden aan het oorspronkelijke steekproefontwerp en deze uit te breiden met aanvullende punten zoals aangegeven in de aanbevelingen van CC-NL (Van Tol et al., 2019) en de nulmeting bodemkwaliteit (Van den Elsen et al., 2020):

- Punten van de LSK die door bijvoorbeeld bebouwing niet meer kunnen worden bemonsterd vervangen door nieuwe punten;
- Steekproef uitbreiden voor combinaties landgebruik/bodemtype (domeinen) waarin nu te weinig punten liggen om nauwkeurig gehalten, voorraden en veranderingen daarin te kunnen schatten;
- Eén meetcampagne per vijf jaar voor koolstof en bodemkwaliteit.

2.4 Uitbreidingen voor alle interessedomeinen

Tijdens het proces van het definiëren van de uitbreiding van de LSK zijn er vier scenario's overwogen. Elk scenario kwam met een unieke eigenschap, kosten en voor- en nadelen (Bijlage 1). Uiteindelijk is gekozen voor scenario 1, waarin de steekproef wordt uitgebreid voor alle interessedomeinen (combinaties van bodemtype en landgebruik) in Nederland, en niet alleen de landbouwgronden. Dit betekent dat de steekproef ook wordt uitgebreid met locaties in natuur- en bosgronden.

Op EU-niveau zijn ontwikkelingen gaande op het gebied van bodemkwaliteitsmonitoring met behulp van bodemindicatoren. Eén van de vier scenario's die we hebben overwogen omvatte het harmoniseren van de LSK-steekproef met het EU LUCAS-bodemmeetnetwerk. Hier is nu niet voor gekozen. Dit houdt echter niet in dat als er in de toekomst toch voor wordt gekozen om aan te sluiten aan het LUCAS-bodemmeetnetwerk, dit niet meer mogelijk is; de uitgebreide LSK-steekproef is nog steeds geschikt om te combineren met dit of een ander EU-netwerk.

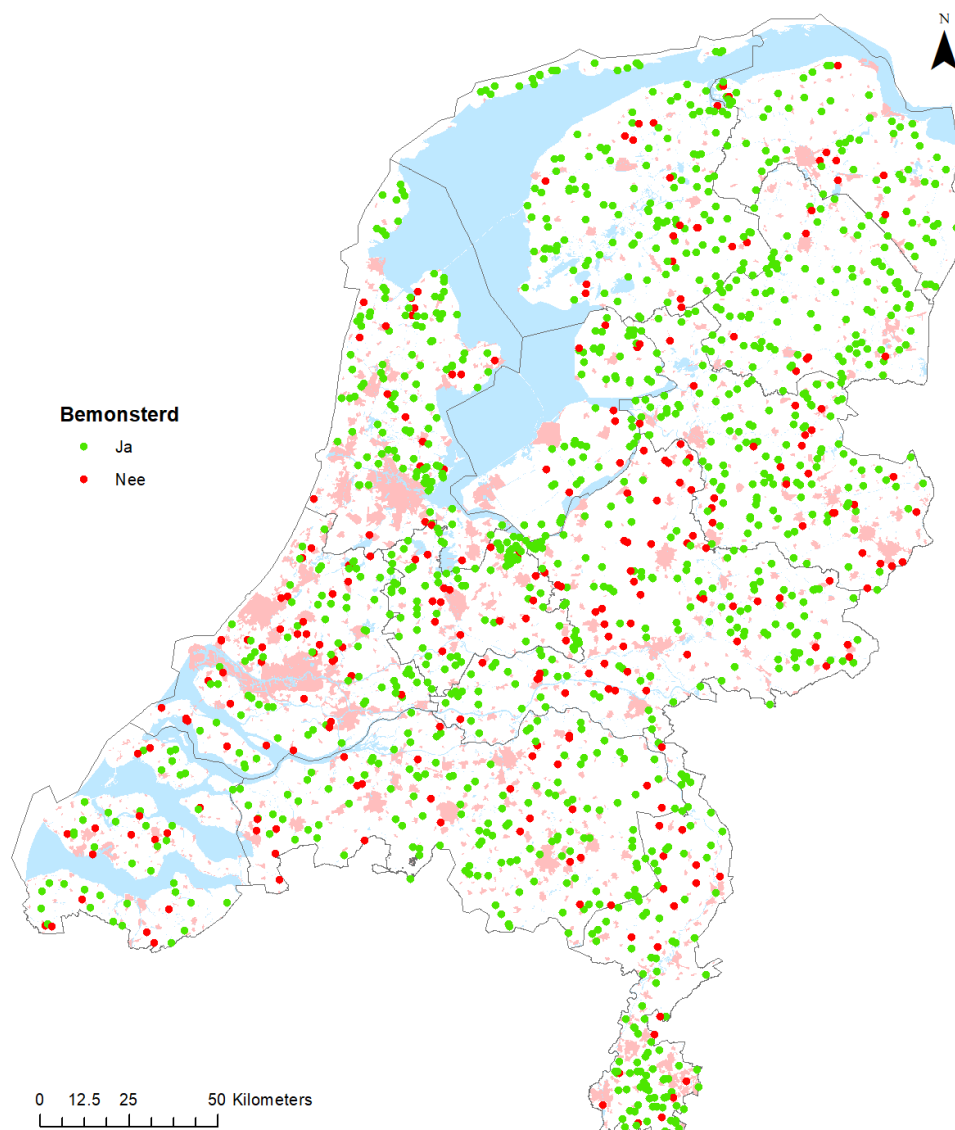
3 Aanpak uitbreiding

3.1 Aanvulling en uitbreiging steekproef

3.1.1 Basisaanvulling

Zoals eerder genoemd, is 15% van de LSK-punten komen te vervallen tijdens de meetcampagne in 2018 (Figuur 1). Dit had meerdere oorzaken, waaronder verstedelijking en toestemmingsproblemen. Deze afname van LSK-punten heeft soms binnen bepaalde domeinen geleid tot een gering aantal of zelfs te weinig punten om statistisch een voldoende goed en nauwkeurig gemiddelde te kunnen berekenen binnen bepaalde domeinen van interesse. Dit heeft invloed op zowel het landelijk beeld dat geschetst wordt voor de indicatoren die binnen deze domeinen geschat worden als ook op het bepalen van de steekproefomvang die nodig is in de toekomst.

Om dit probleem op te lossen is de 15% aan vervallen punten als maatstaf genomen om de LSK-steekproef weer aan te vullen. Dit is gedaan om zowel de geografische verspreiding van punten te verbeteren als om de schattingen binnen domeinen te verbeteren.



Figuur 1 Spreiding van de 1392 LSK-locaties, met in groen de bemonsterde locaties en in rood de niet-bemonsterde locaties tijdens de bemonstering van 2018.

3.1.2 Toekomstbestendigheid

Om rekening te houden met de toekomst is het waarschijnlijk dat er opnieuw punten zullen vervallen om verscheidene, eerder genoemde, redenen. Om te voorkomen dat er opnieuw te grote gaten in de data ontstaan, wordt er geadviseerd om bovenop de aanvulling van 15% die in 2018 is verloren gegaan ook na het aanvullen nog 15% punten extra toe te voegen als buffer aan de steekproef. Hiermee wordt het verwachte toekomstige verlies van punten tegengegaan, voldoende verspreiding over Nederland gerealiseerd en voldoende punten per domein gegarandeerd.

3.1.3 Ondersteuning klimaatdoelstellingen

Het doel van de steekproef en de meetcampagnes ten behoeve van ondersteuning van klimaatdoelstellingen, is in eerste instantie om een landelijk beeld te schetsen van een groot aantal verschillende bodemkwaliteitsindicatoren. Het is ook mogelijk om de steekproef verder uit te breiden met een specifiek doel. In de huidige vorm kan deze steekproef niet goed gebruikt worden om het klimaatbeleid te ondersteunen met als doel om alle Nederlandse landbouwgronden duurzaam te bewerken in 2030 en om in 2030 jaarlijks 0,5 Mton CO₂ vastlegging in Nederlandse minerale landbouwgronden te monitoren. Minerale gronden bestaan uit de zandgronden, leemgronden en kleigronden. De huidige

steekproef is niet nauwkeurig genoeg op minerale landbouwgronden om deze vastlegging van CO₂ goed in beeld te krijgen. Mochten de resultaten van deze steekproef wel hiervoor gebruikt worden, dan is de kans groot dat er foutieve conclusies uitkomen. De reden hiervoor is dat de toename van koolstof die nu in minerale landbouwgronden per jaar verwezenlijkt moet worden is kleiner dan met de huidige steekproefomvang nauwkeurig is vast te stellen.

De benodigde omvang van een steekproef hangt van verschillende factoren af; de gewenste meetnauwkeurigheid van de te meten indicator, de meetfrequentie, de ruimtelijke variatie van deze indicator en statistische maatstaven die aan de steekproef toegekend worden, oftewel de toegestane foutmarge. Het gaat hier om de toename van het koolstofgehalte in minerale landbouwbodems. Hiervan kan op basis van de metingen in 1998 en 2018 een ruimtelijke variatie berekend worden. De statistische maatstaven kunnen worden vastgezet. De steekproef moet nauwkeurig genoeg zijn zodat de minimale toename van koolstof die nodig is om de hiervoor genoemde klimaatdoelen te bereiken gemeten kan worden. Al deze factoren kunnen worden samengevat in de zogenoemde 'kracht' van de steekproef voor het beoogde doel. Deze kracht is een maatstaf die gebruikt kan worden om het aantal metingen dat nodig is te berekenen. Dit wordt verder uitgelegd in sectie 4.3.

4 Resultaat

4.1 Aanvulling van de huidige steekproef

Voor landelijke monitoring van koolstof en bodemkwaliteit zijn 240 extra punten nodig om voldoende meetpunten voor alle deelgebieden (strata) te krijgen om statistisch betrouwbare veranderingen te kunnen rapporteren. Om de verwachte uitdunning in punten voor te zijn en de steekproef toekomstbestendiger te maken wordt er geadviseerd om voor toekomstige monitoring de steekproef met 480 punten uit te breiden (2 x 240). Dit komt neer op een totaal van 1632 meetpunten binnen de LSK (Tabel 1).

Tabel 1 Het aantal punten en aantal voorgestelde extra punten binnen de LSK.

	Extra punten t.o.v. 2018	Aantal punten
1998 (LSK)	-	1392
2018	-	1152
Aanvullen	240	1392
Toekomstbestendig	480	1632

4.2 Landgebruik

Veranderingen in landgebruik door de tijd heen compliceren mogelijk de interpretatie van de resultaten. Landbouwgrond kan bijvoorbeeld worden geconverteerd naar natuur. Om te bekijken of rekening gehouden moet worden met dit veranderend landgebruik is er een analyse uitgevoerd over welk landgebruik er op de meetpunten aanwezig was tijdens de 1998- en de 2018 meetcampagnes. Op basis van veldwaarnemingen in 1998 en 2018 is 79% van het landgebruik hetzelfde gebleven, 17% is nog steeds landbouwgrond maar is bijvoorbeeld veranderd van akker naar grasland, 4% is definitief veranderd van landbouw naar natuur/bos. Deze analyse geeft geen aanleiding om de steekproef met extra locaties binnen specifieke landgebruiksvormen uit te breiden, de additionele uitbreiding met 240 punten bovenop de aanvulling van de verloren gegane punten moet dit opvangen. Tabel 2 geeft de grootte en verdeling van de verandering in landgebruik weer tussen 1998 en 2018.

Tabel 2 Verandering in landgebruik op de LSK meetlocaties tussen 1998 en 2018.

Geen verandering 1998 - 2018	Verandering 1998 - 2018	
	Veranderend landgebruik blijft binnen landbouw	Veranderend landgebruik valt buiten landbouw
79 %	17 %	4 %

4.3 Uitbreiding Klimaatdoelstelling

4.3.1 Domein minerale landbouwgronden

Zoals uitgelegd in sectie 3.1.3, is het mogelijk om de steekproef uit te breiden met een specifiek doel; het ondersteunen van de klimaatdoelstelling om vanaf 2021 gemiddeld 0,5 Mton CO₂ per jaar vast te leggen in minerale landbouwgronden in 2030. Onder het domein minerale landbouwgronden vallen de zandgronden, de leemgronden en de kleigronden. Hier vallen de moerige- en veengronden dus niet onder. Het bepalen van het aantal benodigde waarnemingen hiervoor vergt een aantal aannames en berekeningen.

Allereerst moet het doel gedefinieerd worden. Om de hoeveelheid koolstof vast te leggen zoals genoemd in het klimaatdoel moet er, in het geval van dit monitoringsplan, een vijfjaarlijkse toename in koolstofgehalte gemeten kunnen worden. Eén van de redenen dat het monitoren van bodemkoolstof lastig is, is dat het gaat om een kleine verandering in bodem-organische stof t.o.v. van een grote voorraad die al in de bodem aanwezig is. Om dit te illustreren is in Box 1 uitgewerkt wat de reductiedoelstelling voor bodemkoolstofvastlegging met 0,5 Mton CO₂ per jaar in 2030 betekent voor de te meten verandering in het bodem-organische stofgehalte. Als we deze doelstelling verdelen over alle minerale landbouwgronden, dan gaat het om een absolute toename van het koolstofgehalte met 0.007% per 5 jaar.

Reductiedoelstelling	0.5	Mton CO ₂ in 2030
Jaarlijkse toename (over 2021-2030)	0.05	Mton CO ₂
Totale CO ₂ vastlegging (2021-2030)	2.75	Mton CO ₂
Toename OS voorraad	1.50	Mton OS
Areaal minerale landbouwbodems	1.5	miljoen ha
Verandering OS voorraad per ha	1.00	ton OS/ha (in de periode 2021-2030)
Gem. OS gehalte minerale bodem	4.24	% (op basis van CC-NL)
Gemiddelde bulkdichtheid	1.2	kg/dm ³
Gemiddelde OS voorraad	152.6	ton OS/ha (in laag 0-30 cm)
Verandering in OS voorraad	0.7	%
Nieuw OS gehalte	4.268	%
Toename OS gehalte	0.028	% punt
Toename C gehalte per 10 jaar	0.014	% punt
Toename C gehalte per 5 jaar	0.007	% punt

Box 1 Berekening benodigde 5-jaarlijkse toename in koolstofgehalte bij vastleggingsdoelstelling van 0.5Mton CO₂/jaar.

Dan is dat ook de minimale groei in koolstofgehalte die gemeten moet kunnen worden met deze steekproef. Dat is op dit moment niet mogelijk.

Of de minimale toename van het koolstofgehalte die binnen de steekproef gemeten kan worden hangt af van verschillende factoren en randvoorwaarden;

- het *aantal waarnemingen*;
- de *ruimtelijke variantie* van de doelvariabele (de verandering van het koolstofgehalte in dit geval);
- twee *statistische maatstaven* die worden toegekend, α en β .

Het *aantal waarnemingen* is de factor waaraan gesleuteld kan worden, de andere factoren liggen vast.

De *ruimtelijke variantie* van de verandering van het koolstofgehalte in minerale landbouwgronden is berekend op basis van de verschillen in koolstofgehalte tussen 1998 en 2018. Hiermee is daadwerkelijk de totale variantie berekend die bestaat uit drie componenten. De daadwerkelijke ruimtelijke variantie van de variabele, de positionele fout ten gevolge van het verschil in het vaststellen van de meetlocaties in 1998 (op basis van een kaart) en 2018 (op basis van gps) en de meetfout ten gevolge van het verschil in bemonsteringswijze tussen 1998 (verschillende laagdiktes) en 2018 (lagen van 0-30 cm en 30-100 cm). Er is aangenomen dat elke component in de totale variantie een even groot deel uitmaakt. Aangezien hier alleen de ruimtelijke variantie van belang is, is de totale variantie door drie gedeeld. Dit is ook mogelijk omdat de verwachting is dat de andere twee componenten bij de volgende meetcampagne een stuk kleiner worden. Vervolgens wordt deze waarde gebruikt als ruimtelijke variantie voor de komende 20 jaar en wordt de steekproef uitgebreid voor een interval van 5 jaar. Dat houdt in dat de ruimtelijke variantie ook nog door 4 wordt gedeeld om op een ruimtelijke variantie over 5 jaar te komen.

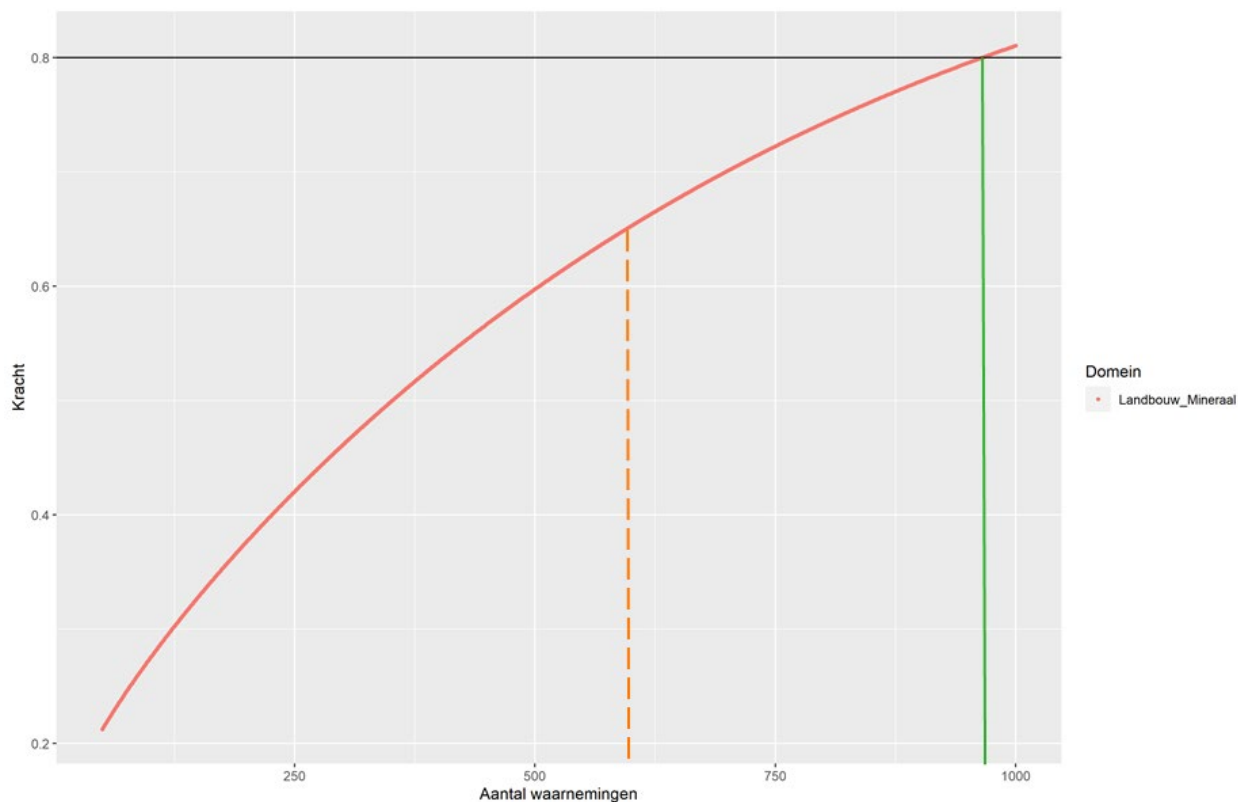
De *statistische maatstaven* zijn een indicatie van de onbetrouwbaarheid van de berekening. Bij deze berekening hoort een nul- en alternatieve hypothese. Deze luidt in dit geval; De 5-jaarlijkse toename van het koolstofgehalte is gelijk aan of minder dan 0.007% C. De alternatieve hypothese is: de 5-jaarlijkse toename is groter dan 0.007% C. Hierbij geldt dat;

- α de kans is op het onterecht verwerpen van de nulhypothese;
- β de kans is op het onterecht niet verwerpen van de nulhypothese.

α , ook wel het significantieniveau, wordt in dit geval 10% gesteld. Dit betekent dat als volgens de statistische berekening de kans dat de steekproef niet goed genoeg is minder dan 10% is, de nulhypothese wordt verworpen en de steekproef goed genoeg wordt geacht.

β is een grenswaarde die wordt ingesteld zodat een situatie tot op zekere hoogte wordt voorkomen waarin de daadwerkelijke groei in het koolstofgehalte wel groot genoeg is, maar waarin dat niet kan worden bewezen met de steekproef. Dit kan leiden tot bijvoorbeeld een investering in maatregelen waar die niet nodig zijn. Deze β wordt 20% gesteld.

De uiteindelijke berekening komt uit op een zogenoemde kracht van de steekproef. Deze kracht is een getal tussen 0 en 1 en wordt groot genoeg geacht bij een waarde van 0.8 of groter. Figuur 2 geeft de relatie tussen het aantal waarnemingen en de kracht van de steekproef voor dit doel weer.



Figuur 2 De kracht van de LSK voor het ondersteunen van het beoogde doel als functie van het aantal waarnemingen. De oranje verticale stippellijn geeft het huidige aantal waarnemingen (600) weer binnen het domein 'landbouw op minerale gronden'. De groene verticale lijn geeft het aantal benodigde punten (965) weer.

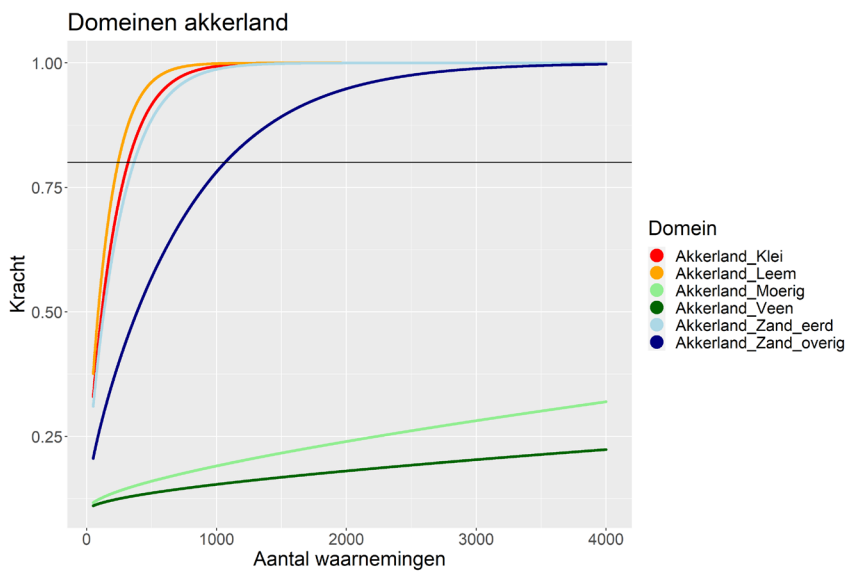
De huidige steekproefomvang in het domein minerale landbouwgronden (600 waarnemingen) geeft een steekproefkracht van ongeveer 0.65. Dit is volgens de maatstaven niet sterk genoeg en leidt tot te grote onzekerheden in het kader van het ondersteunen van de hiervoor genoemde klimaatdoelstellingen. De conclusie is dat er binnen het domein minerale landgronden 365 extra punten nodig zijn om de benodigde toename van koolstof in minerale landbouwgronden goed te kunnen meten. Tabel 3 laat een overzicht zien van het aantal punten dat per sectie nodig zou zijn. Hierbij moet genoteerd worden dat van alle punten die toegevoegd worden bij de aanvulling die in de minerale landbouwgronden vallen, deze technisch gezien niet meer toegevoegd hoeven te worden voor het kopje 'klimaatbeleid'. Dus van de 365 extra punten die nodig zijn, kunnen er al punten hieraan bijdragen bij de eerdere aanvulling van de steekproef.

Tabel 3 Overzicht van extra aantal benodigde meetpunten in de LSK.

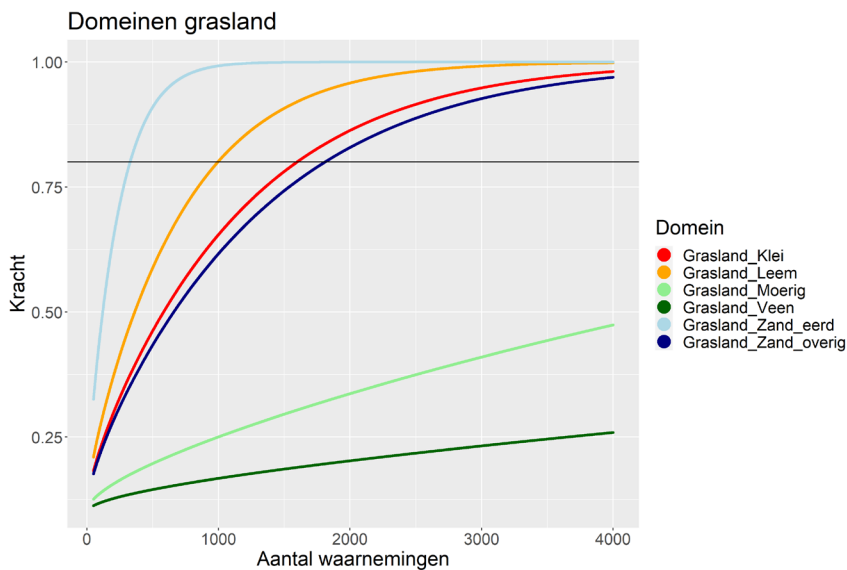
	Aantal punten	Extra punten t.o.v. 2018
1998	1392	-
2018	1152	-
Aanvullen	1392	240
Toekomstbestendig	1632	480
Klimaatbeleid (minerale gronden)	1997	845

4.3.2 Alle domeinen

Het berekende aantal waarnemingen voor het ondersteunen voor het klimaatbeleid is gericht op het domein 'landbouw op minerale gronden'. Dit domein is een samenvoeging van verschillende bodemtype-domeinen die in de rapportages CC-NL en De staat van de Nederlandse landbouwbodems in 2018 zijn gehanteerd. Dit is gedaan omdat het beleid op dat domein gericht is en omdat een samenvoeging van domeinen leidt tot meer waarnemingen binnen het domein. Als het beleid op kleiner niveau gemonitord moet worden, zijn er veel meer waarnemingen nodig. De domeinen zijn opgesplitst in verschillende combinaties van bodemtypes en landgebruiken. Figuren 2 en 3 laten de relatie tussen het aantal waarnemingen en de kracht van de steekproef voor de in het CC-NL-rapport gehanteerde domeinen zien. De hoeveelheid waarnemingen op een kracht van 0.8 zijn nodig om op kleiner niveau uitspraken te kunnen doen over ontwikkelingen in het kader van het klimaatbeleid.



Figuur 3 De kracht van de LSK voor het ondersteunen van het beoogde doel als functie van het aantal waarnemingen weer binnen de akkerbouwdomeinen. Als de kracht gelijk of hoger is dan 0.8, is de steekproef sterk genoeg geacht.



Figuur 4 De kracht van de LSK voor het ondersteunen van het beoogde doel als functie van het aantal waarnemingen weer binnen de graslanddomeinen. Als de kracht gelijk of hoger is dan 0.8, is de steekproef sterk genoeg geacht.

Zoals te zien is in figuren 2 en 3 voldoen zowel grasland als akkerbouw op veen- en moerige gronden bij lange na niet aan de maatstaven die bij klimaatbeleid horen v.w.b. CO₂ vastlegging. Deze steekproef zal daar ook nooit geschikt voor zijn. Het klimaatbeleid is ook gericht op minerale gronden, dus dat zijn de kleigronden, de leemgronden en de twee soorten zandgronden (met en zonder eerdlaag). Binnen deze domeinen kan er volgens de LSK met een uitbreiding wel een uitspraak gedaan worden over het klimaatbeleid. Tabel 4 laat het aantal punten per domein zien die nodig zijn om een steekproefkracht van 0.8 te halen.

Tabel 4 Aantal punten dat nodig is om het klimaatbeleid te kunnen ondersteunen op het niveau van verschillende domeinen.

Domein	Aantal LSK-punten bemonsterd in 2018	Aantal nodig	Aantal extra punten
Akkerland_Klei	100	319	219
Akkerland_Leem	19	242	223
Akkerland_Moerig	5	> 4000	> 4000
Akkerland_Veen	7	> 4000	> 4000
Akkerland_Zand_eerd	14	364	350
Akkerland_Zand_overig	64	1065	1001
Grasland_Klei	203	1597	1394
Grasland_Leem	17	996	979
Grasland_Moerig	30	> 4000	> 4000
Grasland_Veen	144	> 4000	> 4000
Grasland_Zand_eerd	35	328	293
Grasland_Zand_overig	142	1809	1667

4.4 Bodemkwaliteit

Als de steekproefomvang volgens het advies van sectie 4.3 wordt uitgebreid, kan de klimaatdoelstelling worden ondersteund binnen de minerale landbouwgronden in Nederland. Mogelijk ontstaat er in de toekomst ook een behoefte om andere beleidsdoelstellingen te monitoren in het kader van duurzaam bodembeheer en bodemkwaliteit. Tijdens de 2018 meetcampagne zijn ook veel bodemkwaliteitsindicatoren gemeten volgens de BLN. Na de volgende meetcampagne is het mogelijk om een analyse uit te voeren voor deze indicatoren die vergelijkbaar is met de analyse voor de verandering in het koolstofgehalte. Op basis van mogelijke nieuwe beleidsdoelen voor duurzaam bodembeheer kan er dan berekend worden hoeveel extra meetpunten nodig zijn voor de bodemkwaliteitsindicatoren en het ondersteunen van deze beleidsdoelen. Tabel 5 laat een voorbeeld zien van een dergelijk overzicht en toekomstbeeld van de uitbreiding van de LSK en de potentie van de bodemkwaliteitsindicatoren. Hierin kunnen de gaten ingevuld worden na de volgende meetcampagne.

Tabel 5 Overzicht van minimale meetbare verandering van indicatoren op basis van de steekproefgrootte. De gaten kunnen na de volgende meetcampagne ingevuld worden. Het kopje 'Duurzaam bodembeheer' verwijst naar eventuele toekomstige klimaatdoelen die door bodemkwaliteitsindicatoren ondersteunt gaan worden.

Indicator	Gemiddelde waarde in 2018	Minimale meetbare verandering (%)			
		Huidig (n=1152)	Aanvulling (n=1396)	Klimaatdoel (n=1991)	Duurzaam bodembeheer
Organische stofgehalte	4.79 %	0.0195	0.0177	0.0137	?
Koolstof	2.62 %	0.0089	0.0081	0.0070	?
Stikstof	2.22 %	-	-	-	?
PLFA	518 µg/g	-	-	-	?
Etc.	-	-	-	-	?

5 Conclusie en discussie

Om landsdekkend koolstof en bodemkwaliteit te monitoren dient de steekproef minimaal uitgebreid te worden tot 1392 meetpunten. Er zijn dan voor alle combinaties van landgebruik en bodemtypen, conform LULUCF, voldoende meetpunten om resultaten weer te geven. Op basis van veldwaarnemingen in 1998 en 2018 is 79% van het landgebruik hetzelfde gebleven, 17% is nog steeds landbouwgrond maar is bijvoorbeeld veranderd van akker naar grasland, 4% is definitief veranderd van landbouw naar natuur/bos. Deze analyse geeft geen aanleiding om de steekproef met extra meetpunten in landgebruiksvormen uit te breiden. Ervaring leert dat er altijd punten zullen afvallen als gevolg van geen toestemming of bebouwing. Het is daarom aan te bevelen om de steekproefomvang te vergroten tot 1632 meetpunten. Dit zijn 480 meetpunten meer dan in 2018 zijn bemonsterd, een verdubbeling van de extra punten. Deze zijn sowieso nodig voor een compleet landsdekkend beeld. De steekproef dient tot 1997 meetpunten uitgebreid te worden om de additionele vastlegging van 0,5 Mton CO₂-equivalent per jaar aan de Nederlandse minerale landbouwbodems, conform het klimaatbeleid, te kunnen monitoren. Deze additionele vastlegging is een relatief kleine verandering die in de metingen moet worden aangetoond. Bij een te kleine steekproefomvang is er een risico dat ten onrechte wordt geconcludeerd dat een toename van de koolstofvoorraad niet kan worden aangetoond. Er moeten dus voldoende meetpunten zijn. Om de toename van koolstof voor alle minerale landbouwgronden aan te tonen zijn 365 extra punten nodig. De steekproefomvang voor het klimaatbeleid is hiermee vastgesteld. Mogelijk is in de toekomst behoefte om ook andere beleidsdoelstellingen, die bijvoorbeeld afhankelijk zijn van andere bodemkwaliteitsindicatoren, te monitoren. De steekproefomvang kan dan opnieuw worden aangevuld als dat noodzakelijk blijkt te zijn.

Met de komst van de Europese Greendeal wordt het voor Nederland nog belangrijker om inzicht te hebben in ons bodemsysteem. De meta-data van de CC-NL meetcampagne is op EU-niveau bij EJP-Soil toegestuurd als voorbeeld van de Nederlandse nationale meetstrategie. De steekproefopzet en de gemeten indicatoren zijn opgenomen in het EJP-Soil plan om bodemdata op EU-niveau meer te harmoniseren. Er is bewust gekozen om de nieuwe steekproef omvang nu niet af te stemmen met een Europees netwerk zoals LUCAS. LUCAS gaat uit van ruim 100 meetpunten in Nederland. De huidige voorgestelde opzet van de landelijke monitoring van koolstof en bodemkwaliteit omvat veel meer meetpunten en draagt hierdoor bij aan het begrijpen van het systeem en kan mogelijk bevindingen nuanceren. Door de opzet van onze Nederlandse steekproef (kanssteekproef, selectiekansen zijn bekend) kunnen de resultaten in de toekomst gekoppeld worden aan andere meetnetten. Dit geldt niet alleen voor Europese netwerken, maar ook meetnetten binnen Nederland. De meetnetten die aangesloten kunnen worden zijn naar wens te bepalen.

Een nieuwe steekproefomvang voor de landelijke monitoring van koolstof is hiermee bepaald. Daarnaast weten we welke steekproefomvang noodzakelijk is om het klimaatbeleid te monitoren. Om daadwerkelijk te kunnen meten zijn er nog een aantal stappen te doorlopen. Allereerst het loten van nieuwe meetpunten, dus de exacte locaties bepalen op basis van de gewenste steekproefomvang. Daarnaast is er afstemming nodig met de ontwikkelingen in de BLN over welke indicatoren, op welke wijze, rekening houdend met de metacondities, bemonsterd gaan worden (Hanegraaf et al., 2019). Een van die indicatoren in het bijzonder is de dichtheid, zoals vastgesteld in de rapportage 'De staat van de Nederlandse landbouwbodems in 2018'. Tot slot is er nog een meetplan nodig waarin de bemonstering concreet is uitgewerkt.

Literatuur

Elsen, van den, E., van Tol-Leenders, D., Teuling, K., Römkens, 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.

Finke, P.A., J.J. de Gruijter en R. Visschers, 2001. Status 2001 Landelijke Steekproef Kaarteenheden en toepassingen; Gestructureerde bemonstering en karakterisering Nederlandse bodems. Wageningen, Alterra, rapport 389.

Hanegraaf, M.C., van den Elsen, H.G.M., de Haan, J.J. en Visser, S.M., 2019, Bodemkwaliteitsbeoordeling van landbouwgronden in Nederland - Indicatorset en systematiek, versie 1.0. Wageningen Research, Rapport WPR-795.

Knotters, M., Teuling, K., Reijneveld, A., Tol-Leenders, D. van, Lesschen, J.P. & Kuikman, P., 2021, Changes in organic matter contents, organic carbon contents and carbon stocks in Dutch soils, 1998-2018, Article submitted for publication.

Tol-Leenders, D. van, M. Knotters, W. de Groot, P. Gerritsen, A. Reijneveld, F. van Egmond, H. Wösten, P. Kuikman. 2019. Koolstofvoorraad in de bodem van Nederland (1998-2018). Wageningen Environmental Research, WENR-rapport

Bijlage 1. Scenario's voor uitbreiding LSK

Scenario 0

Het aanhouden van de LSK steekproef, met alleen de 1152 locaties die in 2018 bezocht zijn.

Scenario 1

Het uitbreiden van de huidige steekproef met aanvullende punten zoals aangegeven in de aanbevelingen CC-NL en nulmeting bodemkwaliteit:

- Punten die door bebouwing niet zijn bemonsterd aanvullen
- Domeinen landgebruik/bodemtype aanvullen
- Eén meetcampagne voor koolstof + bodemkwaliteit in de 5 jaar

Voordelen/nadelen:

- Alle LULUCF onderdelen worden meegenomen
- Eens in de vijf jaar resultaten
- Grote bemonstering en analyse inspanning in korte periode
- Geen afstemming met Europese meetnetten

Kosten:

- Uitwerking steekproef kan binnen huidige beschikbare budget
- Uitvoering veldwerk, analyses in lijn met CC-NL budget 2018/2019

Scenario 2

Het uitbreiden van de huidige steekproef met aanvullende punten in alleen de landbouwdomeinen:

Scenario 3

Het uitbreiden van de huidige steekproef met een afstemming met Europese wensen en interesses binnen het LUCAS-soil netwerk

Scenario 4

Uitbreiden van de huidige steekproef met aanvullende punten zoals aangegeven in de aanbevelingen CC-NL en nulmeting bodemkwaliteit. Meetcampagne spreiden over een x-aantal jaren.