



De staat van de Nederlandse landbouwbodems in 2018

Op basis van beschikbare landsdekkende dataset (CC-NL) en bodem-indicatorenlijst (BLN)

Erik van den Elsen, Dorothee van Tol-Leenders, Kees Teuling, Paul Römken, Janjo de Haan,
Gerard Korthals, Arjan Reijneveld

De staat van de Nederlandse landbouwbodems in 2018

Op basis van beschikbare landsdekkende dataset (CC-NL) en bodem-indicatorenlijst (BLN)

Erik van den Elsen¹, Dorothee van Tol-Leenders¹, Kees Teuling¹, Paul Römkens¹, Janjo de Haan⁴,
Gerard Korthals³, Arjan Reijneveld²

1 Wageningen Environmental Research (WENR)

2 Eurofins Agro

3 NIOO-CSE

4 Wageningen Plant Research (WPR)

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'Klimaat Slim landgebruik' (projectnummer BO-53-002-027).

Wageningen Environmental Research

Wageningen, december 2020

Gereviewd door:

Simone Verzandvoort, onderzoeker bodem en landgebruik

Akkoord voor publicatie:

Mirjam Hack, teamleider van team Bodem, Water en Landgebruik

Rapport 3048

ISSN 1566-7197

Erik van den Elsen, Dorothee van Tol-Leenders, Kees Teuling, Paul Römken, Janjo de Haan, Gerard Korthals, Arjan Reijneveld, 2020. *De staat van de Nederlandse landbouwbodems in 2018; Op basis van beschikbare landsdekkende dataset (CC-NL) en bodem-indicatorenlijst (BLN)*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3048. 100 blz.; 43 fig.; 23 tab.; 26 ref.

Op basis van de in 2018 uitgebreid gemeten dataset (CC-NL) van meer dan duizend locaties over heel Nederland is de staat van de Nederlandse landbouwbodems weergegeven, een zogenaamde nulmeting bodemkwaliteit. Voor de bepaling van de kwaliteit van landbouwbodems in Nederland is de huidige lijst 'Bodemindicatoren voor Landbouwbodems in Nederland (BLN)' leidend. Het rapport beschrijft de wetenschappelijke verantwoording van de landelijke kaartbeelden en statistische verdelingen van de gemeten indicatoren voor bodemkwaliteit. Het geeft hiermee de staat van de Nederlandse landbouwbodems in 2018 weer zonder kwaliteitsoordeel. Voor ontbrekende indicatoren is een meetplan opgesteld. De resultaten geven een goede basis voor de landsdekkende monitoring van de bodemkwaliteit in landbouwgronden met bodemkwaliteitsindicatoren.

Trefwoorden: bodemkwaliteit, landbouw, bodemkwaliteitsindicatoren, nulmeting

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/537281> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2020 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001. Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3048 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Shutterstock

Inhoud

	Verantwoording	5
	Woord vooraf	7
	Samenvatting	9
1	Inleiding	13
	1.1 Achtergrond	13
	1.2 Doel	13
	1.3 Afbakening	13
	1.4 Opzet van het rapport	14
2	Aanpak en methoden	15
	2.1 Bodemindicatoren volgens de BLN-systematiek	15
	2.2 Beschikbare bodemdata	16
	2.3 Dataverwerking en steekproefontwerp	20
	2.3.1 Analyse op landelijk niveau	20
	2.3.2 Analyse voor landgebruik- en bodemtypencombinaties	21
	2.4 Screening van de CC-NL-dataset op nauwkeurigheid en betrouwbaarheid	23
	2.4.1 Bemonstering, veldmetingen en herhaalnauwkeurigheid	24
	2.4.2 Analyse en accreditatie van bepalingsmethoden	25
	2.4.3 Omstandigheden en afhankelijkheid van metacondities: bodemtype en textuur, vocht, temperatuur en veldvariabiliteit	25
	2.5 Analyse van de gemeten indicatoren en beoordeling op validiteit	26
	2.5.1 Organische stof	27
	2.5.2 Fysische indicatoren	28
	2.5.3 Chemische indicatoren	29
	2.5.4 Biologische indicatoren	32
	2.5.5 Algemene indicatoren	32
3	Resultaten	33
	3.1 Kaartweergave op landelijk niveau	33
	3.1.1 Indicator 'Organischestofgehalte en koolstofgehalte'	34
	3.1.2 Fysische indicatoren	39
	3.1.3 Chemische indicatoren	46
	3.1.4 Biologische indicatoren	52
	3.2 Gemiddelde waarden en bandbreedte van de bodemkwaliteitsindicatoren	53
	3.3 Meetplan ontbrekende of minder valide indicatoren	55
	3.3.1 Meetplan organische-stofindicatoren	56
	3.3.2 Meetplan fysische indicatoren	57
	3.3.3 Meetplan chemische indicatoren	60
	3.3.4 Meetplan biologische indicatoren	61
	3.3.5 Meetplan Algemene indicatoren	62
4	Discussie	63
	4.1 Kwaliteit van meet- en bepalingsmethoden	63
	4.1.1 Veldomstandigheden waarbij wordt gemeten of bemonsterd	63
	4.1.2 Fysische indicatoren	64
	4.1.3 Betrouwbaarheid van de Near Infrared Spectrometry (NIRS) methode	64
	4.2 Aandachtspunten voor vervolgmetingen	65

Literatuur	67
Bijlage 1 Steekproefontwerp LSK	69
Bijlage 2 Classificatie van de LGN2018- kaart	71
Bijlage 3 Kaarten van BLN-indicatoren voor akkerland, grasland en rest (bos en natuur)	72
Bijlage 4 Gloeiverlies- en Dumas- bepalingmethoden	88
Bijlage 5 Meten van bulkdichtheid en indringingsweerstand	89
Bijlage 6 Phospholipid-derived Fatty Acids (PLFA)	91
Bijlage 7 Meetnauwkeurigheid, meetmethode en doel	92
Bijlage 8 Afhankelijkheid van indicatoren voor metacondities	93
Bijlage 9 Screening van de penetrologger-gegevens uit de CC-NL-dataset	94

Verantwoording

Rapport: 3048

Projectnummer: 5200046413

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 die het rapport heeft beoordeeld,

functie: onderzoeker bodem en landgebruik

naam: Simone Verzandvoort

datum: 9 december 2020

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Mirjam Hack

datum: 11 december 2020

Woord vooraf

Is de bodemkwaliteit van de Nederlandse landbouwbodems goed of slecht? Dit onderzoek geeft geen antwoord op deze vraag, daarom vindt u geen conclusie in deze rapportage. Wel geven wij op basis van een unieke dataset van meer dan duizend metingen een landelijk beeld van een serie bodemkwaliteitsindicatoren. Dit landelijke beeld vormt de basis, een nulmeting, waarmee verder gewerkt kan worden aan het duurzaam gebruik en beheer van de Nederlandse landbouwbodems.

Deze 'Staat van de Nederlandse landbouwbodems 2018' kon worden gemaakt doordat eigenaren en gebruikers in 2018 bereidwillig waren om toegang te verlenen tot hun locatie die door ons was geloot. Nogmaals bedanken wij hen daarvoor. Wij hopen ook op hun medewerking in de toekomst. We bedanken collega Marius Heinen voor zijn bijdrage aan het bodemfysische deel van het rapport.

Voorts bedanken wij Albert de Vries, Alice van Rixel, medewerkers van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, en onze collega Jennie van der Kolk als (interne) opdrachtgevers voor het programma Slim Landgebruik voor hun kritische en opbouwende commentaar gedurende dit project.

Erik van den Elsen, Dorothee van Tol-Leenders, Kees Teuling, Paul Römkens, Janjo de Haan, Gerard Korthals en Arjan Reijneveld

Samenvatting

Aanleiding en doel

Op 23 mei 2018 heeft de minister van LNV, Carola Schouten, haar bodemstrategie naar de Kamer gestuurd. Hierin verwoordt ze het streefbeeld 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.

In navolging van de bodemstrategie heeft de minister op 25 april 2019 de Kamer geïnformeerd over het Nationaal Programma Landbouwbodems. In deze brief schrijft ze: "In 2019 ga ik werken aan het meetbaar maken van het streefdoel: duurzaam beheerde landbouwbodems. Ik wil een nulmeting doen naar de status van landbouwbodems in Nederland en samen met belanghebbenden een eenduidig meetinstrumentarium ontwikkelen voor bodemkwaliteit en bodembeheer."

Het ministerie van LNV gaf in 2019 de opdracht om de staat van de Nederlandse landbouwbodems weer te geven, een zogenaamde nulmeting bodemkwaliteit. De nulmeting maakt gebruik van de beschikbare dataset die in het project 'Koolstofvoorraad in de bodem van Nederland (1998-2018)' (CC-NL) is verkregen (Van Tol-Leenders et al., 2019) en van de huidige lijst 'Bodemindicatoren voor Landbouwbodems in Nederland (BLN)' (Hanegraaf et al., 2019). Deze is leidend voor de bepaling van de kwaliteit van landbouwbodems in Nederland.

Deze rapportage beschrijft de wetenschappelijk verantwoording van de landelijke kaartbeelden en statistische verdelingen van de gemeten indicatoren voor bodemkwaliteit. Het geeft hiermee de staat van de Nederlandse landbouwbodems in 2018 weer zonder een oordeel over de kwaliteit van deze bodems.

Resultaten

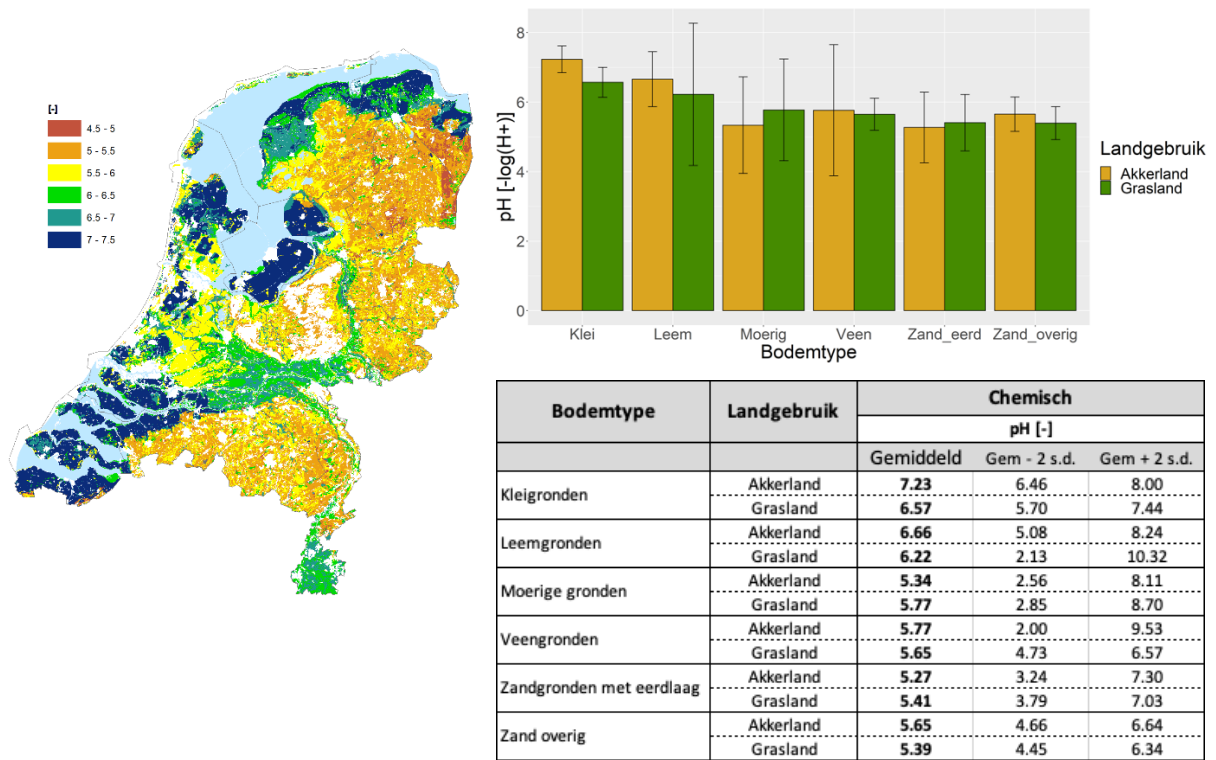
De resultaten tonen, op basis van de in 2018 gemeten dataset op 1152 locaties over heel Nederland, de staat van de Nederlandse bodem in 2018. 810 van deze locaties zijn geclassificeerd als landbouwgronden, de overige 342 als 'rest' (natuur en bos). De resultaten zijn verkregen door kwaliteitseisen op te stellen voor het gebruik van de bestaande data. Dit betreft eisen ten aanzien van bemonstering/veldmeting, analyse en de mate waarin meetwaarden beïnvloed worden door veldomstandigheden. Voor elk van de gemeten indicatoren is voor deze drie onderdelen bepaald in welke mate ze voldoen aan de criteria die zijn opgesteld. Tabel 1 toont een overzicht van indicatoren voor het vaststellen van de bodemkwaliteit volgens de BLN met bijbehorende kwaliteit. De geel gekleurde indicatoren zijn daarbij in de CC-NL-meetcampagne in 2018 niet gemeten. Voor deze indicatoren is in dit rapport een meetplan opgesteld.

Het merendeel van de gemeten indicatoren voldoet aan alle criteria (drie bollen). Twee fysische indicatoren (indringingsweerstand en droge bulkdichtheid), evenals de bepaling van de bacterie- en schimmelbiomassa (PLFA-bepaling) en pH (beide met NIRS), scoren voldoende op twee van de drie onderdelen.

Tabel 1 Indicatoren voor de staat van de bodem in 2018. De geel gekleurde indicatoren zijn niet gemeten, dus hiervoor is een nieuw meetplan nodig. De lichtblauw gekleurde indicatoren hebben bij de kwaliteitsscreening niet drie bolletjes gekregen en de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid daarvan is niet optimaal; hiervoor kan worden besloten ze opnieuw te meten.

Klasse	Nr	Indicator	Gemeten	Kwaliteit van de CC-NL meting
Org. stof	1	Organische stofgehalte en koolstofgehalte	✓	● ● ●
	2	Stabiele fractie organische stof		
	3	Heet water extraheerbare koolstof (HWC)		
Fysisch	4	Watervasthoudend vermogen		
	5	Aggregaatstabiliteit		
	6	Textuur	✓	● ● ●
	7	Indringingsweerstand	✓	● ●
Chemisch	8	Droge bulkdichtheid	✓	● ●
	9	Zuurgraad (pH)	✓	● ●
	10	N-totaal	✓	● ● ●
	11	Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN)	✓	● ● ●
	12	Fosfaatstatus	✓	● ● ●
Biologisch	13	Kalstatus		
	14	Aaltjes diversiteit en aantallen (incl. plantparasitaire aaltjes)		
	15	Bacterie- en schimmelbiomassa	✓	● ●
Algemeen	16	Regenwormen aantallen en diversiteit		
	17	Visuele beoordeling (fysisch-chemisch-biologisch)		

Een ruimtelijk, landsdekkend beeld van de staat van de Nederlandse landbouwbodems is in dit rapport voor alle gemeten bodemkwaliteitsindicatoren weergegeven in kaarten. Daarnaast zijn voor relevante combinaties van landgebruik en bodemtype staafdiagrammen en tabellen met onder meer gemiddelden en spreiding van indicatorwaarden per bodemtype en vorm van landgebruik (akkerbouw en grasland) gemaakt. Tabel 2 geeft een overzicht. Een voorbeeld van beide weergaven is gegeven in Figuur 1 voor de resultaten van de zuurgraad van de bodem (pH).



Figuur 1 De pH van de bodem in de bodemlaag 0-30 cm, gemeten door middel van NIRS: kaartbeeld (links), domeinschattingen voor zes bodemtypen (rechts boven) en gemiddelde waarden en intervallen van ± 2 standaarddeviatie (s.d.) (rechtsonder).

De resultaten in dit onderzoek geven de staat van de Nederlandse landbouwbodems weer op basis van de metingen in de steekproef van CC-NL uit 2018. De resultaten geven een goede basis voor de landsdekkende monitoring van de bodemkwaliteit in landbouwgronden met bodemkwaliteitsindicatoren.

Tabel 2 Gemiddelde waarden van de gemeten BLN-indicatoren per bodemtype en landgebruik voor landgebruik grasland en akkerland. De dikgedrukte getallen zijn de gemiddelde waarden, de waarden in de bijbehorende -2 s.d. en +2 s.d. ($\pm 2 \times$ standaarddeviatie) kolommen is de range waarbinnen 95% van de waarnemingen valt. Gebruikte termen in de kolomkoppen: SOM: Soil Organic Matter (bodemorganische stof), TOC = Total Organic Carbon, PMN = Potential Mineralisable Nitrogen (labiele stikstof), PLFA totaal = biomassa bacteriën en schimmels. De Indringingsweerstand zijn gegeven voor metingen die voldoen aan vochtcriterium I (-50 cm < h < -150 cm; zie Bijlage 9); opvalt dat in enkele bodemtype/landgebruik-combinaties geen enkele meting aan dat criterium voldoet. Voor de P-voorraad in Leemgronden zijn niet voldoende metingen beschikbaar voor een betrouwbaar gemiddelde.

Bodemtype	Land-gebruik	Organische stof						Fysische indicatoren														
		SOM (gloeiverlies) [%]			TOC (gloeiverlies) [T/ha]			Textuur [%]						Indringingsweerstand [Mpa]			Bulkdichtheid [kg/dm ³]					
		Gemiddeld	-2 s.d.	+2 s.d.	Gemiddeld	-2 s.d.	+2 s.d.	Lutum gemiddeld		Zand gemiddeld		Silt gemiddeld		Gemiddeld	-2 s.d.	+2 s.d.	Gemiddeld	-2 s.d.	+2 s.d.			
Kleigronden	Akkerland	3.25	2.79	3.70	22.82	19.90	25.74	19.92	17.30	22.53	35.62	31.04	40.21	35.40	31.27	39.54	1.09	0.61	1.56	1.29	1.15	1.43
	Grasland	7.05	6.05	8.04	40.25	34.58	45.92	28.17	24.34	31.99	29.10	23.44	34.77	31.93	27.57	36.29	2.66	1.73	3.58	1.11	0.96	1.27
Leemgronden	Akkerland	2.51	1.88	3.14	14.19	10.43	17.95	13.61	9.97	17.25	21.97	15.32	28.61	60.55	46.53	74.57	3.53	0.26	6.81	1.37	1.05	1.69
	Grasland	3.99	0.36	7.62	21.94	1.61	42.27	13.10	5.01	21.18	37.91	0.42	75.41	43.63	19.15	68.10	-	-	-	1.32	0.45	2.18
Moerige gronden	Akkerland	10.13	4.49	15.77	60.65	25.37	95.94	2.15	0.75	3.55	73.35	35.36	111.34	12.84	5.49	20.19	-	-	-	1.14	0.53	1.75
	Grasland	10.53	4.46	16.59	59.82	25.76	93.88	8.88	2.59	15.16	64.44	27.49	101.38	14.81	6.78	22.84	-	-	-	1.13	0.52	1.74
Veengronden	Akkerland	10.78	3.32	18.24	64.74	19.86	109.63	14.23	-2.34	30.81	56.85	14.99	98.72	16.02	4.54	27.50	3.83	2.63	5.02	1.09	0.36	1.83
	Grasland	22.58	18.34	26.82	132.02	107.24	156.79	25.80	20.77	30.84	30.86	23.40	38.31	17.50	14.30	20.69	4.17	1.89	6.45	0.76	0.62	0.90
Zandgronden met eerdlaag	Akkerland	3.57	2.06	5.08	18.50	10.83	26.18	2.49	1.30	3.67	79.93	48.88	110.98	14.00	8.37	19.63	5.13	0.29	9.96	1.42	0.87	1.97
	Grasland	4.39	2.95	5.82	23.01	15.07	30.96	2.84	1.81	3.87	78.37	55.04	101.70	14.36	9.58	19.14	2.52	1.86	3.17	1.39	0.98	1.81
Zand overig	Akkerland	4.41	3.53	5.29	24.60	19.68	29.52	2.31	1.74	2.88	80.25	66.10	94.41	12.42	9.98	14.86	-	-	-	1.39	1.14	1.64
	Grasland	4.73	3.84	5.63	26.47	21.41	31.53	3.09	2.14	4.03	79.74	65.50	93.98	11.73	9.52	13.95	-	-	-	1.38	1.14	1.63

Bodemtype	Land-gebruik	Chemische indicatoren										Biologische indicatoren							
		pH [-]			N totaal [mg/kg]			PMN [mg/kg]		P voorraad P-CaCl ₂ [mg/100g]		P voorraad P-Al[mg P ₂ O ₅ /100g]		PLFA totaal [µg/kg]					
		Gemiddeld	-2 s.d.	+2 s.d.	Gemiddeld	-2 s.d.	+2 s.d.	Gemiddeld	-2 s.d.	+2 s.d.	Gemiddeld	-2 s.d.	+2 s.d.	Gemiddeld	-2 s.d.	+2 s.d.			
Kleigronden	Akkerland	7.23	6.46	8.00	1700.12	1458.55	1941.69	50.33	43.04	57.61	2.29	1.44	3.15	55.37	37.83	72.91	349.96	291.15	408.76
	Grasland	6.57	5.70	7.44	3764.12	3239.64	4288.60	116.66	100.34	132.98	1.15	0.45	1.85	33.41	12.46	54.37	988.58	845.80	1131.36
Leemgronden	Akkerland	6.66	5.08	8.24	1254.73	932.11	1577.35	43.13	31.68	54.58	-	-	-	-	-	-	308.17	217.61	398.73
	Grasland	6.22	2.13	10.32	1922.55	262.52	3582.58	63.10	12.05	114.16	-	-	-	-	-	-	553.90	64.35	1043.44
Moerige gronden	Akkerland	5.34	2.56	8.11	2865.96	1324.37	4407.56	57.26	25.76	88.76	2.37	0.53	4.21	27.14	9.31	44.97	371.57	167.99	575.15
	Grasland	5.77	2.85	8.70	4502.35	1840.03	7164.68	113.05	49.92	176.19	0.91	0.23	1.59	20.25	6.74	33.75	823.42	344.28	1302.55
Veengronden	Akkerland	5.77	2.00	9.53	3767.17	1015.87	6518.47	94.14	24.66	163.62	4.71	-0.17	9.59	40.11	1.15	79.07	547.08	101.96	992.20
	Grasland	5.65	4.73	6.57	9560.59	7845.38	11275.81	214.99	178.07	251.92	1.10	0.47	1.74	20.46	10.11	30.80	1772.38	1457.28	2087.49
Zandgronden met eerdlaag	Akkerland	5.27	3.24	7.30	1389.21	812.56	1965.86	35.51	20.92	50.09	4.76	1.78	7.73	56.22	31.56	80.87	223.41	124.01	322.81
	Grasland	5.41	3.79	7.03	1707.45	1168.27	2246.63	56.83	37.82	75.84	2.56	1.32	3.79	47.28	29.18	65.38	390.41	257.42	523.41
Zand overig	Akkerland	5.65	4.66	6.64	1542.86	1244.52	1841.20	45.42	36.63	54.20	3.46	2.73	4.20	57.88	45.33	70.42	291.97	232.50	351.44
	Grasland	5.39	4.45	6.34	1817.93	1486.12	2149.75	66.25	54.12	78.39	1.92	1.30	2.53	37.78	28.01	47.55	491.23	396.74	585.72

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Op 23 mei 2018 heeft de minister van LNV, Carola Schouten, haar bodemstrategie naar de Kamer gestuurd. 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 schrijft de minister in haar brief dat er een harde beleidsopgave ligt. Het regeerakkoord geeft aan dat in 2030 1,5 Mton CO₂-equivalent klimaatwinst moet worden behaald door slimmer landgebruik. In het Klimaatakkoord staat uitgewerkt dat in landbouwbodems buiten veenweiden 0,5 Mton CO₂-equivalent 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.

In navolging van de bodemstrategie heeft de minister van LNV op 25 april 2019 de Kamer geïnformeerd over het Nationaal Programma Landbouwbodems. In deze brief schrijft ze: "In 2019 ga ik werken aan het meetbaar maken van het streefdoel: duurzaam beheerde landbouwbodems. Ik wil een nulmeting doen naar de status van landbouwbodems in Nederland en samen met belanghebbenden een eenduidig meetinstrumentarium ontwikkelen voor bodemkwaliteit en bodembeheer."

Het ministerie van LNV gaf in 2019 de opdracht om de staat van de Nederlandse landbouwbodems te bepalen, een zogenaamde nulmeting bodemkwaliteit. De nulmeting maakt gebruik van de beschikbare dataset die in het project 'Koolstofvoorraad in de bodem van Nederland (1998-2018)' (Van Tol-Leenders et al., 2019) is verkregen (in het vervolg aangeduid als 'CC-NL') en van de lijst van indicatoren gedefinieerd in de studie 'Bodemindicatoren voor Landbouwbodems in Nederland (BLN)' (Hanegraaf et al., 2019) (in het vervolg aangeduid als 'BLN-indicatoren'). Deze lijst is op basis van de huidige inzichten het uitgangspunt voor de bepaling van de kwaliteit van landbouwgronden in Nederland.

1.2 Doel

Het doel van dit project is om op basis van beschikbare data, methodieken voor het ruimtelijk weergeven van data op landelijke schaal (CC-NL) en lijst van indicatoren (BLN) een weergave te maken van de huidige staat van de Nederlandse landbouwbodems (akkerbouw en grasland), een zogenaamde nulmeting bodemkwaliteit.

1.3 Afbakening

Dit project is uitgevoerd op basis van beschikbare data die in 2018 zijn verzameld en methodieken voor het weergeven van een ruimtelijk beeld zoals toegepast in het CC-NL-project (Van Tol-Leenders et al., 2019). Het doel van het project CC-NL was primair om de koolstoftoestand van de Nederlandse landbouwbodems in kaart te brengen. Omdat het CC-NL-project niet voor ogen had om de bodemkwaliteit te meten, komen de in CC-NL gemeten bodemkwaliteitsindicatoren slechts voor een deel overeen met de lijst van BLN-indicatoren. De BLN-lijst, versie 1.0, is recentelijk opgesteld als representatieve selectie van bodemkwaliteitsindicatoren voor landbouwkundige doelen. De voorliggende rapportage geeft de resultaten van de landsdekkende meting en beschrijft de wetenschappelijk verantwoording waarmee de landelijke kaartbeelden en statistische verdelingen van de gemeten indicatoren voor bodemkwaliteit zijn verkregen. Dit document rapporteert de resultaten van de landsdekkende metingen en daarmee de staat van de Nederlandse landbouwbodems, maar geeft geen oordeel over de kwaliteit ervan.

1.4 Opzet van het rapport

Hoofdstuk 2 beschrijft de lijst met indicatoren, welke data beschikbaar zijn en de gevolgde methodiek voor de verwerking van deze data. Hoofdstuk 3 geeft de resultaten weer, waarbij in paragraaf 3.1 per beschikbare gemeten indicator de staat via kaartbeelden is weergegeven. De resultaten voor combinaties van verschillende vormen van landgebruik en bodemtype worden in paragraaf 3.2 behandeld. Ook wordt hier ingegaan op de verkregen gemiddelden en hun spreiding. Paragraaf 3.3 beschrijft de meetplannen voor de ontbrekende BLN-indicatoren. Hoofdstuk 4 ten slotte bediscussieert de kwaliteit van meet- en bepalingmethoden en aandachtspunten voor vervolgmetingen.

2 Aanpak en methoden

2.1 Bodemindicatoren volgens de BLN-systematiek

Voor dit onderzoek is een recentelijk verschenen lijst van bodemindicatoren gebruikt om de staat van de Nederlandse landbouwbodem te bepalen. Deze lijst met indicatoren staat beschreven in het rapport *Bodemindicatoren voor Landbouwbodems in Nederland* (BLN) (Hanegraaf et al., 2019). Dit rapport is een samenvoeging van twee eerdere rapporten over bodemkwaliteit, namelijk *Noodzakelijke indicatoren voor de beoordeling van de gezondheid van Nederlandse landbouwbodems* (Van den Elsen et al., 2019) en *Meten is weten anno 2015* (De Haan et al. 2019). In Tabel 3 staan de geselecteerde indicatoren voor het bepalen van de bodemkwaliteit volgens de BLN weergegeven. In de rest van dit rapport wordt hiernaar verwezen als 'BLN-lijst', 'BLN-indicatoren' of simpelweg 'BLN'.

Tabel 3 Bodemindicatoren voor Landbouwbodems (BLN) (Hanegraaf et al., 2019).

	Nr.	Indicator	Eenheid ⁴	Klassieke methode ¹	Snelle, goedkopere methode ²
Org Stof	1	Organischestofgehalte en koolstofgehalte	%	Gloeiverlies en Dumas	NIRS
	2	Stabiele fractie organische stof	%	Oxidatie in permanganaat (POXC)	n.b.
	3	Heet water extraheerbare koolstof (HWC)	mg kg ⁻¹ , g ha ⁻¹	Extractie in heet water	n.b.
Fysisch	4	Watervasthoudend vermogen	%, mm	Zandbak/drukpan	o.b.v. textuur + OS
	5	Aggregaatstabiliteit	-	Natte zeefmethode	n.b.
	6	Textuur	%	Pipetmethode	NIRS
	7	Indringingsweerstand	Mpa	Penetrometer	
	8	Droge bulkdichtheid	kg m ⁻³	Massa na drogen 105° C	Berekend uit OS%
Chemisch	9	Zuurgraad (pH)	-	Extractie in CaCl ₂	NIRS
	10	N-totaal	g kg ⁻¹ , kg ha ⁻¹	Dumas	NIRS
	11	Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN)	mg kg ⁻¹ , g ha ⁻¹	Anaerobe incubatie	NIRS
	12	Fosfaatstatus ³	mg 100 g ⁻¹ , g kg ⁻¹ , kg ha ⁻¹ mg 100 ml ⁻¹	Extractie in ammoniumlactaat-azijnzuur (P-Al), 0.01 M CaCl ₂ (P-Ca) resp. water P-Ox	
	13	Kalistatus ³	mg 100 g ⁻¹ , mmol ⁺ /kg, g kg ⁻¹ , kg ha ⁻¹	Extractie in HCl en oxaalzuur	NIRS + Extractie in CaCl ₂
Biologisch	14	Aaltjes diversiteit en aantallen (incl. plantparasitaire aaltjes)	Aantal taxa # 100 ml ⁻¹ grond	Microscopie	PCR
	15	Bacterie- en schimmelbiomassa	µg kg ⁻¹	PLFA	NIRS
	16	Regenwormen aantallen en diversiteit	# m ⁻² , kg m ⁻²	Visueel	n.b.
Alg	17	Visuele beoordeling (fysisch-chemisch-biologisch)	Divers	Visueel	n.b.

1 Slechts een van de genoemde klassieke methoden dient te worden gebruikt. POXC = Predicting soil permanganate oxidizable carbon (methode). PLFA = phospholipid fatty acids (methode).

2 n.b.: niet bekend, maar wel wenselijk. Wanneer de cel in de laatste kolom leeg is, is de klassieke methode 'snel & goedkoop' en is er geen noodzaak voor een alternatieve methode. NIRS = Near Infrared Spectrometry (zie p **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**). PCR = Polymerase Chain Reaction (methode).

3 De aard van de indicator kan per sector verschillen, bijvoorbeeld voor P: in de melkveehouderij P-voorraad en P-beschikbaar, en voor de akkerbouw Pw; voor de akkerbouw zou 'Nmin in het najaar' als indicator kunnen worden opgenomen.

4 In de literatuur vaak gebruikte eenheden. In dit rapport wordt slechts één enkele eenheid gebruikt.

De indicatorset van de BLN is vooralsnog gebaseerd op zeventien chemische, fysische, biologische indicatoren en één algemene indicator die het mogelijk maken om de bodemkwaliteit te duiden. Citaat uit het BLN-rapport van Hanegraaf et al., (2019):

'Het betreft een brede, overkoepelende en samenhangende set van indicatoren voor de beoordeling van de bodemkwaliteit van landbouwgronden die als basis kan dienen voor de selectie van indicatoren voor specifieke vormen van landgebruik, bodemtypen en doelen van de beoordeling.'

Merk op dat de BLN-lijst is opgesteld voor gebruik voor *meerdere doelen*, bijvoorbeeld: 'duurzaam bodemgebruik', 'koolstofopslag', 'optimale biodiversiteit', 'maximale gewasopbrengst' of 'klimaatbestendigheid'. Voor gebruik voor één specifiek doel (bijvoorbeeld duurzaam bodemgebruik) zou dus een subset van de BLN kunnen worden gebruikt. Als geen specifiek doel is gedefinieerd, is het verstandig de gehele set te gebruiken (zie ook Bijlage 7).

Deze indicatorset is een zogenaamde 1.0-versie. Er vindt nog verdere ontwikkeling plaats, zowel in de keuze van indicatoren voor de BLN voor bepaalde functies, in de wetenschappelijke onderbouwing van de methoden, de interpretatie van de indicatorscores, als in de ontwikkeling van alternatieve (goedkope en snelle) meetmethoden. Zo bestaat er voor meerdere indicatoren – onder meer 'Permanganate oxidizable carbon' (POXC), Hot Water Carbon (HWC) en de PLFA-analyse – nog geen duidelijk beoordelingsstelsel in relatie met bodemkwaliteit. Ook methodieken, referentie- en streefwaarden zijn nog in ontwikkeling.

Een verandering ten opzichte van bestaande systemen voor het beoordelen van bodemkwaliteit is dat nu meer aandacht komt voor biologische en fysische indicatoren, daar waar de beoordeling tot nu toe voornamelijk gebaseerd is op chemische indicatoren. Deze laatste zijn ook grotendeels gerelateerd aan de landbouwkundige productie (opbrengst), terwijl het streven van de modernere instrumenten voor de bodemkwaliteit duidelijk beogen ook andere aspecten van bodemkwaliteit of gebruiksdoelen te waarborgen.

Indicator 17 uit de BLN-lijst, de visuele beoordeling, is vooral waardevol voor de beeldvorming van bodemkwaliteit bij stakeholders. Deze indicator zal in dit rapport verder niet worden meegenomen.

2.2 Beschikbare bodemdata

In 2018 is de actuele koolstofvoorraad in de bodem van Nederland bepaald in het project CC-NL (Van Tol-Leenders et al., 2019). Naast koolstof zijn ook bodemkwaliteitsparameters, zoals opgenomen in de BLN, gemeten. Deze data zijn in dit project gebruikt voor een analyse naar een betrouwbare nulmeting van de bodemkwaliteit in Nederland. De 1152 monsterlocaties van het CC-NL-project zijn weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2 De bemonsterde meetlocaties van het CC-NL-project.

De meetlocaties in het CC-NL-project (2018) zijn geloot op basis van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK) (Bijlage 1). Doel van deze steekproef was om zowel een goede spreiding over verschillende bodemkundige en hydrologische situaties als een goede ruimtelijke spreiding te verkrijgen.

In 2018 zijn in het kader van het CC-NL-project 1152 meetlocaties bezocht. Er zijn bodemmonsters uit de bovengrond (0-30 cm) en de ondergrond (30 -100 cm) genomen welke in het laboratorium zijn geanalyseerd. In dit rapport wordt alleen gerapporteerd voor de 0-30cm laag, behalve voor de indicator 'indringingsweerstand', waarvoor ook wordt gerapporteerd voor de diepere laag 30-100 cm. De gebruikte analysemethoden zijn deels standaardanalysemethoden, deels is een aantal parameters ook met NIRS (Near Infrared Spectrometry) bepaald (zie ook paragraaf 4.1.3).

In Tabel 3 zijn de gemeten variabelen in het CC-NL-project weergegeven (met bijbehorende analysemethode), gecombineerd met de BLN-lijst uit Tabel 2, en zijn de verschillen tussen de twee indicatorlijsten door middel van kleuren zichtbaar gemaakt:

- De zwarte indicatoren zijn BLN-indicatoren (*wel* gemeten in CC-NL), en
- De blauwe indicatoren zijn BLN-indicatoren (*niet* gemeten in CC-NL),
- De groene indicatoren zijn in CC-NL gemeten, maar komen niet allemaal voor in de BLN-lijst.

Daarbij zijn niet alle indicatoren in de CC NL-database op alle plekken gemeten, deze zijn grijs gearceerd.

In de tabel is te zien dat er veel bepalingen zijn gedaan in het CC-NL-project, additioneel aan de BLN-indicatoren (groen). Naast de additionele metingen en/of bepalingen, ontbreekt er nog een aantal BLN-indicatoren die in het CC-NL-project niet zijn gemeten of bepaald (blauw). Zie ter verduidelijking ook paragraaf 1.3, 'Afbakening'.

(Tabel BLN-indicatoren gecombineerd met de in CC-NL gemeten indicatoren: deze is op de volgende 2 horizontale pagina's geplaatst).

Tabel 4 De BLN-indicatortabel gecombineerd met de indicatoren die gemeten zijn in het CC-NL-project.

Kleuren - zwart: BLN-indicator, wel gemeten in CC-NL; *blauw*: BLN-indicator, niet gemeten in CC-NL; *groen*: géén BLN-indicator, alléén in CC-NL gemeten.

Klasse	Volg-nr.	Nr. BLN	BLN Indicator	Klassieke methode	Sneller, goedkoper	Methode in CC-NL
Organische stof	1	1	Organischestofgehalte (Soil Organic Matter content: SOM-content)	Gloeiverlies, 550°C, NEN 5754, 2014	NIRS	Klassiek en NIRS
	2	1	Organische koolstofgehalte (Soil Organic Carbon content; SOC-content)	C-elementair, 550°C, ISO 10694, 1995	NIRS	Klassiek en NIRS
	3		Totale koolstof (Total Carbon; TOC)	1150 °C, NEN-EN 15936, 2012	NIRS	Klassiek en NIRS
	4		Anorganische koolstof (Total Inorganic Carbon; TIC)	550 - 1000°C ISO 10694, 1995	NIRS	NIRS
	5	2	Stabiele fractie organische stof	Oxidatie in permanganaat (POXC)	-	-
	6	3	Heet water extraheerbare koolstof (HWC)	Extractie in heet water	-	-
Fysisch	7	4	Watervasthoudend vermogen	Zandbak/drukpan	-	-
	8	5	Aggregaatstabiliteit	Natte zeefmethode	-	-
	9	6	Textuur; Klei (lutum), < 2 µm	Pipetmethode	NIRS	NIRS
	10	6	Textuur; Silt 2 - 50 µm	Pipetmethode	NIRS	NIRS
	11	6	Textuur; Zand, > 50 µm < 2000 µm	Pipetmethode	NIRS	NIRS
	12		Mediaan van zandfractie (M50)	Pipetmethode	NIRS	NIRS
	13	7	Indringingsweerstand	Penetrologger	-	Penetrologger
	14	8	Droge bulkdichtheid	Massa na drogen 105° C	NIRS	Massa na drogen 105° C
	15		Gewicht nat (gewicht vers)		-	Wegen
	16		Drooggewicht (gewicht droog)		-	Wegen
17		Verschil tussen nat en droog		-	Wegen	
Chemisch	18	9	Zuurgraad (pH)	pH-CaCl ₂	NIRS	NIRS
	19	10	Totale N-voorraad	Dumas	NIRS	Klassiek en NIRS
	20		Opgeloste organische stikstof (DON)	DON-CaCl ₂	NIRS	NIRS
	21	11	Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN)	Anaerobe incubatie	NIRS	NIRS
	22		Totale S-voorraad	Dumas	NIRS	NIRS

Tabel 4 (vervolg) De BLN-indicatorentabel gecombineerd met de indicatoren die gemeten zijn in het CC-NL-project.

Kleuren - zwart: BLN-indicator, wel gemeten in CC-NL; blauw: BLN-indicator, niet gemeten in CC-NL; groen: géén BLN-indicator, alléén in CC-NL gemeten.

Klasse	Volg-nr.	Nr. BLN	BLN Indicator	Klassieke methode	Sneller, goedkoper	Methode in CC-NL	
Chemisch	23		Fosfaatstatus (P-totale bodemvoorraad)	P-totaal	NIRS	NIRS	
	24	12	Fosfaatstatus (P-totale minerale (ortho) bodemvoorraad)	P-oxalaat	NIRS	NIRS	
	25		IJzer	Fe-oxalaat	NIRS	NIRS	
	26		Aluminium	Al-oxalaat	NIRS	NIRS	
	27		P-bindend vermogen	Berekend op basis oxalaat	NIRS	NIRS	
	28		P-verzadigingsgraad	Berekend op basis oxalaat	NIRS	NIRS	
	29	12	Fosfaatstatus (P-Al)	P-Al	NIRS	Klassiek	
	30	12	Fosfaatstatus (Pw)	Pw	-	Klassiek	
	31	12	Fosfaatstatus (P-CaCl ₂)	P-CaCl ₂	-	Klassiek	
	32	13	Kalistatus	Extractie in HCl en oxaalzuur	-	-	
	33		Kalistatus (K-CEC); K-bodemvoorraad	Co-hexamine	NIRS	NIRS	
	34		Kalistatus (K-CaCl ₂); K-beschikbaar	K-CaCl ₂	-	-	
	35		Effectieve Kationen adsorptie complex (ECEC)	Co-hexamine	NIRS	NIRS	
	36		Kationen omwisselingscapaciteit (Ca)	Co-hexamine	NIRS	NIRS	
	37		Kationen omwisselingscapaciteit (Mg)	Co-hexamine	NIRS	NIRS	
	38		Kationen omwisselingscapaciteit (Na)	Co-hexamine	NIRS	NIRS	
	Biologisch	39	14	Aaltjes diversiteit en aantallen (incl. plant parasitaire aaltjes)	Microscopie	PCR	
		40	15	Bacterie- en schimmelbiomassa ('Total')	PLFA	NIRS	NIRS
41		15	Schimmelbiomassa ('Fungi')	PLFA	NIRS	NIRS	
42		15	Bacteriebiomassa ('Bacteria')	PLFA	NIRS	NIRS	
Algemeen	43	16	Regenwormen aantallen en diversiteit	Visueel	-	-	
	44	17	Visuele beoordeling (fysisch-chemisch-biologisch)	Visueel	-	-	

Voor een uitleg van de gloeiverlies- en Dumas-bepalingsmethoden: zie Bijlage 4.

Op de beschikbare data uit het CC-NL-project vindt een betrouwbaarheidstoets plaats; er dient te worden beoordeeld of deze data bruikbaar zijn voor de nulmeting bodemkwaliteit. De meetnauwkeurigheid van de bepalingmethode versus het doel (nulmeting) is hierbij een belangrijke afweging.

Belangrijke randvoorwaarde voor de bruikbaarheid van de metingen is onder welke condities is gemeten (zie ook Hanegraaf et al., 2019; Bijlage 2). Van de CC-NL-metingen is bekend dat de bemonstering onder zeer droge veld- en weersomstandigheden hebben plaatsgevonden (Van Tol-Leenders et al., 2019). De consequenties voor de invloed van deze extreme 'metacondities' op de indicatoren zijn niet altijd bekend en moeten worden uitgezocht. In paragraaf 2.4 wordt verder ingegaan op de invloed van metacondities op de betrouwbaarheid van de metingen.

Zowel klassieke als NIRS (zie Bijlage 4) analysemethoden zijn toegepast op de CC-NL-bodemmonsters. De NIRS-methodiek is een steeds gangbaardere, snelle en goedkope techniek om indicatoren in de bodem te meten. De mate van ontwikkeling en dus betrouwbaarheid verschilt per indicator. Voor chemische indicatoren wordt deze methode al jaren toegepast, voor biologische indicatoren betreft het een nieuwe ontwikkeling. De NIRS-methodiek wordt over het algemeen steeds nauwkeuriger (Reijneveld et al., in prep.). De meeste methoden die Eurofins hanteert, zijn 'refereerbaar'. Deze ambitie ligt er ook voor de biologische PLFA-bepaling via NIRS. De PLFA-methode (Phospholipid-derived Fatty Acids) is nieuw voor Eurofins Wageningen, maar wel bekend in de literatuur (Kaur et al., 2005; Ramsey et al., 2006; Willers et al., 2015). Met deze methode kan nu de massa van schimmels, bacteriën en de totale massa van beide worden gemeten.

Met een groep van wetenschappelijke experts en deskundigen is per indicator bepaald wat de kwaliteit van de gemeten data uit het CC-NL-project zijn. Aan elke indicator is een kwaliteitsoordeel gekoppeld. Dit kwaliteitsoordeel is toegevoegd om een beeld te krijgen van hoe betrouwbaar de verschillende indicatoren zijn die zijn meegenomen in deze nulmeting. Deze screening van kwaliteit en de richtlijnen die daarbij zijn gebruikt, worden in paragraaf 2.4 beschreven.

2.3 Dataverwerking en steekproefontwerp

2.3.1 Analyse op landelijk niveau

Het steekproefontwerp van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK), waarvan in het CC-NL-project is uitgegaan, is voor de analyse op landelijk niveau uitgangspunt. De meetlocaties zijn immers op basis van deze steekproef geloot. Deze locaties vallen binnen deelgebieden (strata), die op basis van bodemtype en grondwatertrap zijn onderscheiden. Er zijn in totaal 96 deelgebieden.

Het gezamenlijke oppervlak van de deelgebieden van de LSK, 2.870.671 ha, komt overeen met de oppervlakte van de bodemkaart van Nederland schaal 1: 50 000, exclusief alle bijzondere onderscheidingen zoals water, wegen en bebouwd terrein.

Binnen een deelgebied worden de meetwaarden van bemonsterde punten rekenkundig gemiddeld. Voor het vaststellen van het landelijke gemiddelde beeld zijn deze deelgebied-gemiddelden gewogen naar het oppervlak van het deelgebied. Dit is conform de verwerkingsprocedure voor LSK-data die is beschreven door Finke et al. (2001). Vervolgens zijn deze gemiddelden per deelgebied weergegeven op een kaart, zodat een landelijk beeld van de ruimtelijke spreiding van een indicator ontstaat.

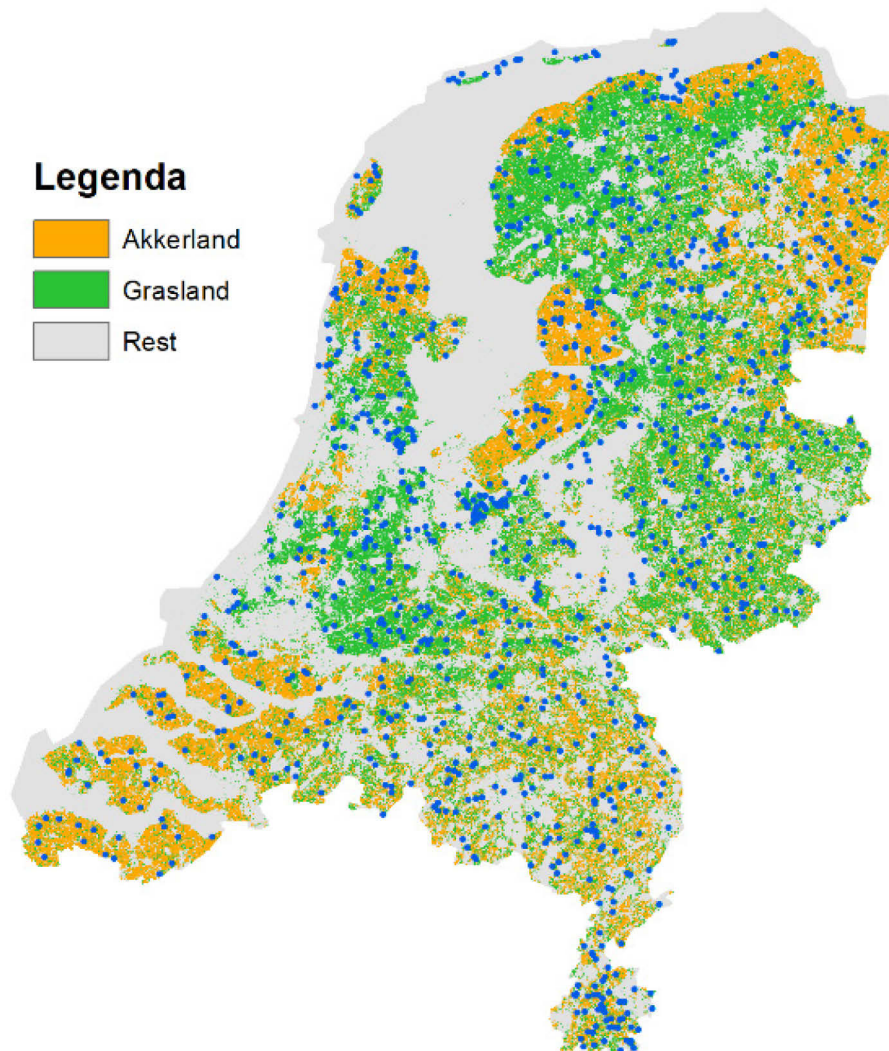
In het project 'Koolstofvoorraad in de bodem van Nederland (1998-2018)' (CC-NL) (Van Tol-Leenders et al., 2019) is al geconstateerd dat uitbreiding van de steekproef nodig is voor een compleet landelijk beeld. Zo zijn deelgebieden (strata) afgevallen, doordat er geen of slechts één punt in het gebied lag. Dit komt doordat er ten tijde van de bemonstering in 2018 een geloot meetpunt – bijvoorbeeld door bebouwing, ontoegankelijkheid of andere veranderingen in landgebruik – niet meer bemonsterd kon worden.

2.3.2 Analyse voor landgebruik- en bodemtypencombinaties

Naast een landelijke analyse is ook een analyse voor interessegebieden uitgevoerd. Deze analyse voor de interessegebieden landgebruik- en bodemtypencombinaties zijn uitgevoerd via domeinschattingen, dat wil zeggen schattingen voor een bepaald interessedomein. Deze interessedomeinen hoeven niet samen te vallen met (clusters van) strata van de LSK. Domeinschattingen zijn uitgevoerd met de procedure die Finke et al. (2001, blz. 24) geven.

Landgebruik

Om onderscheid te maken tussen vormen van landgebruik is er per meetlocatie gekeken wat het bijbehorende landgebruik is. Het landgebruik op de locatie van de metingen is gebaseerd op de landgebruikskaart LGN2018, Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland (Hazeu et al., 2018). De focus van dit onderzoek ligt op landbouwgronden, dus zijn de 48 landgebruikstypen samengevat in 3 landgebruikscategorieën. Deze categorieën zijn akkerland (A), grasland (G) en rest (R) (zie Tabel 4). In Figuur 4 is de daaruit getekende landgebruikskaart te zien. Alleen voor de categorieën (A) en (G) worden de resultaten voor de geselecteerde indicatoren in kaartbeelden weergegeven; in de bijlagen zijn naast de categorieën (A) en (G) ook de restgebieden (R) weergegeven.



Figuur 3 Sub-classificatie landgebruik op basis van LGN2018.

Bodemtypen

In samenspraak met LNV is gekozen om in het CC-NL-project de koolstofvoorraad in de Nederlandse bodem te presenteren op basis van een indeling in zes bodemtypen. Omdat dit rapport gebaseerd is op dezelfde meetgegevens, wordt ook de status van de bodemkwaliteit op basis van onderstaande zes bodemtypen gegeven. Deze indeling in bodemtypen is ook in dit project gehanteerd:

1. Zandgronden met een eerdlaag, dikker dan 30 cm
2. Overige zandgronden
3. Kleigronden (inclusief kleibrikgronden en oude klei gronden)
4. Leemgronden (inclusief leembrikgronden)
5. Moerige gronden (inclusief moerige podzolgronden)
6. Veengronden

Landgebruik en bodemtype-combinaties

De interessegebieden landgebruik en bodemtypen zijn gecombineerd om de resultaten van een indicator op bijvoorbeeld akkerland of kleigrond weer te kunnen geven. De omvang van deze combinaties varieert in Nederland. In Tabel 4 zijn de oppervlakken ([ha] en [%]) van deze bodemtypen weergegeven, verdeeld naar landgebruik.

Tabel 5 Oppervlakten (% en ha) in 2018 van de deelgebieden naar landgebruik en bodem, geschat op basis van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden. Het aandeel 'Rest' bestaat uit overig landgebruik zoals natuur en bos. Circa 25% van de CC-NL-metingen is in natuurgebieden gedaan. In dit rapport worden alleen de landgebruiken Akkerland en Grasland gerapporteerd.

Deelgebied		Oppervlakte [%]	Oppervlakte [ha]
<i>Landgebruik</i>	<i>Bodemtype</i>		
Akkerland N = 347	Kleigronden	17.84	499.345
	Leemgronden	0.79	21.983
	Moerige gronden	1.24	34.836
	Veengronden	0.73	20.563
	Zandgronden met een eerdlaag, dikker dan 30 cm	3.38	94.578
	Overige zandgronden	12.32	348.814
Grasland N = 463	Kleigronden	15.32	428.588
	Leemgronden	0.42	11.628
	Moerige gronden	1.27	35.436
	Veengronden	6.08	170.038
	Zandgronden met een eerdlaag, dikker dan 30 cm	4.45	124.495
	Overige zandgronden	11.85	331.592
Rest N = 342	Kleigronden	3.19	89.264
	Leemgronden	0.57	15.824
	Moerige gronden	1.37	38.322
	Veengronden	0.01	1.940
	Zandgronden met een eerdlaag, dikker dan 30 cm	1.41	39.548
	Overige zandgronden	17.57	491.627
Totaal			2.798.421

De analyse voor de interessegebieden landgebruik en bodemtype-combinaties is uitgevoerd via domeinschattingen. De informatie over gemiddelden en spreiding per indicator voor de verschillende domeinen is uitgevoerd met behulp van de bodemkundige profielbeschrijvingen van de LSK uit de periode 1994-2001. Een knelpunt hierbij is dat een deel van de gronden, met name veen, op dit moment niet meer als veen geclassificeerd zou worden, maar als moerig of zelfs mineraal. Dit kan een scheef beeld creëren bij de domeinschattingen op basis van landgebruik en bodemtype. De grootste afwijkingen kunnen worden verwacht bij de niet-minerale gronden.

De gebruikte steekproef dient aangevuld te worden om dit in de toekomst te voorkomen. Wanneer voldoende punten liggen in interessedomeinen kan er ruimtelijk onderscheid worden gemaakt.

2.4 Screening van de CC-NL-dataset op nauwkeurigheid en betrouwbaarheid

Een score op een test (bijvoorbeeld een veldmeting of een laboratorium analyse) bestaat volgens de klassieke testtheorie uit twee delen: de betrouwbare score en een meetfout. Betrouwbaarheid en meetnauwkeurigheid zijn aanverwante begrippen. Een meetapparaat of bepalingmethode is *betrouwbaar* als deze bij herhaalde meting aan hetzelfde monster steeds dezelfde waarde produceert met slechts kleine afwijking. Een meetapparaat of bepalingmethode is *nauwkeurig* als deze bij herhaalde meting aan hetzelfde monster een waarde produceert die dicht ligt bij de werkelijke waarde van de gemeten grootte. Nauwkeurigheid en betrouwbaarheid hangen sterk af van de mate waarin externe factoren die de meting of bepaling beïnvloeden worden tenietgedaan of hoe goed een meting of bepaling is gekalibreerd aan een standaard. Onder *validiteit* van een meting of bepalingmethode verstaan we de combinatie van nauwkeurigheid en betrouwbaarheid.

In deze paragraaf wordt beschreven welke kwaliteitseisen aan metingen van bodemindicatoren worden gesteld met betrekking tot de directe veldmeting of bemonstering van de bodem (voor verdere analyse in het lab), de analyse van het bodemmonster in het lab en de (veld)omstandigheden tijdens bemonstering of meting in het veld. Al deze zaken hebben namelijk invloed op de validiteit van een meting of bepaling.

Na analyse van deze zaken wordt de validiteit van de meting uitgedrukt in een classificatie 1, 2 of 3, waarbij het behalen van de hoogste classificatie ('3') steeds moet worden nagestreefd. De gebruikte kwaliteitscriteria zijn als volgt gedefinieerd:

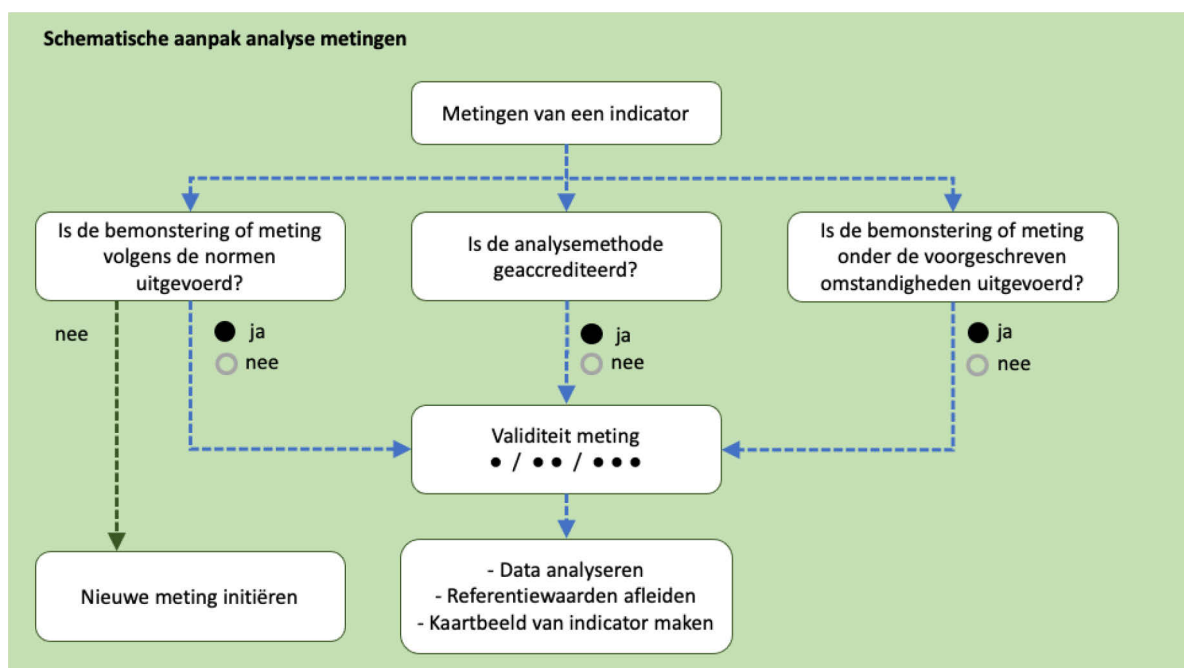
- Allereerst moet de bemonsteringsmethode of veldmeetmethode voldoen aan standaarden (NEN, ISO).
- Ten tweede moeten de analysemethoden voldoen aan bepaalde normen (NEN, ISO) en moet het laboratorium waar de analyses plaatsvinden, geaccrediteerd zijn (RvA). Als de analysemethode niet is genormeerd, volstaat het dat de gebruikte methode de algemeen gangbare en geaccepteerde methode is voor de bepaling.
- Ten derde moeten de veldomstandigheden waaronder is gemeten of bemonsterd representatief zijn wat betreft de 'gemiddelde' omstandigheden en niet uitzonderlijk zijn; bijvoorbeeld langdurige droogte, overvloedige regen of een uitzonderlijk lange vorstperiode. Deze drie zaken worden in de volgende paragrafen beschreven.

We hebben een methode ontwikkeld om de validiteit aan te geven van de testketen die is gebruikt in het CC-NL-project en ingeschat hoe nauwkeurig en betrouwbaar die hele testketen is (bemonstering, meting/analyse, omstandigheden). Daaruit bleek dat niet alle metingen aan de hierboven gestelde criteria voldoen. Toch hebben we er in dit rapport voor gekozen alle meetgegevens uit het CC-NL-project weer te geven in kaartvorm en er een betrouwbaarheidsklasse aan toe te kennen, in plaats van het weglaten van die metingen die niet aan de hoogste kwaliteitsnormen van '3' voldeden.

De methode voor toekenning van validiteitsklassen 1, 2, 3 is gevisualiseerd en beschreven in Tabel 5 en Figuur 4 hieronder. In het schema worden de termen 'bemonstering' en 'analyse' gebruikt. Deze zijn van toepassing bij bijvoorbeeld een chemische analyse waarbij bodem in het veld wordt bemonsterd en in een laboratorium wordt geanalyseerd. Enkele indicatormetingen worden rechtstreeks in het veld uitgevoerd (bijvoorbeeld indringingsweerstand), waarbij monsternamen en analyse eigenlijk samenvallen in de gebruikte meetmethode. Als bij een veldmeting aan beide criteria (monsternamen/analyse) wordt voldaan, worden in dat geval twee stippen toegekend: ●●.

Tabel 6 Beoordeling van nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van CC-NL-indicatoren voor de nulmeting bodemkwaliteit.

Predicaat	Omschrijving
●	Aan een van de drie kwaliteitseisen 'Bemonstering/veldmeting', 'Analyse' en 'Veldomstandigheden' is voldaan. Meestal is dit de analyse (de analyse is genormeerd en het lab is geaccrediteerd), maar het kan ook een van de andere twee eisen zijn. Deze situatie is niet ideaal, omdat in dat geval de nauwkeurigheid en/of de betrouwbaarheid van deze indicator niet kan worden gegarandeerd en/of de herhaling van de meting of analyse andere resultaten kan opleveren.
●●	Aan twee van de kwaliteitseisen 'Bemonstering/veldmeting', 'Analyse' en 'Veldomstandigheden' is voldaan, aan één kwaliteitseis niet. In de meeste gevallen betreft dat afwijkende veldomstandigheden. Deze situatie is niet ideaal, omdat herhalen van de meting of analyse onder andere veldomstandigheden (zeer waarschijnlijk andere resultaten zal opleveren).
●●●	Aan alle kwaliteitseisen 'Bemonstering/veldmeting', 'Analyse' en 'Veldomstandigheden' is voldaan. Dit is de ideale situatie. Onder vergelijkbare omstandigheden zal bij herhaling van de meting of analyse een vergelijkbaar resultaat worden verkregen met inachtneming van de normaal te verwachten variatie van de indicator in ruimte (ruimtelijke veldvariatie) en tijd (verandering van indicatorwaarde t.g.v. natuurlijke processen).



Figuur 4 Schematische aanpak analysemetingen en bepaling validiteit. De validiteit van de meting volgt uit de som van de drie afzonderlijke criteria, waarbij elk criterium een bolletje kan toevoegen aan de validiteitsscore (● / ●● / ●●●).

2.4.1 Bemonstering, veldmetingen en herhaalnauwkeurigheid

Om te kunnen zien of een verandering van de meetwaarde van bepaalde indicatoren in de tijd optreedt, dus om herhalingsnauwkeurigheid te kunnen garanderen, is het belangrijk dat veldbemonsteringen en veldmetingen volgens gestandaardiseerde en gecontroleerde methoden plaatsvinden. Daarbij dienen de veldomstandigheden bij een herhalingsmeting vergelijkbaar te zijn met de omstandigheden tijdens de originele meting. Een statistisch correcte bemonsteringsstrategie is belangrijk om met variaties van bepaalde indicatoren op relatief kleine afstand ten gevolge van heterogeniteit van de ondergrond om te kunnen gaan. Standaard bemonstering vindt in Nederland plaats via de zogenaamde 'W-methode' of via de gestratificeerde methode (gebruikt in het CC-NL-project – zie paragraaf 2.3). De methoden zijn gelijkwaardig (Ehlert et al., in prep.).

Bij sommige indicatoren is het mogelijk of zelfs noodzakelijk de meting ter plekke in het veld te doen (bv. indringingsweerstand); deze meting dient gecontroleerd en volgens bestaande normen en onder

vereiste omstandigheden plaats te vinden. Andere indicatoren vereisen een analyse in een laboratorium (bv. chemische bepalingen) waarbij juist de monsternamen in het veld uniform en gestandaardiseerd plaats dient te vinden om resultaatverschillen ten gevolge van de bemonstering zélf uit te sluiten.

2.4.2 Analyse en accreditatie van bepalingsmethoden

Ook de analyse van bodemmonsters dient volgens gestandaardiseerde methoden plaats te vinden in een laboratorium dat hiervoor is geaccrediteerd. De voor het CC-NL-project noodzakelijke indicatoren zijn gemeten door middel van verschillende meetmethoden. Doorgaans zijn deze meet- en analysemethoden genormeerd volgens NEN en het laboratorium dat deze analyses heeft uitgevoerd, is geaccrediteerd door de Raad voor Accreditatie (RVA) volgens ISO/IEC 17025. Door het bedrijf dat de analyses heeft verricht, Eurofins BV, is ook een aantal additionele metingen gedaan aan de verzamelde bodemmonsters, gebruikmakend van de NIRS-metmethode. In een aantal gevallen is bij de metingen aan indicatoren door middel van NIRS ook sprake van NEN-genormeerde en door RVA volgens ISO/IEC 17025 geaccrediteerde metingen, maar niet voor alle indicatoren. Bovendien kleeft aan de NIRS-methode, net als aan de klassieke bepalingsmethoden, één nadeel: de methode heeft een ondergrens voor de detectie van bepaalde indicatoren waarmee rekening gehouden moet worden (Tabel 7).

Tabel 7 BLN-indicatoren en de detectiegrenzen van de gebruikte bepalingsmethoden (Tabel 3). De kolom 'Gebruikte waarde (Gebr. waarde)' geeft de waarde die in het berekenen van de gemiddelden wordt gebruikt indien een meting onder de detectiegrens uitkomt, kolom '%-metingen (%)' geeft aan hoeveel procent van de metingen onder de detectiegrens ligt en de kolom 'Eenheid' geeft de gebruikte eenheid van de indicator.

Nr.	BLN Indicator	Detectie grens	Gebr. waarde	%	Eenheid
1	Organischestofgehalte (SOM)	2.5	1.25	26.8	g/kg
1	Organische koolstofgehalte (SOC)	1.0	0.5	1.9	g/kg
(extra)	Totale koolstof (TOC)	7.0	0.35	2.0	g/kg
6	Textuur, klei	1.0	0.5	3.5	%
9	Zuurgraad (pH)	-	-	-	-
10	Totale N-voorraad	0.2	0.1	5	g/kg
11	Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN)	1	0.1	40	g/kg
(extra)	Totale S-voorraad	0.15	0.075	40.2	mg/kg
12	Fosfaatstatus (P-Al)	3.0	1.5	-	mg P ₂ O ₅ /100 g
12	Fosfaatstatus (P-CaCl ₂)	0.2	0.1	-	g/kg
(extra)	Kalistatus (Kationen uitwisselcapaciteit (K))	1.0	0.5	1.4	mmol ⁺ /kg
(extra)	Kationen omwisselingscapaciteit (Ca)	10.0	0.7	6	mmol ⁺ /kg
(extra)	Kationen omwisselingscapaciteit (Mg)	1.0	0.5	9	mmol ⁺ /kg
15	Bacterie- en schimmelbiomassa	29.7	14.8	27	µg C /g
15	Schimmelbiomassa	7.1	3.5	39	µg C /g
15	Bacteriebiomassa	11.3	5.6	26	µg C /g

2.4.3 Omstandigheden en afhankelijkheid van metacondities: bodemtype en textuur, vocht, temperatuur en veldvariabiliteit

Variatie van indicatoren onder invloed van metacondities

Omdat bodemindicatoren voor fysica, chemie en biologie worden gemeten in het veld of aan monsters gestoken in het veld, werken verschillen in veldomstandigheden door in de meetwaarden. Ook bodembewerkingen (bemesting, bekalking, ploegen en diepte van ploegen) hebben invloed op de meetwaarden. Deze veldomstandigheden worden per definitie bepaald door de heersende klimatologische omstandigheden en het gehanteerde bodembeheer. We noemen deze condities met een verzamelnaam 'metacondities'.

De term metacondities omvat een aantal omgevingsfactoren die van invloed zijn op de uitkomst van de metingen en die zelf niet of nauwelijks beïnvloedbaar zijn:

- Bodemtype (o.a. textuur)
- Ruimtelijke variatie (binnen een perceel)
- Bodemvochtgehalte
- Bodemtemperatuur

Natuurlijk heeft management ook een invloed op de uitkomst van metingen, echter deze is wel beïnvloedbaar en wordt daarom niet geschaard onder de term metacondities. De meetwaarden van bodembioologische, bodemchemische en bodemfysische indicatoren kunnen afhankelijk zijn van metacondities zoals bodemvochtgehalte, bodemtemperatuur en bodemtype. Indicaties van deze afhankelijkheden voor een aantal van de in eerdere hoofdstukken geselecteerde indicatoren zijn weergegeven in Bijlage 8. Deze afhankelijkheid kan op een aantal manieren optreden:

- De meettechniek die wordt gebruikt voor het bepalen van de waarde van een indicator wordt beïnvloed door een metaconditie. Het meten van de indringingsweerstand met behulp van een penetrologger bijvoorbeeld wordt beïnvloed door het actuele bodemvochtgehalte: als de bodem vochtig is, zal de indringingsweerstand lager zijn dan wanneer een bodem droog is.
- De meetwaarde van de indicator zelf wordt beïnvloed door een metaconditie: de bacterie biomassa bijvoorbeeld is zowel afhankelijk van temperatuur als bodemvochtgehalte.

Idealiter worden tijdens veldbemonstering en/of meting in het veld het bodemvochtgehalte en de bodemtemperatuur ook gemeten. Mogelijk kunnen bepaalde meetwaarden van indicatoren voor vocht en temperatuur worden gecorrigeerd en, indien dit niet kan, kunnen in ieder geval afwijkingen ten gevolge van de grootheden vochtgehalte en bodemtemperatuur worden verklaard.

In Tabel 8 hieronder is aangegeven op welke manier we de variatie in meetresultaten ten gevolge van de veranderende metacondities zo veel mogelijk kunnen voorkomen.

Tabel 8 *Wijze van voorkomen van invloed van metacondities op de meetresultaten van indicatoren.*

Omgevingsfactor	Op welke wijze kan worden voorkomen dat deze factor invloed heeft op de meetresultaten?
Bodemtype en textuur	Kunnen niet of nauwelijks worden beïnvloed; dit is een gegeven. Metingen per bodemtype uitvoeren en ook textuur meten als variabele. Een andere textuur kan soms verschillen tussen metingen verklaren.
Ruimtelijke variatie	Een dusdanige bemonsterings- en analysestrategie ontwikkelen dat ruimtelijke variatie wordt verantwoord in de resultaten. (In het CC-NL-project is een statistisch verantwoorde methode ontwikkeld en gebruikt, zie Van Tol-Leenders et al., 2019.)
Bodemvochtgehalte	Binnen een bepaalde bandbreedte van het bodemvochtgehalte metingen uitvoeren, extremen vermijden.
Bodemtemperatuur	Binnen een bepaalde bandbreedte van de bodemtemperatuur metingen uitvoeren, extremen vermijden.

2.5 Analyse van de gemeten indicatoren en beoordeling op validiteit

In deze paragraaf wordt de analyse van de beschikbare CC-NL-metingen (en het bepalen of deze meetgegevens voldoen voor de nulmeting bodemkwaliteit (validiteit)) verder uitgewerkt voor de indicatorgroepen organische stof, fysische, chemische en biologische indicatoren. Hier wordt per klasse geanalyseerd en beschreven of de indicator voldoet aan het stroomschema in Figuur 4 en hoe hoog de validiteit scoort.

2.5.1 Organische stof

Tabel 9 Organische-stofindicatoren uit de BLN. De dikgedrukte indicatoren zijn in het CC-NL-project gemeten/geanalyseerd met de dikgedrukte meet- of analysemethode. De laatste kolom geeft de overall validiteit van de meting aan (* tot ***); zie paragraaf 2.4.

Klasse	Nr	Indicator	Klassieke meetmethode	Alternatieve meetmethode	Gemeten (1)	Bemonstering (2)	Analyse (3)	Omstandigheden (4)	Kwaliteit van de CC-NL meting
Org. stof	1	Organische stofgehalte en koolstofgehalte	Gloeiverlies of Dumas	NIRS	✓	•	•	•	• • •
	2	Stabiele fractie organische stof	Oxidatie in permanganaat (POXC)	-			•		
	3	Heet water extraheerbare koolstof (HWC)	Extractie in heet water	-			•		

1. Organischestofgehalten en koolstofgehalte

Het organischestofgehalte van de bodem is de totale massa aan organische verbindingen. Deze is veelal afkomstig van biomassa (wortels, bladeren, ondergewerkte gewasresten etc.) die na verloop van tijd door de bodemorganismen omgezet worden in bodemorganische stof. Daarnaast wordt ook door gebruik van organische meststoffen of bodemverbeteraars (o.a. compost) organische stof aan de bodem toegevoegd. Ook van deze jaarlijkse aanvoer van organische stof wordt een deel door microbiologisch activiteit afgebroken. De fractie van het toegediende organische materiaal dat na één jaar nog in de bodem aanwezig is, wordt aangeduid met de humificatie-coëfficiënt (HC). Deze kan (theoretisch) variëren tussen 0 (volledige afbraak) en 1 (geen afbraak). Voor de meeste organische meststoffen en bodemverbeteraars ligt de HC tussen 0.2 à 0.3 voor zeer instabiele vormen van organische stof (o.a. gras of dierlijke mest), tot 0.9 voor producten als compost.

De massa van de bodem(micro)organismen wordt bij de bepaling van het bodemorganische-stofgehalte overigens mee gemeten. Daarnaast zit in het gewichtsverlies na verhitting ook het mineraal gebonden water dat vooral in kleigronden van belang kan zijn. In kleigronden dient daarom het gewichtsverlies gecorrigeerd te worden voor het kleigehalte (fractie < 2 µm).

De hoeveelheid organische koolstof is niet gelijk aan de hoeveelheid organische stof omdat de laatste ook andere componenten (onder andere zuurstof, stikstof) kent. Indien de hoeveelheid organische stof door gloeiverlies bepaald wordt, wordt hiermee de totale organische stofmassa bepaald en niet de hoeveelheid koolstof. Deze laatste wordt vaak door vermenigvuldiging van de organische stof met 0.58 berekend (Van Bemmelenfactor). Deze factor is echter een benadering en zeker niet geldig voor alle bodems en soorten van organische stof. Indien een betrouwbare schatting van de totale koolstofvoorraad gewenst is, moet deze ook als zodanig gemeten worden (o.a. via C-totaal bepaling met Dumas). Voor de totaal C-bepaling met Dumas geldt dat ook andere verbindingen met daarin C (o.a. kalk) tot CO₂ omgezet worden.

Zoals al besproken bij de humificatie-coëfficiënt kan gesteld worden dat organische stof een mengsel is van zeer verschillende componenten. Binnen de totale organischestofvoorraad bestaan daarbij zowel zeer moeilijk afbreekbare componenten, zoals lignine en cellulose, maar ook makkelijk afbreekbare organische zuren. Stabiele organischestoffracties hebben daarbij juist een rol bij de opbouw van de organischestofvoorraad, terwijl de labiele (makkelijk afbreekbare) pools van organische stof juist een grote rol spelen bij het leveren van voedingsstoffen voor gewassen en dienen als voedingsbron voor bodemmicro-organismen. Om dit onderscheid te kunnen kwantificeren, zijn methoden ontwikkeld voor de bepaling van verschillende fracties van organische stof, waarbij hier in eerste instantie de labielere vormen bepaald worden (zie de beschrijving van indicatoren 2 en 3). Omdat de exacte duiding van dergelijke fracties op dit moment nog onvoldoende onderbouwd is, maken dergelijke fracties nog geen deel uit van onder meer het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit en van de deels daarvan afgeleide referenties voor de biologische bodemkwaliteit (Rutgers et al., 2007). Tot nu toe wordt daarvoor

uitsluitend de totale organischestofvoorraad bepaald. Aangezien voor het validiteitscriterium aan alle voorwaarden is voldaan, krijgt deze meting het predicaat 'valide', en dus ●●●.

2.5.2 Fysische indicatoren

Tabel 10 Fysische indicatoren uit de BLN. De dikgedrukte indicatoren zijn in het CC-NL-project gemeten/geanalyseerd met de dikgedrukte meet- of analysemethode.

De laatste kolom geeft de overall kwaliteit c.q. betrouwbaarheid van de meting aan (* tot ***); (1) de bemonstering is volgens de normen uitgevoerd, (2) de analysemethode is geaccrediteerd en (3) de veldomstandigheden tijdens bemonstering waren 'valide' (zie paragraaf 2.4).

Klasse	Nr	Indicator	Klasseke meetmethode	Alternatieve meetmethode	Gemeten (1)	Bemonstering (2)	Analyse (3)	Omstandigheden (4)	Kwaliteit van de CC-NL meting
Fysisch	4	Watervasthoudend vermogen	Zandbak/drukpan	o.b.v. textuur + OS			●		
	5	Aggregaatstabiliteit	Natte zeefmethode	-			●		
	6	Textuur	Pipetmethode	NIRS	✓	●	●	●	● ● ●
	7	Indringingsweerstand	Penetrometer	-	✓	●	●		● ●
	8	Droge bulkdichtheid	Massa na drogen 105° C	Berekend uit OS%	✓		●	●	● ●

6 Textuur

Bodemtextuur, in de bodemkunde meestal kortweg textuur genoemd, is de korrelgroottesamenstelling van bodemtypen. Men onderscheidt de volgende korrelgroottefracties: grind en stenen, zand, silt en klei of lutum. Op grond van de textuur wordt bodem in textuurklassen ingedeeld. De textuurbepaling in het CC-NL-project is aan de hand van een geaccrediteerde NIRS-bepaling uitgevoerd (RVA-registratienummer L 122) en voldoet daarmee aan de kwaliteitseisen.

De bepaling van textuur is niet gevoelig voor metacondities. Daarom is de textuurbepaling goed te gebruiken voor de nulmeting bodemkwaliteit en krijgt het het predicaat 'valide'.

7 Indringingsweerstand

Bodemverdichting is een belangrijke bodembedreiging in Nederland. Het vermindert beworteling door planten, transport van water en zuurstof in het profiel en kan leiden tot verminderde wateropslag in en waternalevering van de bodem. Al deze factoren werken opbrengst verlagend. De indringingsweerstand is een maat voor verdichting van het bodemprofiel en daarom een belangrijke indicator. Voor de indicator indringingsweerstand zijn buiten het CC-NL-project om weinig veldwaarnemingen bekend, het wordt meestal incidenteel op een perceel door een gebruiker gemeten en niet gedeeld. In CC-NL zijn op iedere locatie, in vijfvoud, indringingsweerstand bepaald. Het is daarmee een unieke dataset gebleken. In het CC-NL-rapport worden deze indringingsweerstand gepresenteerd.

Aan voorwaarde 'veldomstandigheden' is niet voor alle waarnemingen voldaan, daarom krijgt deze indicator een lagere score voor kwaliteit/betrouwbaarheid (●●). Hoe de vochtgehaltgrenzen nauwkeurig moeten worden bepaald, of er een geschikte methode is voor het corrigeren van de indringingsweerstand voor het vochtgehalte is op dit moment niet bekend; dit zal door analyse van wetenschappelijke literatuur in vervolgonderzoek moeten worden vastgesteld.

8 Droge bulkdichtheid

De droge bulkdichtheid is in CC-NL bepaald door met de guts volumemonsters te nemen en hiervan in het laboratorium de dichtheid te bepalen. Tijdens een studentenstage is de gutsmethode vergeleken met de 100cc ring-methode voor het bepalen van de droge bulkdichtheid. Hieruit is naar voren

gekomen dat de gutsmethode structureel een lagere droge bulkdichtheid oplevert dan de 100cc ring-methode. Wat de consequenties hiervan zijn voor de gutsmethode en/of de 100cc ring-methode moet nog worden uitgezocht. Omdat er twijfel is ontstaan over de betrouwbaarheid van de gutsmethode en daarmee over de indicator droge bulkdichtheid, krijgt deze methode hier een lagere score voor kwaliteit/betrouwbaarheid (●●).

2.5.3 Chemische indicatoren

Tabel 11 Chemische indicatoren uit de BLN. De dikgedrukte indicatoren zijn in het CC-NL project gemeten/geanalyseerd met de dikgedrukte meet- of analysemethode. De laatste kolom geeft de overall kwaliteit c.q. betrouwbaarheid van de meting aan (* tot ***); (1) de bemonstering is volgens de normen uitgevoerd, (2) de analysemethode is geaccrediteerd en (3) de veldomstandigheden tijdens bemonstering waren 'valide' (zie paragraaf 2.4).

Klasse	Nr Indicator	Klassieke meetmethode	Alternatieve meetmethode	Gemeten (1)	Bemonstering (2)	Analyse (3)	Omstandigheden (4)	Kwaliteit van de CC-NL meting
Chemisch	9 Zuurgraad (pH)	Extractie in CaCl ₂	NIRS	✓	●	●	●	● ●
	10 N-totaal	Kjeldahl	NIRS	✓	●	●	●	● ● ●
	11 Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN)	Anaerobe incubatie	NIRS	✓	●	●	●	● ●
	12 Fosfaatstatus	Extractie in ammoniumlactaat-azijnzuur, - CaCl₂ resp. water		✓	●	●	●	● ● ●
	13 Kalistatus	Extractie in HCl en oxaalzuur	NIRS + Extractie in CaCl ₂	✓	●	●	●	● ● ●

9 Zuurgraad (pH)

De zuurgraad van de bodem (pH) bepaalt in hoge mate de beschikbaarheid van (micro)nutriënten en is van belang voor een goede gewasgroei. De pH is ook van belang voor de *effectieve Cation Exchange Capacity* (CEC), daarmee voor binding van K, Mg en Ca en is zo een indicator voor *attainable yield*. Voor de meeste gewassen is daarom een optimaal pH-traject bekend waarbinnen een gewas geen beperking in de groei als gevolg van de heersende pH kent. Deze range ligt veelal tussen 5 en 6.5. Bij lagere pH-waarden neemt onder andere de toxiciteit van aluminium in de bodem toe, wat voor gevoelige gewassen leidt tot schade aan wortels. Bovendien kunnen planten bij pH-waarden lager dan 5 minder makkelijk nutriënten als calcium en magnesium opnemen door concurrentie met H⁺- en Al³⁺-ionen. Bovendien wordt de CEC minder effectief, dus ook de absolute waarde van de pH is lager. Bij hoge pH-waarden (> 7) daarentegen is de beschikbaarheid van micronutriënten als koper, mangaan en zink veelal laag wat tot gebrek aan deze nutriënten kan leiden.

Momenteel wordt de pH klassiek veelal in een 0.01 M CaCl₂-oplossing bepaald, omdat deze representatief geacht wordt voor de bodemoplossing. Andere, vroeger veelgebruikte extractiemediën zijn water (pH H₂O) en KCl (1 N KCL). Nadeel van pH-water is dat deze sterk kan variëren door de lage zoutsterkte en daardoor ook gevoeliger is voor schommelingen in bodemcondities (o.a. droogte, bemesting). De pH-water is 0.5 tot 1 pH-eenheid hoger dan de pH CaCl₂.

De pH KCl is vroeger veel gebruikt, maar is vanwege de hoge zoutsterkte minder representatief voor de bodem-pH, ofschoon er een goede correlatie bestaat tussen pH CaCl₂ en pH KCl.

De standaardmethode voor de bepaling van pH CaCl₂ is een meting in een 1:5 of 1:10 (gebruikelijk) (massa:volume (m:v)) extract na kort (5 minuten) schudden. Meting van de pH gebeurt na 2 tot 24 uur, langere evenwicht-tijd is onder andere nodig in kalkrijke bodems.

De uitvoering en bepaling van de pH CaCl₂ is robuust en herhaalbaar. Ook is de pH niet erg afhankelijk van – normale – variatie in weersomstandigheden zoals temperatuur. Uiteraard zijn bekalking en in

mindere mate ook aanwending van dierlijke mest van invloed op de meetwaarde en dient hier rekening mee gehouden te worden bij de planning van de bemonstering.

De bepaling van de pH is in het CC-NL-project gedaan met behulp van de NIRS-methode. Deze bepaling voldoet qua bemonstering en veldomstandigheden aan de normen, maar de NIRS-methode is (nog) niet geaccrediteerd, krijgt daarom het predicaat 'minder valide' en dus ●●.

10 N-Totaal

De hoeveelheid N is, naast die van P, wellicht de belangrijkste parameter voor de bepaling van de nutriëntenstatus van de bodem voor de teelt van gewassen. Voor N kunnen we daarbij onderscheid maken tussen verschillende fracties die in de bodem aanwezig zijn. De belangrijkste daarbij zijn de minerale N-voorraad (N-min) en de organisch gebonden voorraad (N-org.). De N-min-voorraad, de som van nitraat, nitriet en ammonium N, is sterk afhankelijk van recent management (dierlijke mest, N-kunstmest) en van temperatuur en vochtgehalte; bij 'groeizaam' weer kan veel N-min vrijkomen in de bodem. Organisch gebonden N zit met name in bodemorganische stof, maar ook in dierlijke mest. Het verschil in plantbeschikbaarheid is dat mineraal N, en dan met name nitraat, direct opneembaar is voor planten, terwijl organisch gebonden N eerst via mineralisatie door micro-organismen vrijgemaakt moet worden. In veel gevallen is de totale minerale N-voorraad veel kleiner dan N-organisch, maar omdat N-organisch niet meteen (en deels helemaal niet) beschikbaar is voor gewassen, wordt bij bemesting op N-Min gestuurd. De minerale N-voorraad kan ook als zodanig bepaald worden.

Voor de bepaling van de totale N-voorraad zijn twee methoden het meest gebruikt. Hier (CC-NL) is de totale N-voorraad bepaald met de Dumas-methode. Deze bestaat eruit dat een (bodem)monster verhit (p.m. 1000 °C) wordt en de ontwijkende N-verbindingen omgezet worden in $NxOy$. Na reductie van deze $NxOy$ -verbindingen tot N_2 -gas wordt dit via gasdetectie (gemeten). Deze methode maakt geen onderscheid tussen mineraal en organisch N.

De voorloper van de Dumas-methode, die gangbaar is sinds 1998, is de Kjeldahl-methode voor de bepaling van totaal N. Hierbij wordt een bodemmonster in geconcentreerd zwavelzuur verhit en het in de bodem aanwezige organische N (en ammonium voor zover aanwezig) wordt omgezet in ammoniumsulfaat. De totale ammoniumvoorraad wordt middels titratie bepaald. Deze methode is daarom arbeidsintensiever en maakt gebruik van verschillende chemicaliën. Daarnaast wordt met Kjeldahl dus ook niet alle N in de bodem gemeten, maar alleen de organische N-verbindingen. De bepaling van totaal-N met Dumas zal in veel gevallen dan ook hoger uitvallen dan met Kjeldahl.

De bepaling van totaal-N met Dumas is niet afhankelijk van de vorm waarin N in de bodem aanwezig is (anders dan Kjeldahl) en is dus robuust. De hoogte van de totale N-voorraad kan variëren al naargelang de opname van mineraal N door gewassen en, uiteraard, de bemesting. Veelal wordt de N-toestand van de bodem daarom voorafgaand aan het groeiseizoen gemeten. De totale hoeveelheid N is vooral afhankelijk van de N in de organische stof en pas daarna (in veel mindere mate) groenbemesters en mest en kunstmest en compost. Als zodanig is de methode goed te gebruiken voor de nulmeting bodemkwaliteit en krijgt het daarom het predicaat 'valide', dus ●●●.

11 Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN)

Omdat een groot deel van de totale N-voorraad in de bodem niet of beperkt beschikbaar is en ook geen goede maat is voor onder meer de microbiële hoeveelheid N, wordt naast de totale N-voorraad ook de hoeveelheid potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN) bepaald. Anders dan de naam suggereert, wordt hiermee niet de totale hoeveelheid N gemineraliseerd, maar alleen het gemakkelijk afbreekbare deel van het – veelal – organische deel van N in de bodem. Dit wordt gemeten na anaerobe incubatie van grond bij 40 graden (1 week). De hoeveelheid N die vrijkomt als PMN, correleert veelal goed met de totale microbiële biomassa (Schipper and Sparling, 2000), ofschoon dergelijke verbanden niet altijd of niet voor alle relevante bodembiota gevonden worden (Van Eekeren et al., 2010).

De methode is ook relatief eenvoudig en de resultaten zijn interpreteerbaar. Naast microbiel N zal ook een deel van de organische N-verbindingen aanwezig in organische stof vrijkomen, wat de correlatie tussen PMN en het organischestofgehalte deels verklaart. Meer dan voor totaal-N geldt voor

PMN dat die sneller reageert op onder meer bemesting of bodemprocessen (of condities) die de hoeveelheid microbiële biomassa sturen en ofschoon de invloed van deze parameters minder sterk is dan op PMC (*Potentially Mineralizable Carbon*), varieert de PMN gedurende het seizoen tussen -35 en +75% ten opzichte van de nulmeting (Hanegraaf et al., 2009). Ook meststofkeuze heeft invloed op de PMN; bij gebruik van organische meststoffen stijgt PMN ten opzichte van kunstmestbehandelingen met 25-50% (Van Eekeren et al., 2009).

De bepaling van PMN vergt enige tijd en apparatuur om de gasemissie te monitoren en is daarom geen standaardmethode die snel routinematig ingezet kan worden. Indien goed uitgevoerd (o.a. afdichting van de potten tijdens incubatie) is de methode robuust. De hoogte van de hoeveelheid PMN is variabel in de tijd en onder meer afhankelijk van zaken als bemesting en grondbewerking, meer dan die van totaal-N. De keuze van het bemonsteringstijdstip is daarom medebepalend voor de uitkomst. De NIRS-analysemethode voor PMN is niet geaccrediteerd, dus krijgt de methode voor validiteit het predicaat ●●.

12 fosfaatstatus

Voor de bepaling van de fosfaatstatus is een aantal methoden van toepassing waarbij de extractiesterkte oploopt. Gebruikelijke methoden toegepast om de fosfaatstatus van landbouwgronden te karakteriseren, zijn onder meer extractie in water (P-w), 0.01 M calciumchloride (P-CaCl₂, bijvoorbeeld Houba et al., 1990; Van Erp, 2002), ammoniumlactaat azijnzuur (P-Al) en oxalaat (P-Ox). Met de oplopende extractiesterkte wordt een toenemende hoeveelheid P in de bodem gemeten. Het idee daarachter is dat extracties met water en/of CaCl₂ de actuele (plant)beschikbare hoeveelheid representeren, terwijl de sterkere extracties als P-Al en P-Ox inzicht geven in de totale voorraad in de bodem die potentieel beschikbaar is voor gewassen, maar ook voor uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater. Tot vrij recent vormden Pw en P-Al de basis voor het bemestingsadvies voor (landbouw)gewassen en was P-Ox de parameter waarmee de mate van fosfaatverzadiging van de bodem berekend werd (fosfaatverzadiging is de ratio tussen P-Ox en de som van ijzer en aluminium geëxtraheerd in oxalaat).

Momenteel wordt gewerkt aan de ontwikkeling van een uniforme beoordelingssystematiek waarbij zowel de bemestingsadviezen, de fosfaatstatus van de bodem als de uitspoeling te koppelen zijn aan P-Ca en P-Al, die daarmee de belangrijkste parameters zijn voor de fosfaattoestand van de bodem.

Voor P-Ox en P-Al geldt dat deze niet of zeer beperkt afhankelijk zijn van bodemcondities. P-Ca en P-w kunnen meer fluctueren in een seizoen, bijvoorbeeld na bemesting. Voor de bemonstering van de bodem voor het vaststellen van de fosfaattoestand is een wettelijk protocol van kracht dat zowel richtlijnen voorschrijft voor de bemonstering (aantal en patroon van bemonsteren) als de experimentele methoden. De bepaling van P-Al en P-Ca is niet of in zeer geringe mate gevoelig voor metacondities. Daarom zijn beide parameters goed te gebruiken voor de nulmeting bodemkwaliteit en krijgen het predicaat 'valide', dus ●●●.

2.5.4 Biologische indicatoren

Tabel 12 *Biologische indicatoren uit de BLN. De dikgedrukte indicatoren zijn in het CC-NL-project gemeten/geanalyseerd met de dikgedrukte meet- of analysemethode.*

De laatste kolom geeft de overall kwaliteit c.q. betrouwbaarheid van de meting aan (tot ***); (1) de bemonstering is volgens de normen uitgevoerd, (2) de analysemethode is geaccrediteerd en (3) de veldomstandigheden tijdens bemonstering waren 'valide' (zie paragraaf 2.4).*

Klasse	Nr	Indicator	Klassieke meetmethode	Alternatieve meetmethode	Gemeten (1)	Bemonstering (2)	Analyse (3)	Omstandigheden (4)	Kwaliteit van de CC-NL meting
Biologisch	14	Aaltjes diversiteit en aantallen (incl. plantparasitaire aaltjes)	Microscopie	PCR			•		
	15	Bacterie- en schimmelbiomassa	PLFA	NIRS	✓	•		•	••
	16	Regenwormen aantallen en diversiteit	Visueel	-			•		

15 Bacterie- en schimmelbiomassa bepaald via PLFA (nanomol/g)

Phospholipid Fatty Acids (PLFA) zijn vetzuren die de membraan vormen van alle levende cellen; door de concentratie van bepaalde typen PLFA te meten, worden indirect de aanwezige hoeveelheden levende cellen (in bacteriën en schimmels) bepaald. Verschillende groepen organismen hebben verschillende PLFA's. Een 30-tal PLFA's wordt gebruikt als biomarkers voor de samenstelling van de microbiële gemeenschap (*community structure*), waarmee effecten van beheer zichtbaar worden gemaakt. Deze methode geeft informatie over relatieve hoeveelheden schimmels, bacteriën en actinomyceten. Bovendien wordt onderscheid gemaakt tussen saprotrofe schimmels en mycorrhiza schimmels, en tussen zogenaamde Gram positieve en Gram negatieve bacteriën die kunnen worden beschouwd als respectievelijk langzame en snelle groeiers. De data die binnen de CC-NL meetcampagne zijn bepaald, betreffen de NIRS-techniek. Deze bepaling via NIRS is nog in ontwikkeling. Eurofins bepaalt via de klassieke methode een grote hoeveelheid PLFA-'fracties', daarnaast worden drie fracties (totaal bacteriën, totaal schimmels en totale biomassa) via NIRS aangeboden. Voor zowel klassieke als voor NIRS-bepalingen is door Eurofins nog geen RvA-accreditatie aangevraagd, vandaar een score van •• voor validiteit.

2.5.5 Algemene indicatoren

Tabel 13 *Algemene indicatoren uit de BLN.*

Klasse	Nr	Indicator	Klassieke meetmethode	Alternatieve meetmethode	Gemeten (1)	Bemonstering (2)	Analyse (3)	Omstandigheden (4)	Kwaliteit van de CC-NL meting
Alg	17	Visuele beoordeling (fysisch-chemisch-biologisch)	Visueel	-					

Indicator 17, de visuele beoordeling, is vooral waardevol voor beeldvorming bij stakeholders. Deze indicator zal in dit rapport verder niet worden meegenomen.

3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de metingen en bepalingen van de in Tabel 2 getoonde BLN-indicatoren voor grasland en akkerland in kaarten weergegeven. Bij elk afzonderlijk kaartje staan voor de betreffende indicator een korte toelichting en eventuele bijzonderheden vermeld. Samen met de kaartjes van Nederland worden de meetresultaten per landgebruik/bodemtype-combinaties uitgesplitst weergegeven in de vorm van een staafdiagram. In Bijlage 3 worden de resultaten in kaartbeelden voor zowel grasland, akkerland als 'rest' weergegeven.

Niet alle in de kaarten weergegeven indicatoren hebben een gelijk kwaliteitsniveau; de kwaliteit van de metingen wordt per kaartbeeld aangegeven met ●, ●● of ●●● (zie ook paragraaf 2.5). Voor NIRS-bepalingen en de metingen van de indringingsweerstand wordt in hoofdstuk 4 (Discussie) bediscussieerd waarom het kwaliteitsniveau minder dan drie bolletjes is.

In paragraaf 3.2 worden de gemiddelde waarden van de BLN-indicatoren \bar{x} en de bereiken $\bar{x} \pm 2 \times$ standaarddeviatie gegeven.

In paragraaf 3.3 ten slotte wordt ingegaan op wat er nog nodig is om de nulmeting bodemkwaliteit voor landbouwgronden in Nederland volgens de BLN 1.0 Indicatorlijst dekkend en compleet te maken.

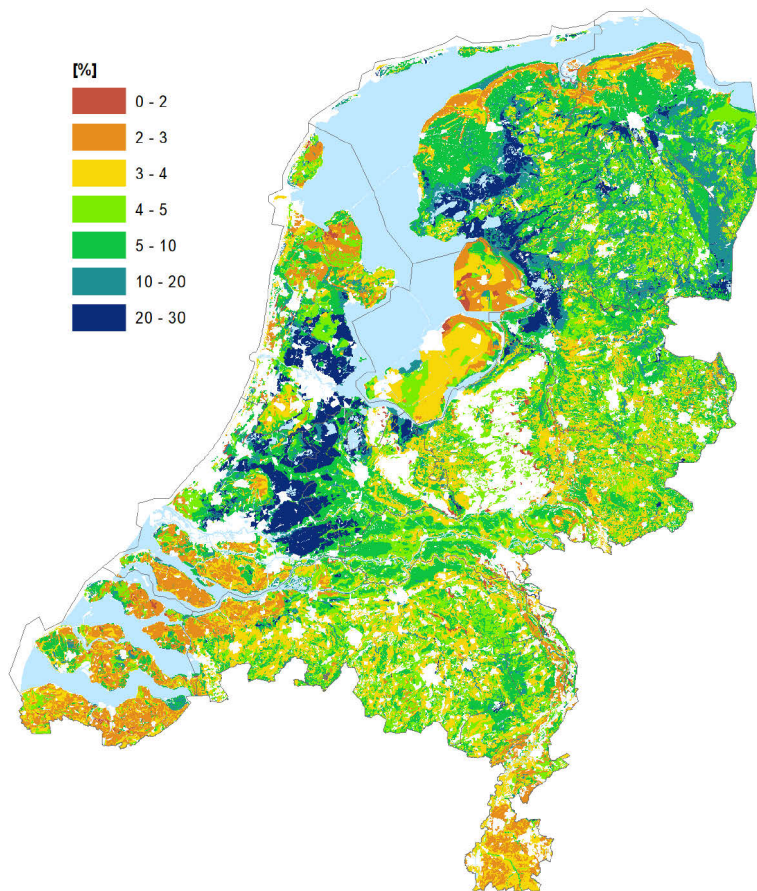
3.1 Kaartweergave op landelijk niveau

In deze paragraaf volgen de kaartbeelden die gemaakt zijn door gemiddelden te berekenen per deelgebied voor de BLN-indicatoren. In alle kaarten worden de gehalten in de 0-30 cm laag afgebeeld, met uitzondering van de indringingsweerstand (Figuur 20 en Figuur 21), welke de indringingsweerstand $> 2.5\text{MPa}$ van de lagen 0-30 cm en 30-80 cm laat zien. De witte vlakken in de kaarten zijn gebieden die geen akkerland of grasland zijn (zoals in Figuur 3 aangeduid met 'Rest') óf gebieden met onvoldoende waarnemingen, waardoor er geen betrouwbare schatting van het gemiddelde voor dat deelgebied kan worden gemaakt.

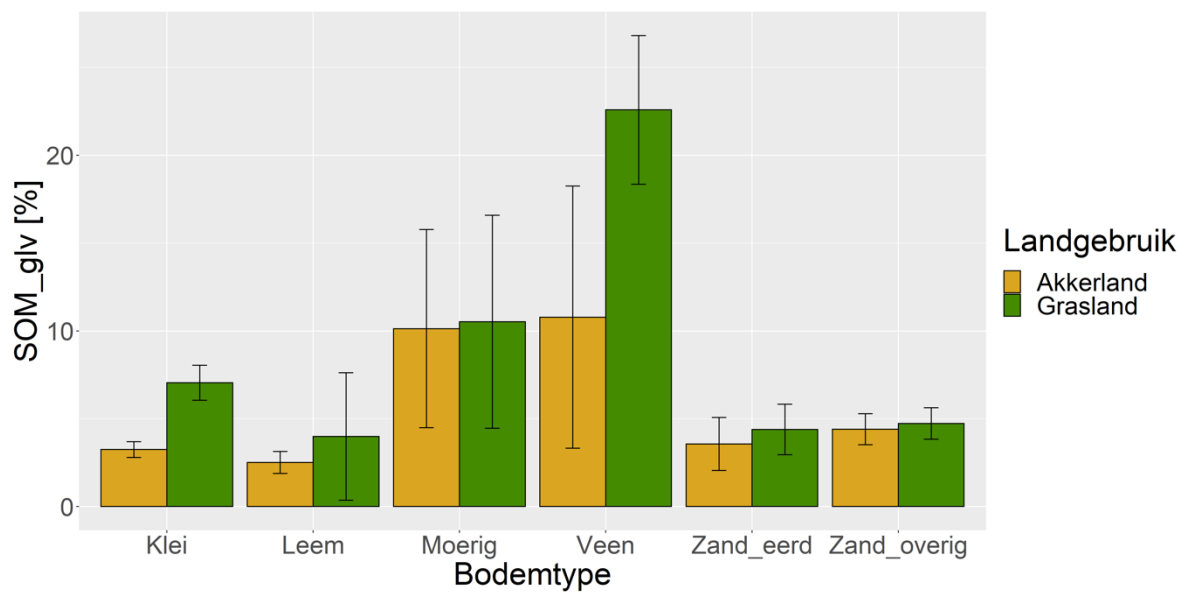
De volgorde van de resultaten in kaartvorm volgt de thema-volgorde van de BLN Indicatorset (Tabel 2): organische stof, fysische indicatoren, chemische indicatoren, biologische indicatoren.

3.1.1 Indicator 'Organischestofgehalte en koolstofgehalte'

Organischestofgehalte (SOM): percentage bodemorganische stof 0-30 cm
(methode: **gloeiverlies** (klassiek), - kwaliteit van de bepaling: ●●●)

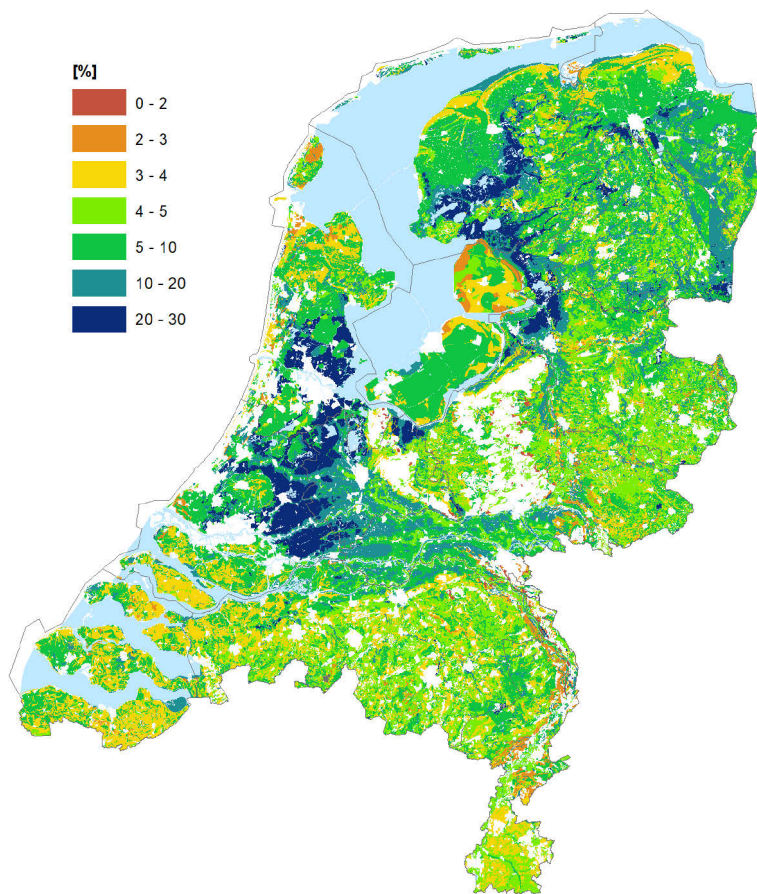


Figuur 5 Percentage bodemorganische stof (SOM) in de laag 0-30 cm voor landgebruik grasland en akkerland. Gemeten door middel van gloeiverlies in de CC-NL steekproef 2018.

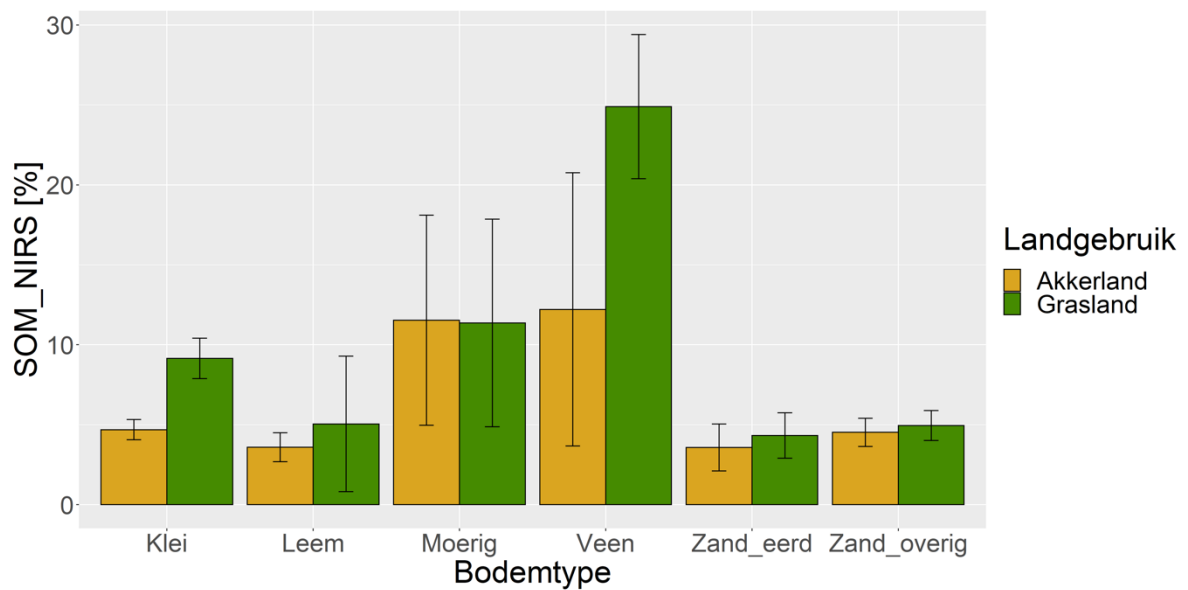


Figuur 6 Domeinschattingen op basis van landgebruik en bodem voor bodemorganische stof in de 0-30 cm laag in %. Gemeten door middel van gloeiverlies. De errorbars geven 2x standaarddeviatie aan; 95% van alle metingen.

Percentage bodemorganische stof (SOM) in de laag 0-30 cm
 (methode: NIRS - kwaliteit van de bepaling: ●●)

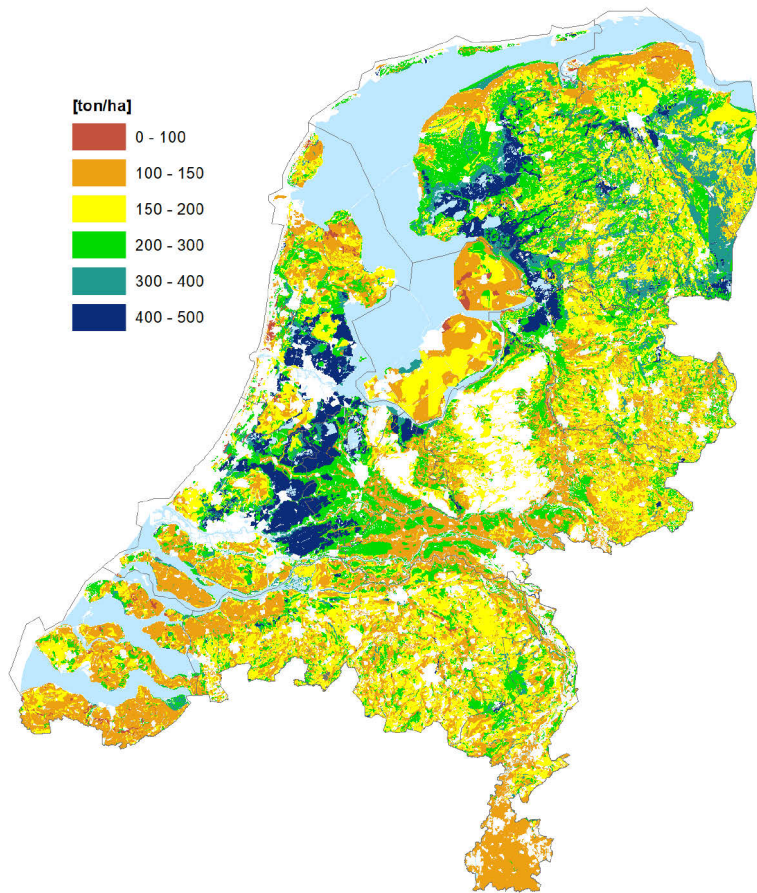


Figuur 7 Percentage bodemorganische stof in de laag 0-30 cm voor landgebruik grasland en akkerland. Gemeten door middel van NIRS in de CC-NL steekproef 2018.

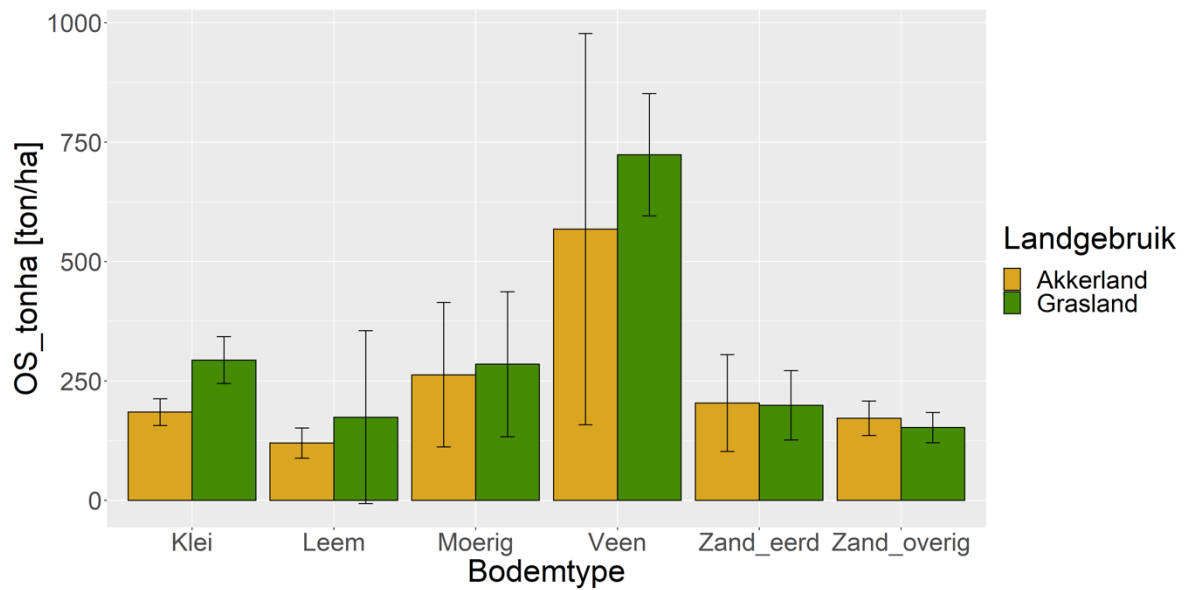


Figuur 8 Domeinschattingen op basis van landgebruik en bodem voor bodemorganische stof in %, voor de laag 0-30 cm diepte. Gemeten door middel van NIRS. De errorbars geven 2x standaarddeviatie aan; 95% van alle metingen.

Totale koolstofvoorraad in de bodem (SOC) in de laag 0-30 cm (ton/ha)
 (methode: gloeiverlies - kwaliteit van de bepaling: ●●●)

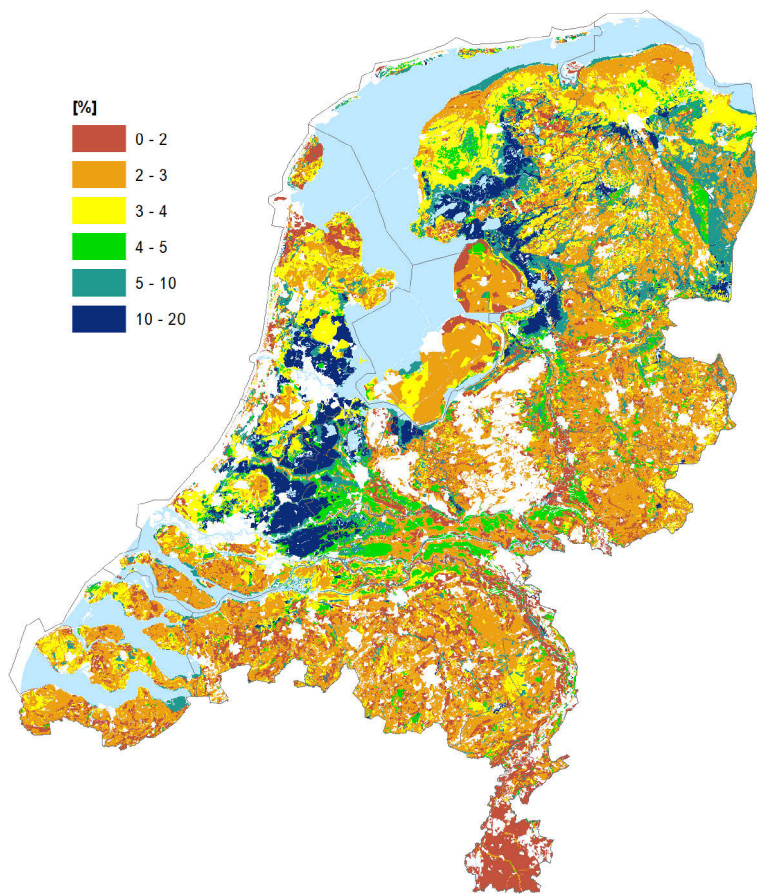


Figuur 9 Totale koolstofvoorraad in de bodem (ton/ha) in de laag 0-30 cm voor landgebruik grasland en akkerland. Gemeten door middel van gloeiverlies in de CC-NL steekproef 2018.

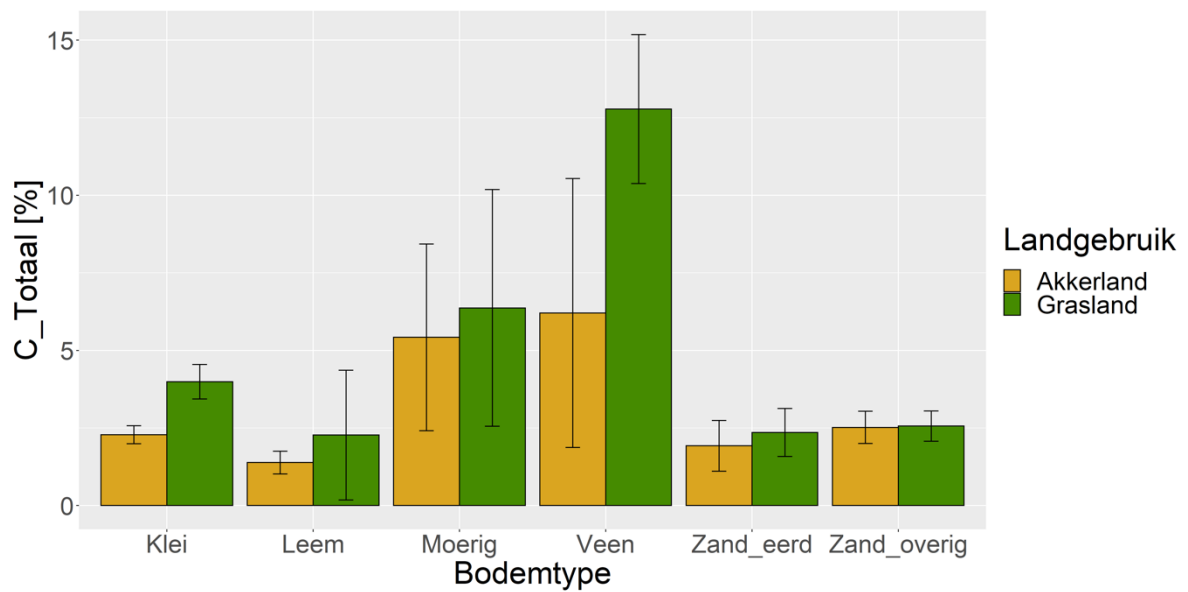


Figuur 10 Domeinschattingen op basis van landgebruik en bodem voor de totale koolstofvoorraad [ton/ha] in de laag 0-30 cm. Gemeten door middel van gloeiverlies. De errorbars geven 2x standaarddeviatie aan; 95% van alle metingen.

Totaal organisch-koolstofgehalte (C_Totaal) (g/100 g bodem) in de laag 0-30 cm
 (methode: NIRS - kwaliteit van de bepaling: ●●)



Figuur 11 Totaal organisch-koolstofgehalte (g/100 g bodem) in de laag 0-30 cm voor landgebruik grasland en akkerland. Gemeten door middel van NIRS in de CC-NL steekproef 2018.



Figuur 12 Domeinschattingen op basis van landgebruik en bodem voor het totaal organisch-koolstofgehalte [%] in de laag 0-30 cm, gemeten door middel van NIRS. De errorbars geven 2x standaarddeviatie aan; 95% van alle metingen.

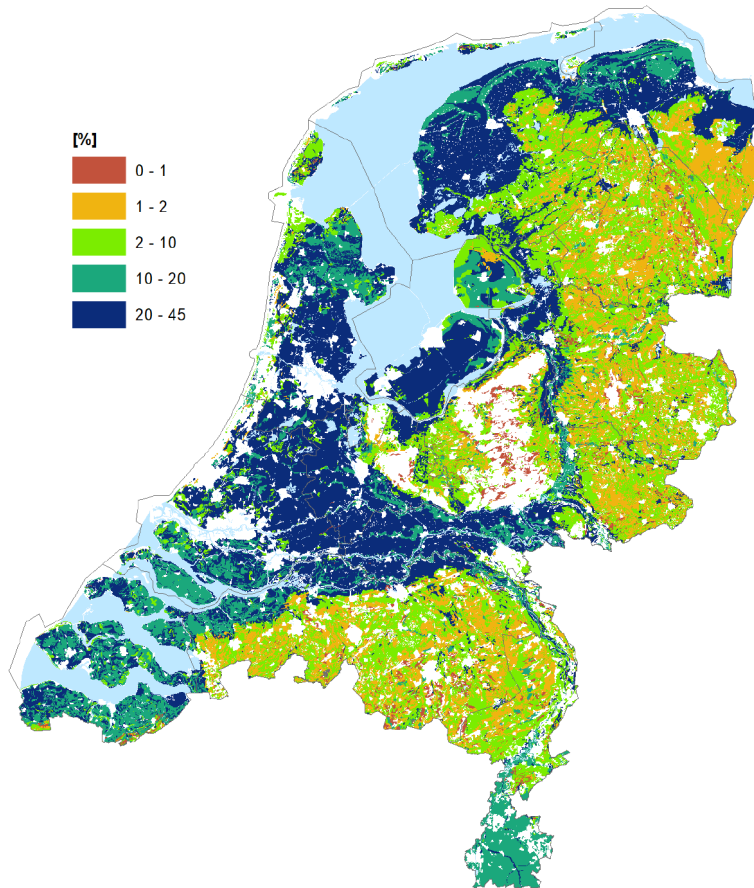
In de figuren 5 t/m 12 wordt het organischestofgehalte in de Nederlandse bodem zoals waargenomen in 2018 weergegeven. De berekeningen zijn op basis van deelgebieden (strata) uitgevoerd en weergegeven, zie ook paragraaf 2.3.2. Bij moerige gronden en veengronden is onderscheid gemaakt naar de diepte waarbinnen moerig materiaal voorkomt, dus binnen 30 cm of binnen 30 tot 100 cm. Daarnaast is onderscheid gemaakt tussen deelgebieden die volgens de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000, uitsluitend uit minerale gronden bestaan en deelgebieden die volgens die kaart naast minerale gronden ook moerige gronden en veengronden kunnen bevatten. In het rapport van Van Tol-Leenders et al. (2019) (in Bijlage 2) staat weergegeven welke strata binnen welke bodemtypen vallen.

In de rapportage *Koolstofvoorraad in de bodem van Nederland (1998-2018)* (Van Tol-Leenders et al., 2019) zijn de gehalten aan organische stof vergeleken met een eerdere opname. In dat rapport is geconcludeerd dat het gehalte aan organische stof in de laag van 0 tot 30 cm tussen circa 1998 en 2018 significant blijkt te zijn afgenomen: van 6,85 naar 6,43%. Voor het deel van Nederland dat op de bodemkaart als minerale grond is gekarteerd, kon echter geen significante verandering in het gehalte aan organische stof worden aangetoond. Een verklaring van de afname van het landelijk gemiddelde gehalte aan organische stof kan volgens de auteurs worden gezocht in de oxidatie van veen en moerig materiaal.

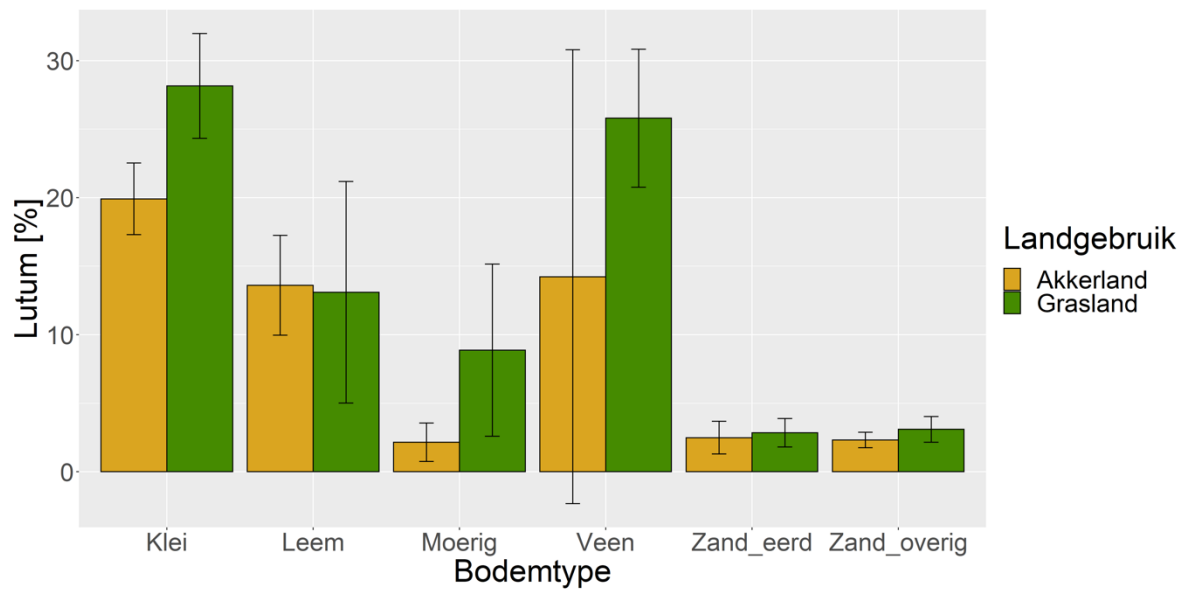
3.1.2 Fysische indicatoren

Textuur: Percentage lutum in de laag 0-30 cm

(methode: NIRS - kwaliteit van de bepaling: ●●●)



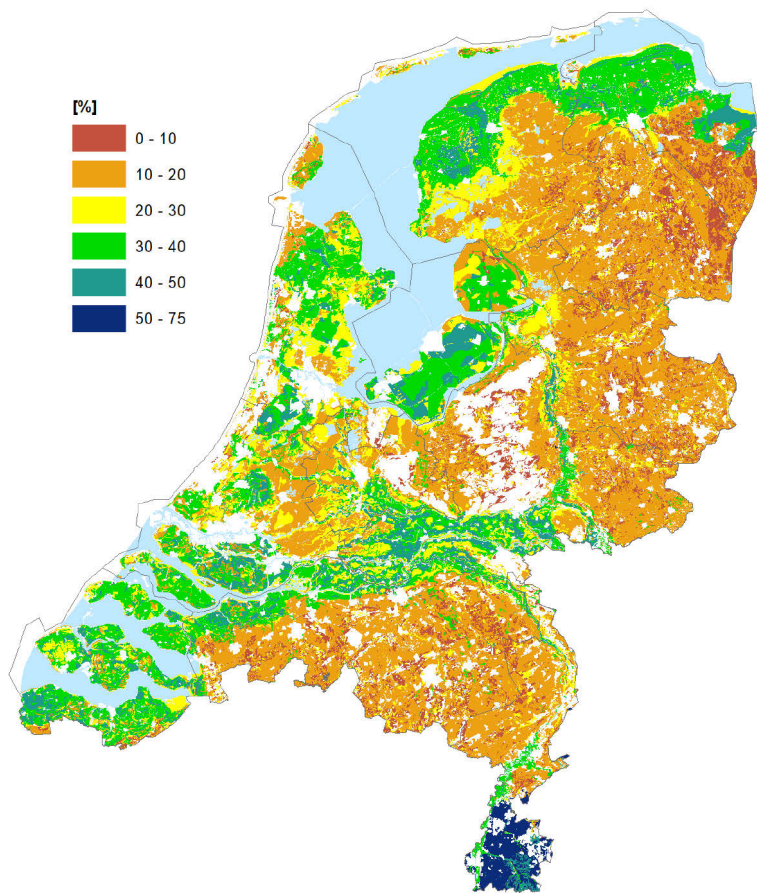
Figuur 13 Percentage lutum in de laag 0-30 cm voor landgebruik grasland en akkerland. Gemeten door middel van NIRS in de CC-NL steekproef 2018.



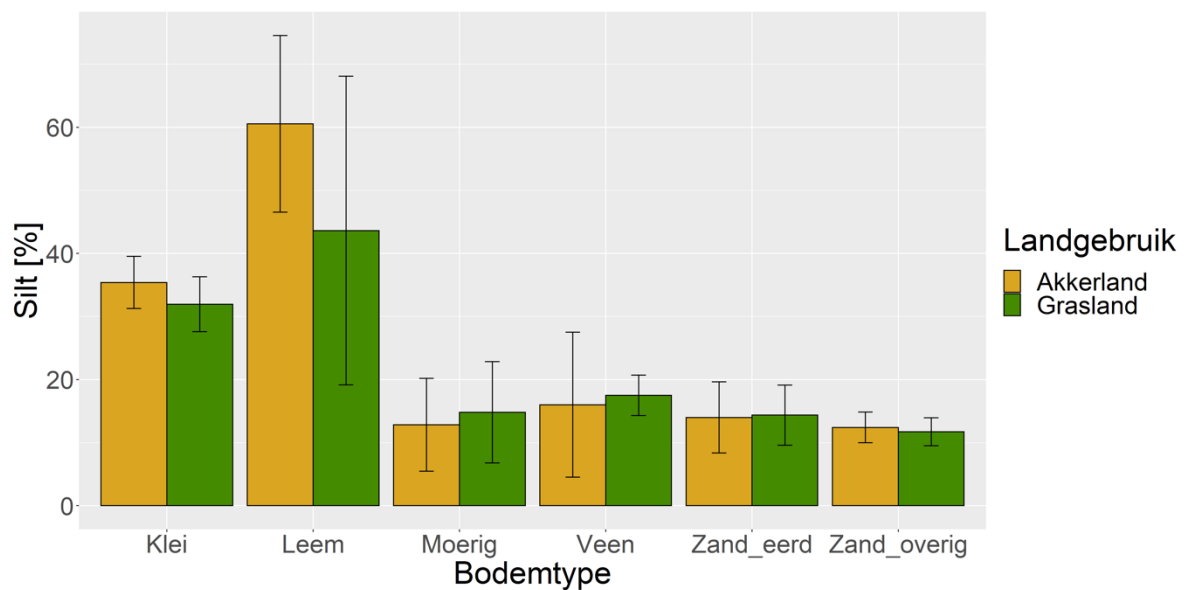
Figuur 14 Domeinschattingen op basis van landgebruik en bodem voor het lutumgehalte in %. De errorbars geven 2x standaarddeviatie aan; 95% van alle metingen.

Percentage silt in de laag 0-30 cm

(methode: NIRS - kwaliteit van de bepaling: ●●●)



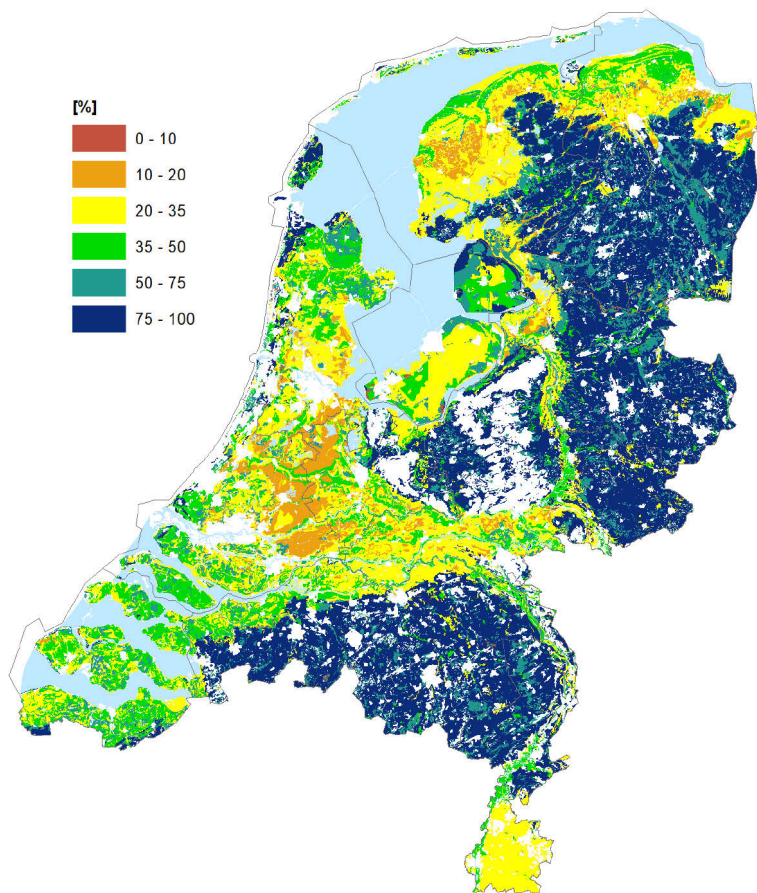
Figuur 15 Percentage silt in de laag 0-30 cm voor landgebruik grasland en akkerland. Gemeten door middel van NIRS in de CC-NL steekproef 2018.



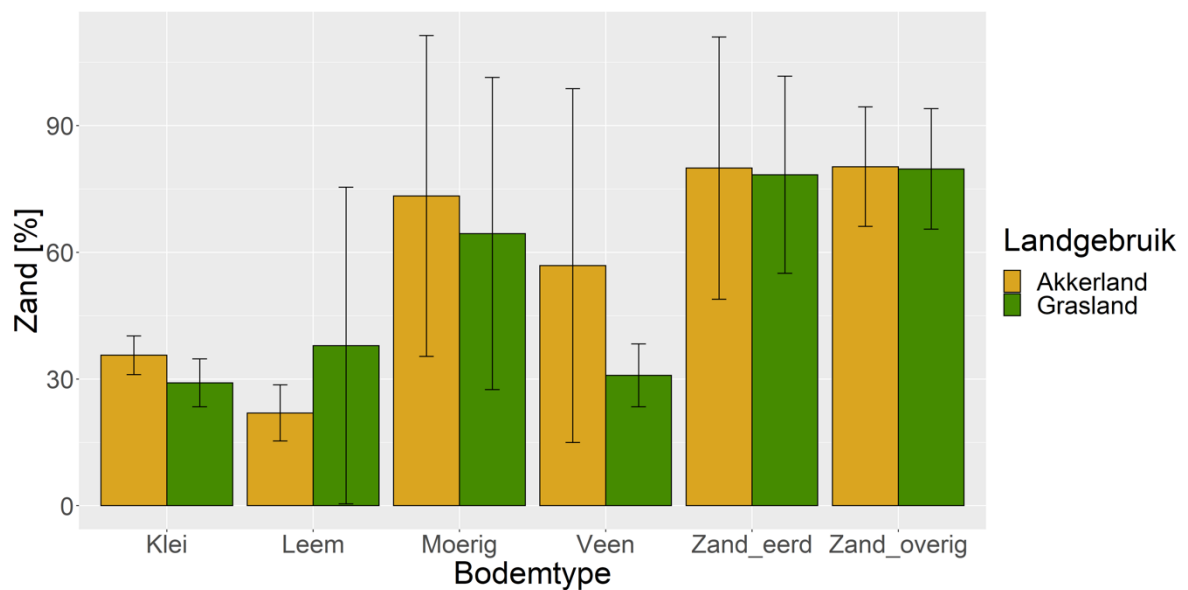
Figuur 16 Domeinschattingen op basis van landgebruik en bodem voor het siltgehalte in %. De errorbars geven 2x standaarddeviatie aan; 95% van alle metingen.

Percentage zand in de laag 0-30 cm

(methode: NIRS - kwaliteit van de bepaling: ●●●)



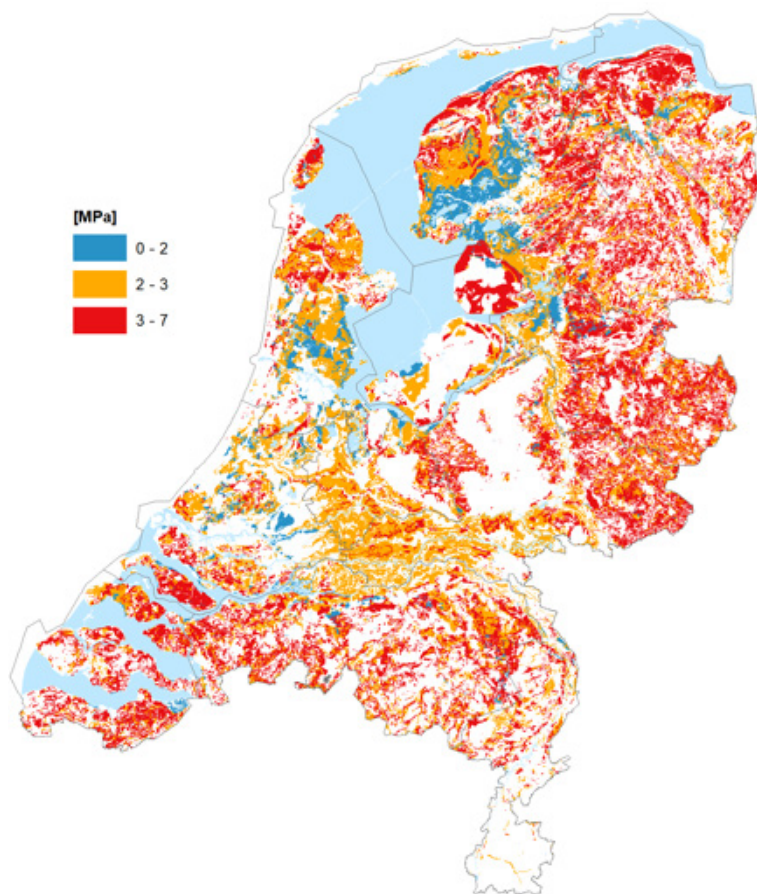
Figuur 17 Percentage zand in de laag 0-30 cm voor landgebruik grasland en akkerland. Gemeten door middel van NIRS in de CC-NL steekproef 2018.



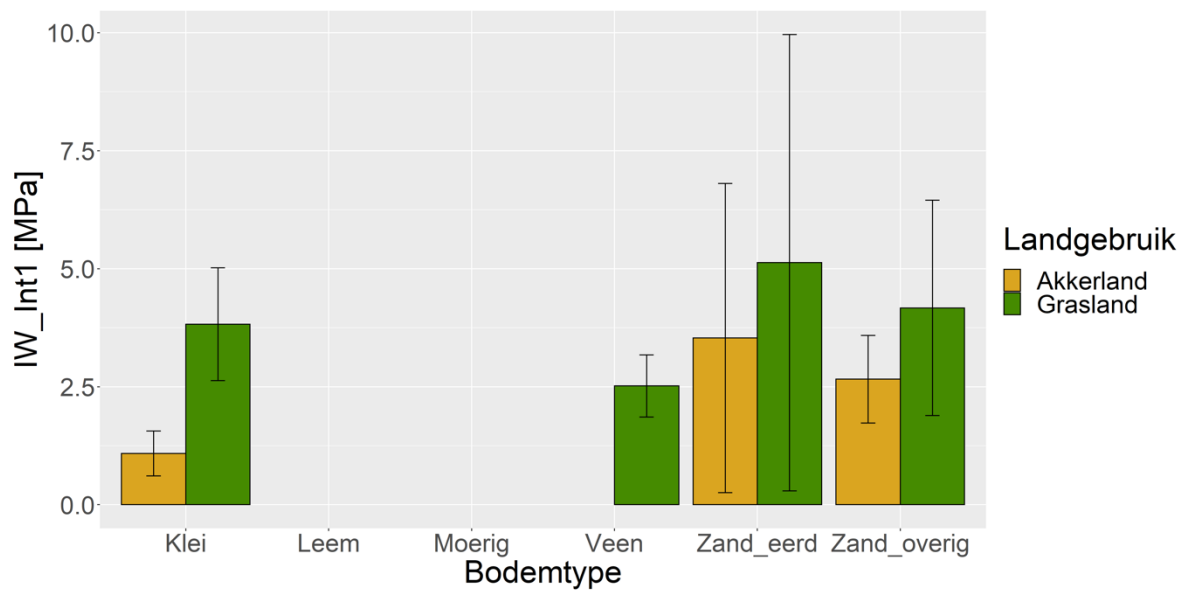
Figuur 18 Domeinschattingen op basis van landgebruik en bodem voor het zandgehalte in %. De errorbars geven 2x standaarddeviatie aan; 95% van alle metingen.

Indringingsweerstand

(methode: penetrologger. Kwaliteit van de meting: ●●)



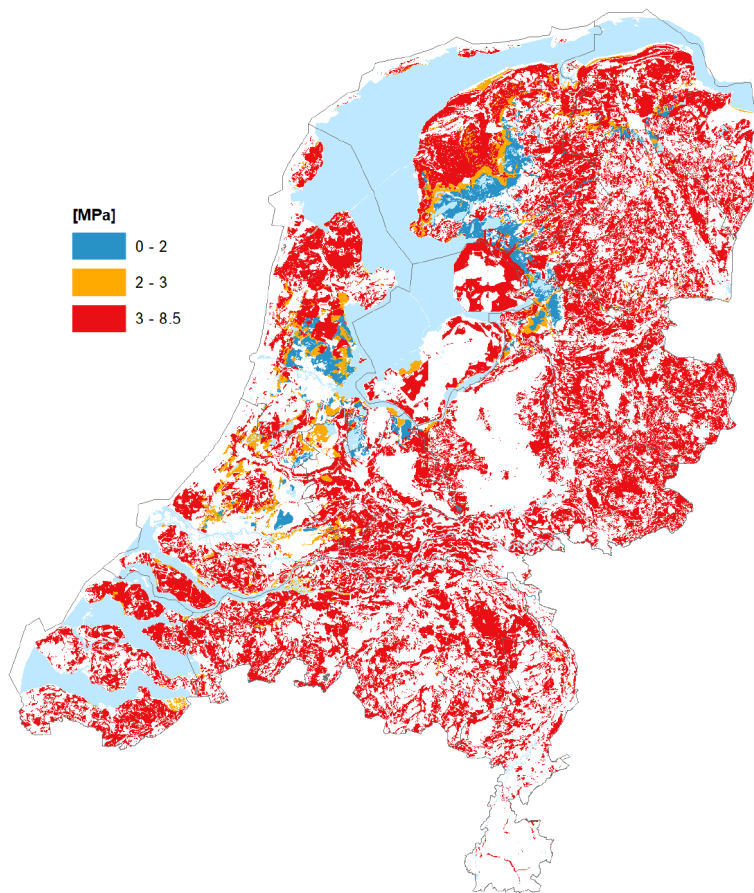
Figuur 19 Maximale indringingsweerstand van de bovenlaag 0-30 cm -maaiveld en bij bodemvocht criterium 1: drukhoogte $h = -50..-150$ cm – zie Bijlage 9) voor landgebruik grasland en akkerland, gemeten in de CC-NL steekproef 2018.



Figuur 20 Domeinschattingen op basis van landgebruik en bodem voor de indringingsweerstand (IW) in de laag van 0-30 cm bij bodemvocht criterium 1 ($h = -50$ cm < -150 cm - zie Bijlage 9). Een aantal bodemtypen ontbreekt, omdat deze door het vocht criterium zijn uitgefilterd. De errorbars geven 2x standaarddeviatie aan; 95% van alle metingen.

Bij de figuren voor de indringingsweerstand is onderscheid gemaakt tussen de zogenaamde bodemvochtcriteria 1, 2 en 3, zoals omschreven in Bijlage 9. In de droge zomer van 2018 zijn veel metingen van de indringingsweerstand niet volgens het protocol van de bodemvochttoestand uitgevoerd ($h = -100\text{cm}$), maar was de bodem veel te droog. Met de bodemvochtcriteria 1...3 zijn steeds minder streng; de metingen die niet binnen de gedefinieerde bodemvochtcriteria liggen, zijn uit de dataset weggelaten. Dit resulteert in steeds meer metingen die overblijven naarmate de selectie minder streng wordt (criterium 1, 469 metingen, 9% resterend; criterium 2, 609 metingen, 12% resterend; criterium 3, 1695 metingen, 34% resterend). Het totaal aantal enkelvoudige metingen is 4990, ofwel 5 enkelvoudige metingen per locatie). In Figuur 20 en Figuur 21 wordt de maximale indringingsweerstand in overeenstemming met bodemvochtcriterium 1 weergegeven.

De betekenis van de legenda is als volgt: is de indringingsweerstand (IW) ergens in het profiel kleiner dan 2MPa: geen restricties voor wortelgroei (blauw); is de indringingsweerstand ergens in het profiel tussen de 2 MPa IW en 3 MPa (oranje): restricties voor wortelgroei voor bijna alle gewassen, resulterend in een gereduceerde gewasopbrengst, afhankelijk van waar de verdichting optreedt. Is de indringingsweerstand IW ergens in het profiel groter dan 3MPa (rood): wortelgroei praktisch gezien niet meer mogelijk. Dit laatste heeft met name consequenties als de verdichting ergens bovenaan in het profiel optreedt.

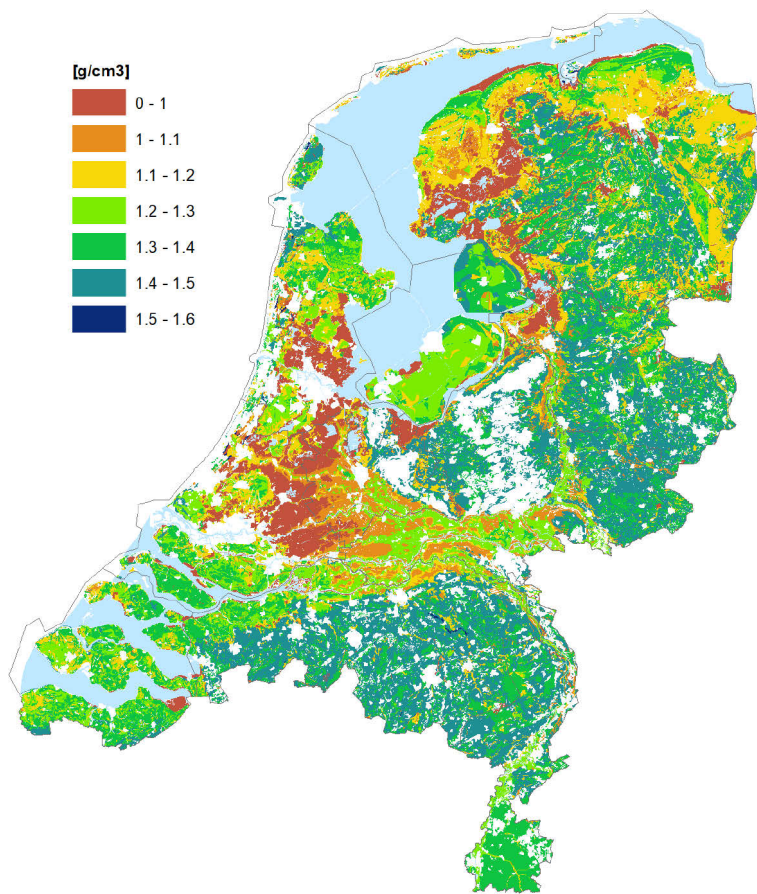


Figuur 21 Maximale indringingsweerstand van de onderlaag 30-80 cm -maaiveld en bij bodemvocht scenario 1: drukhoogte $h = -50..-150\text{ cm}$ – zie Bijlage 9) voor landgebruik grasland en akkerland, gemeten in de CC-NL-steekproef 2018.

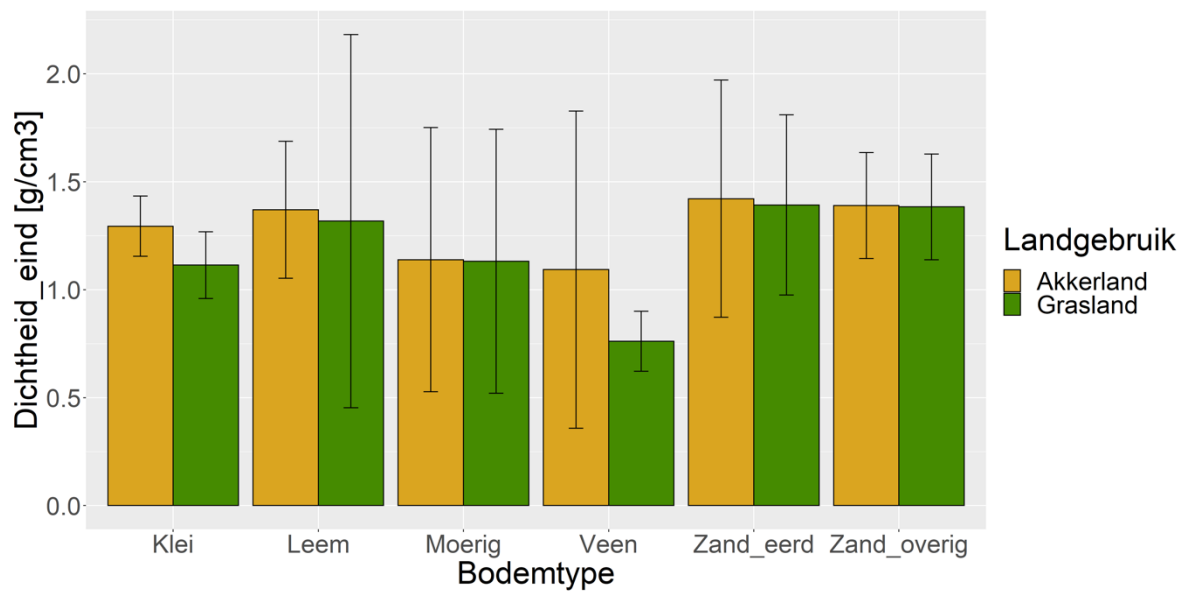
Ter illustratie is ook de indringingsweerstand voor de onderlaag (30-80 cm -maaiveld) toegevoegd; Figuur 21. Opvallend is dat in beide kaartjes van de indringingsweerstand de strata met hoge indringingsweerstand ($> 3\text{ MPa}$) de overhand hebben. Dit zou betekenen dat in de rode gebieden wortelgroei ernstig beperkt tot onmogelijk zou zijn op de diepte waar de indringingsweerstand deze grens bereikt. Als deze situatie voorkomt in de bovenste 30 centimeter van het profiel heeft dit ernstiger consequenties dan als dit in de diepere bodemlaag optreedt.

Droge bulkdichtheid van de bodem in de laag 0-30 cm

(methode: Guts - kwaliteit van de bepaling: ●●)



Figuur 22 De dichtheid van de bodem in de laag 0-30 cm in g/cm^3 gemeten in de CC-NL-steekproef 2018.



Figuur 23 Domeinschattingen op basis van landgebruik en bodem voor de bulkdichtheid in g/cm^3 voor landgebruik grasland en akkerland. De errorbars geven 2x standaarddeviatie aan; 95% van alle metingen.

Door de droge zomer van 2018, waarin de metingen van het CC-NL-project hebben plaatsgevonden, is de bepaling van de dichtheid door middel van de gutsmethode waarschijnlijk beïnvloed. In het rapport van het CC-NL-project (Van Tol-Leenders et al., 2019) wordt over de bepaling van dichtheid door middel van de gutsmethode het volgende gezegd:

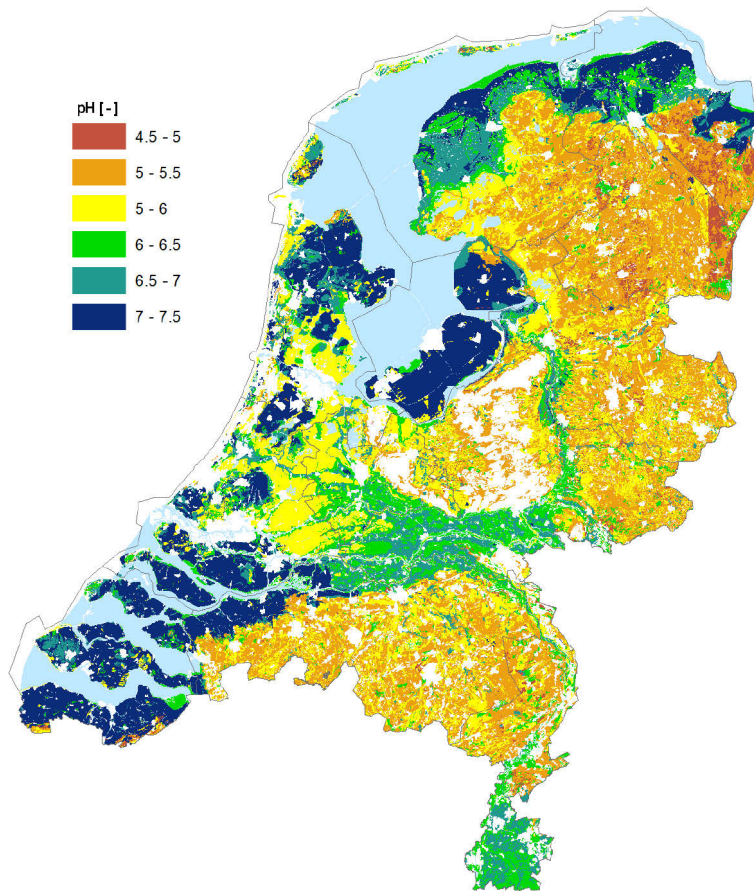
'In 2018 is deze dichtheid via het volume van de guts bepaald (paragraaf 2.2). De gemeten dichtheden zijn op sommige meetpunten heel hoog of juist heel laag. Op minerale gronden wordt op de laag 0-30 cm voor een aantal locaties een erg lage dichtheid gemeten, wat mogelijk een gevolg is van de droogte die in 2018 in Nederland optrad. Door de droogte raakte de guts mogelijk niet altijd goed gevuld met grond.

De resultaten laten een grote variatie in gemeten dichtheid zien en gemiddeld genomen een afname ten opzichte van circa 1998. Mogelijk heeft de droogte van 2018 de gemeten dichtheid beïnvloed. Het is daarom aan te bevelen om terug te keren naar een selectie van veldlocaties om daar opnieuw de dichtheid vast te stellen. Tevens is het aan te bevelen om dan de gutsmethode te vergelijken met de gravimetrische methode met 100cc-ringen en de nieuwe dichtheidssensor. Ook dienen de aldus verkregen dichtheidsgegevens gebruikt te worden bij de verklaring van de waargenomen indringingsweerstand, rekening houdend met het huidige landgebruik.'

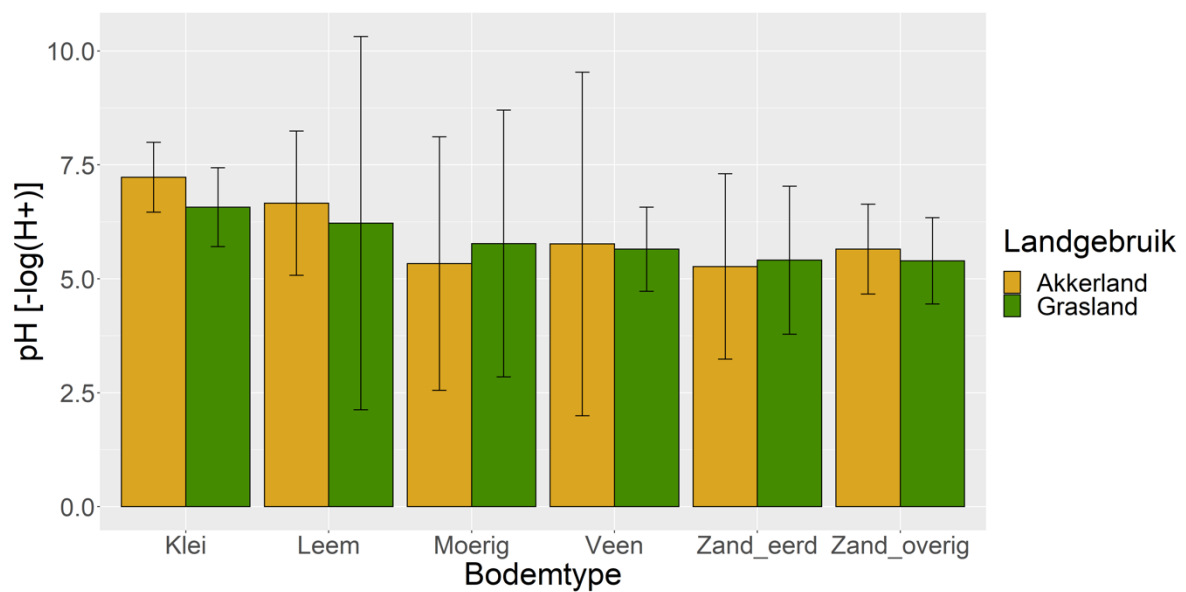
3.1.3 Chemische indicatoren

De pH van de bodem in de laag 0-30 cm

(methode: NIRS - kwaliteit van de bepaling: ●●)



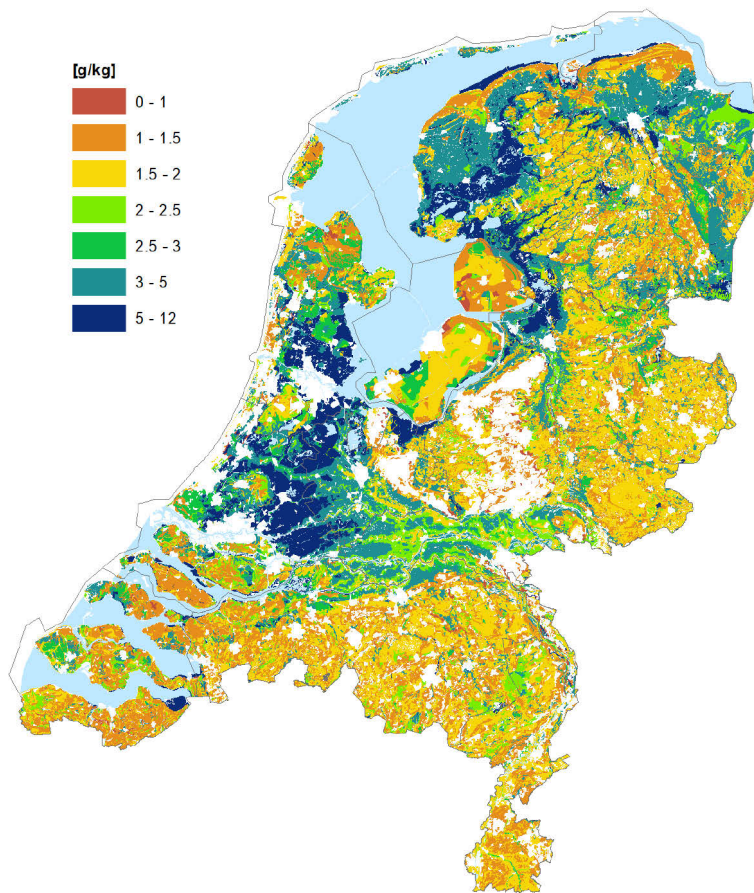
Figuur 24 De pH van de bodem in de laag 0-30 cm voor landgebruik grasland en akkerland. Gemeten door middel van NIRS in de CC-NL-steekproef 2018.



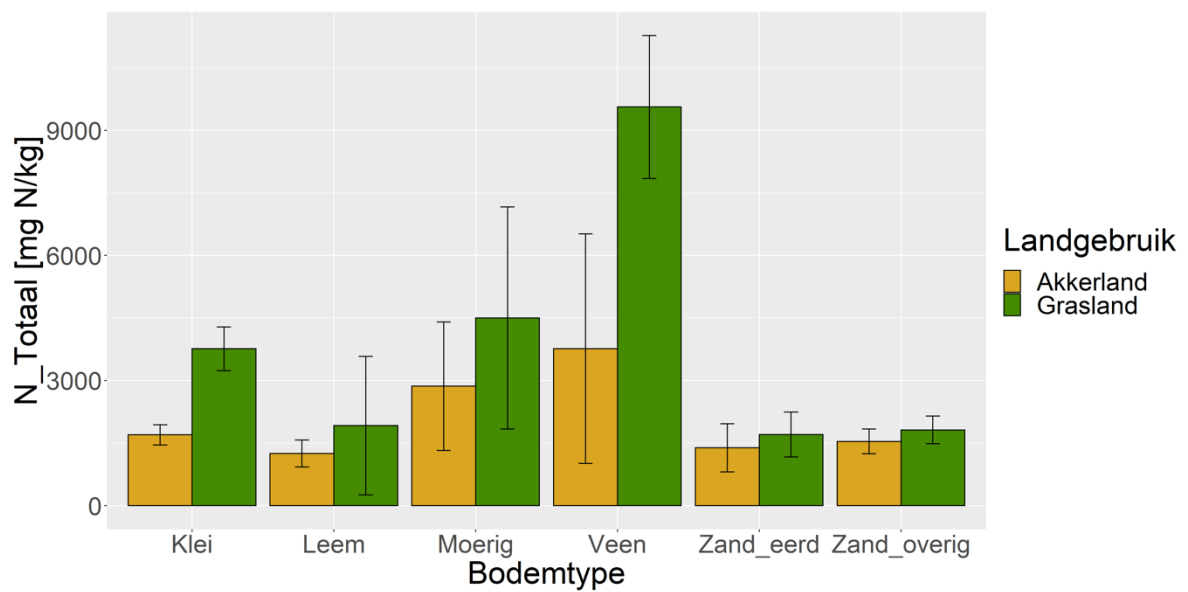
Figuur 25 Domeinschattingen op basis van landgebruik en bodem voor de zuurtegraad. De errorbars geven 2x standaarddeviatie aan; 95% van alle metingen.

Totale N-voorraad in de laag 0-30 cm

(methode: extractie in Dumas - kwaliteit van de bepaling: ●●●)



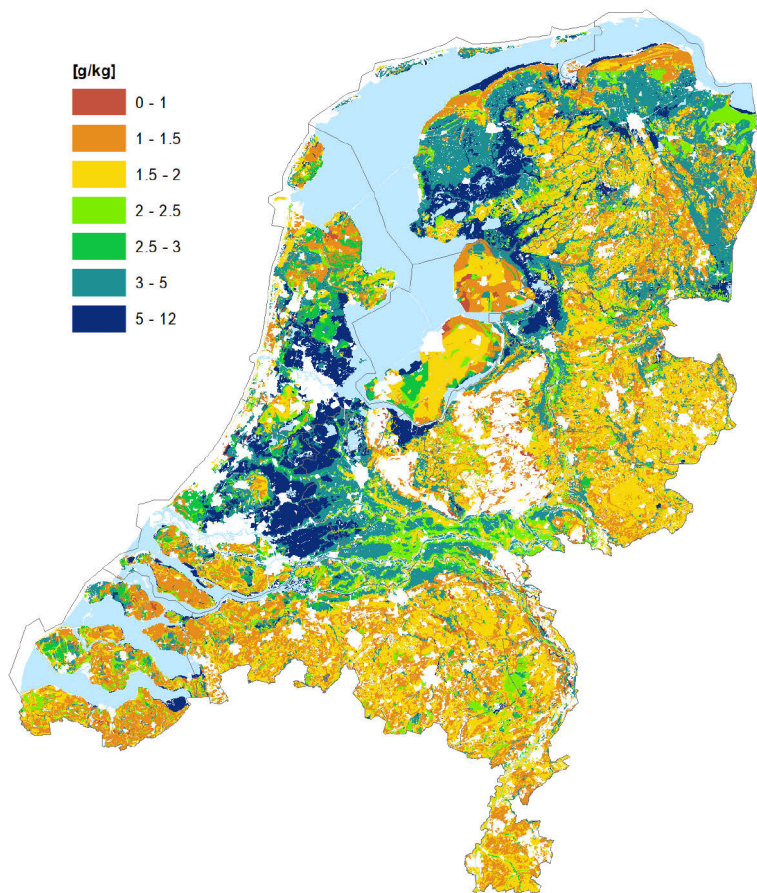
Figuur 26 Totale N-voorraad in de laag 0-30 cm in g/kg, voor landgebruik grasland en akkerland. Gemeten door middel van de Dumas-methode in de CC-NL-steekproef 2018.



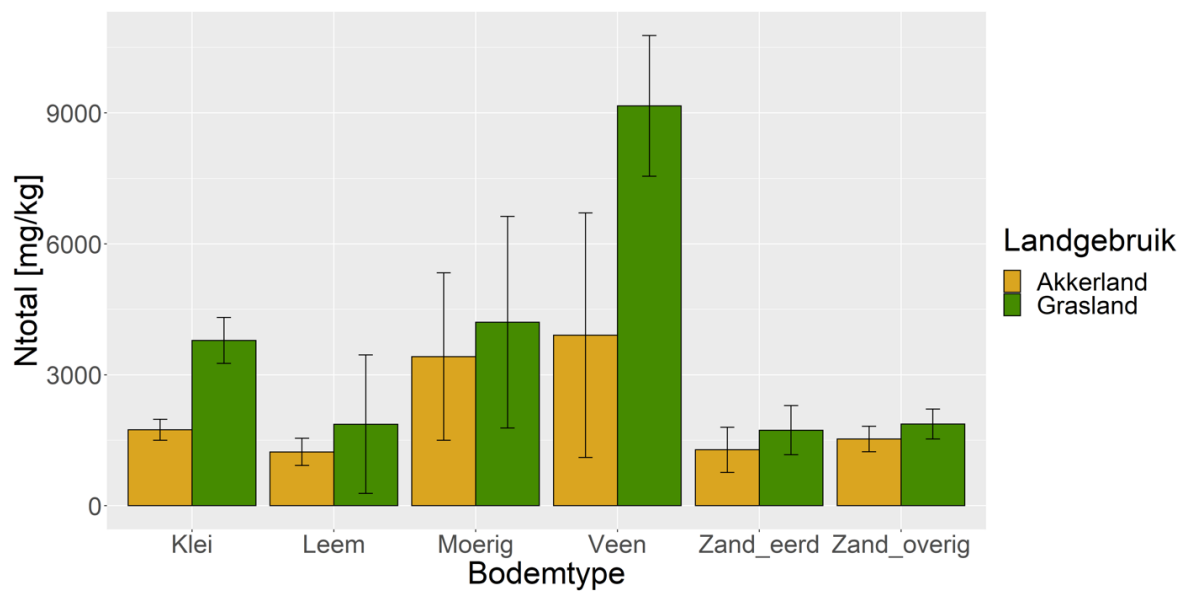
Figuur 27 Domeinschattingen op basis van landgebruik en bodem voor de totale stikstofvoorraad in mg/kg (let op: het kaartje geeft g/kg). Gemeten door middel van de Dumas-methode. De errorbars geven 2x standaarddeviatie aan; 95% van alle metingen.

Totale N-voorraad in de laag 0-30 cm

(methode: NIRS – kwaliteit van de bepaling: ●●●)



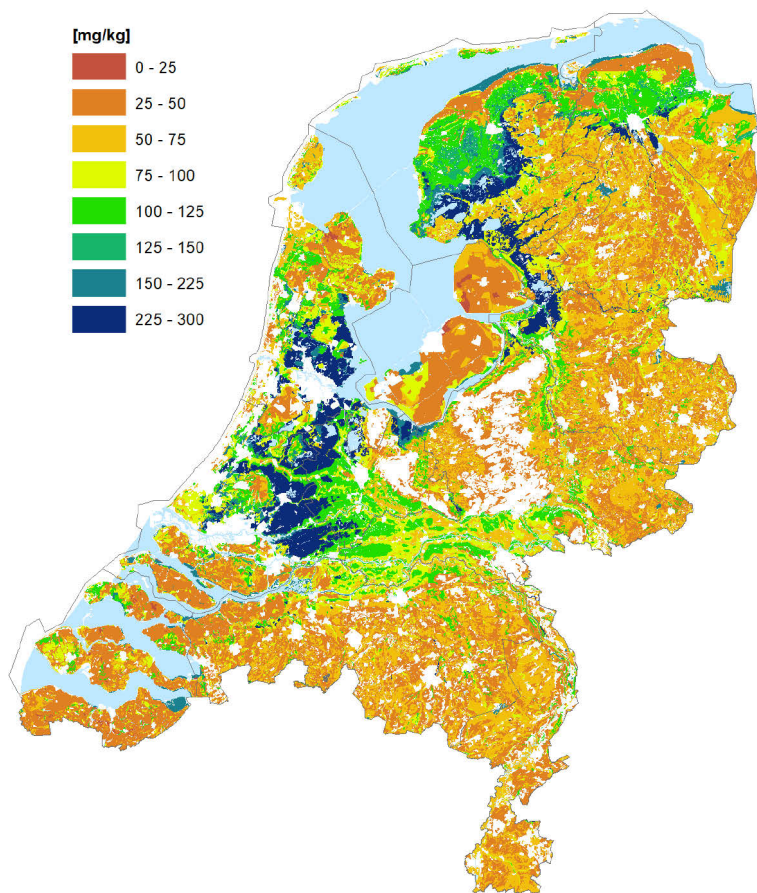
Figuur 28 Totale N-voorraad in de laag 0-30 cm in mg/kg, voor landgebruik grasland en akkerland. Gemeten door middel van NIRS in de CC-NL-steekproef 2018.



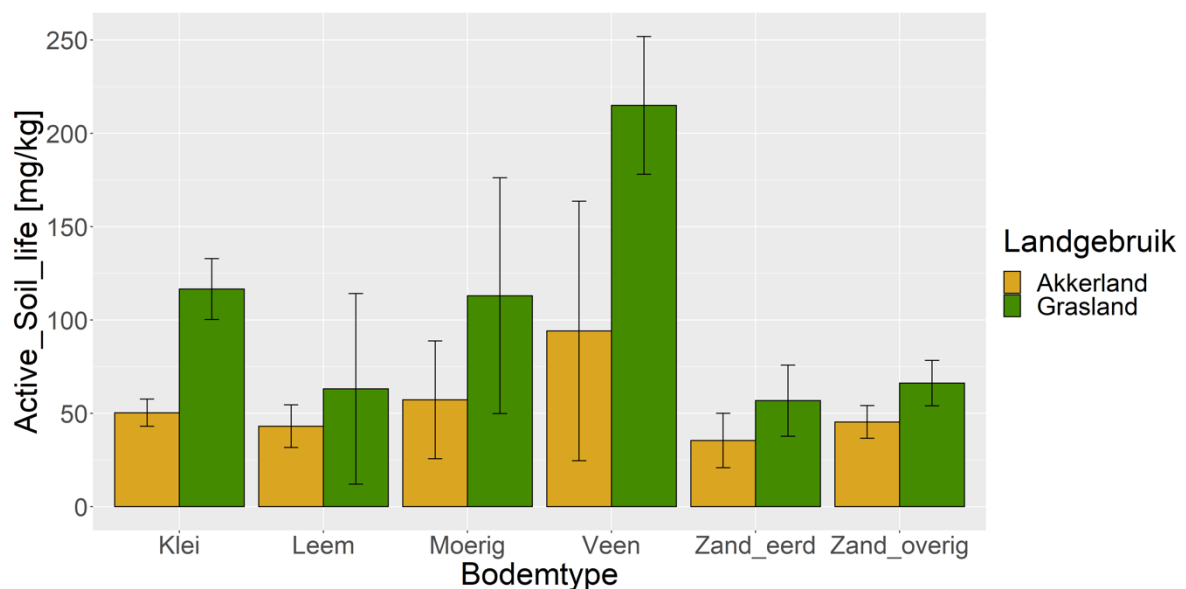
Figuur 29 Domeinschattingen op basis van landgebruik en bodem voor de totale stikstofvoorraad in mg/kg. Gemeten door middel van NIRS. De errorbars geven 2x standaarddeviatie aan; 95% van alle metingen.

Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN)

(methode: NIRS - kwaliteit van de bepaling: ●●)



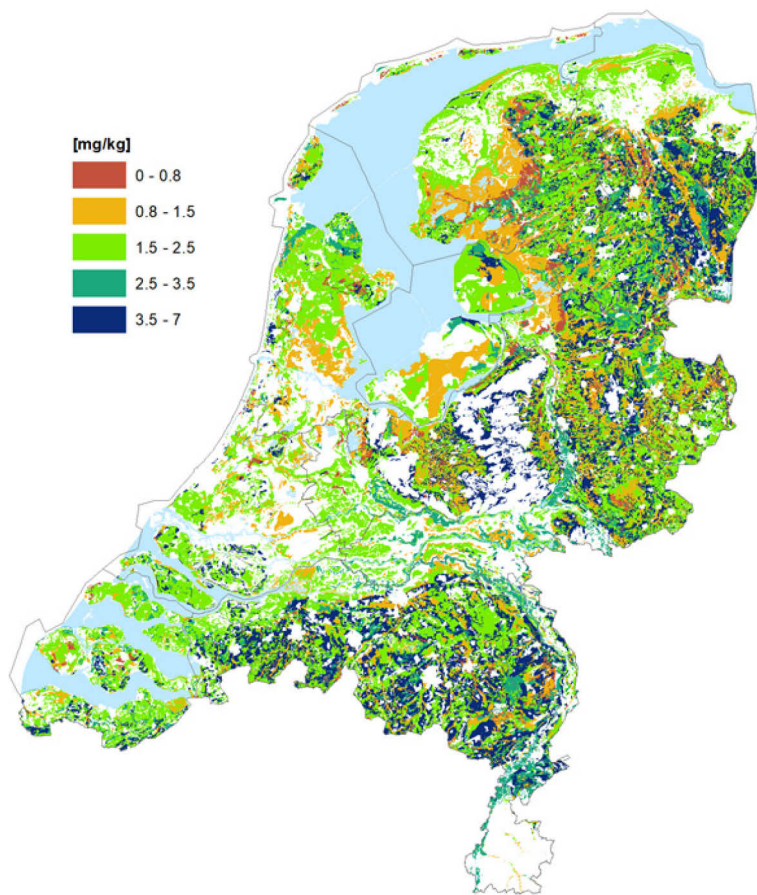
Figuur 30 Potentieel mineraliseerbare stikstof in mg/kg. Gemeten door middel van NIRS in de CC-NL-steekproef 2018.



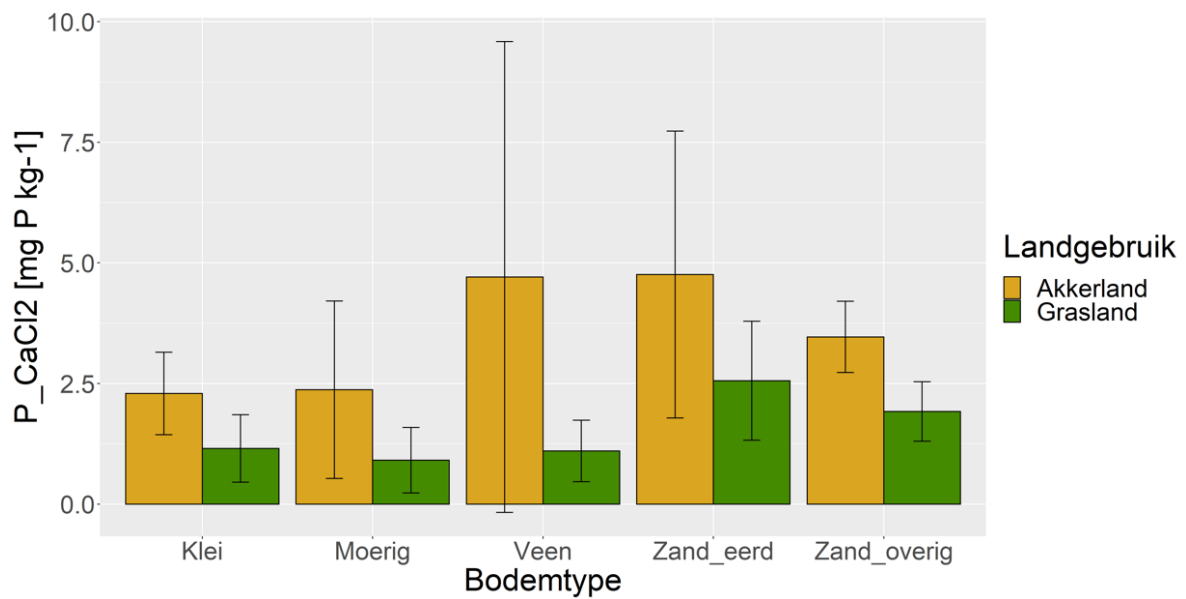
Figuur 31 Domeinschattingen op basis van landgebruik en bodem voor de potentieel mineraliseerbare stikstof (Active Soil Life) in mg/kg voor landgebruik grasland en akkerland. De errorbars geven 2x standaarddeviatie aan; 95% van alle metingen.

Fosforstatus P-CaCl₂

(methode: Extractie in calciumchloride - kwaliteit van de bepaling: ●●●)



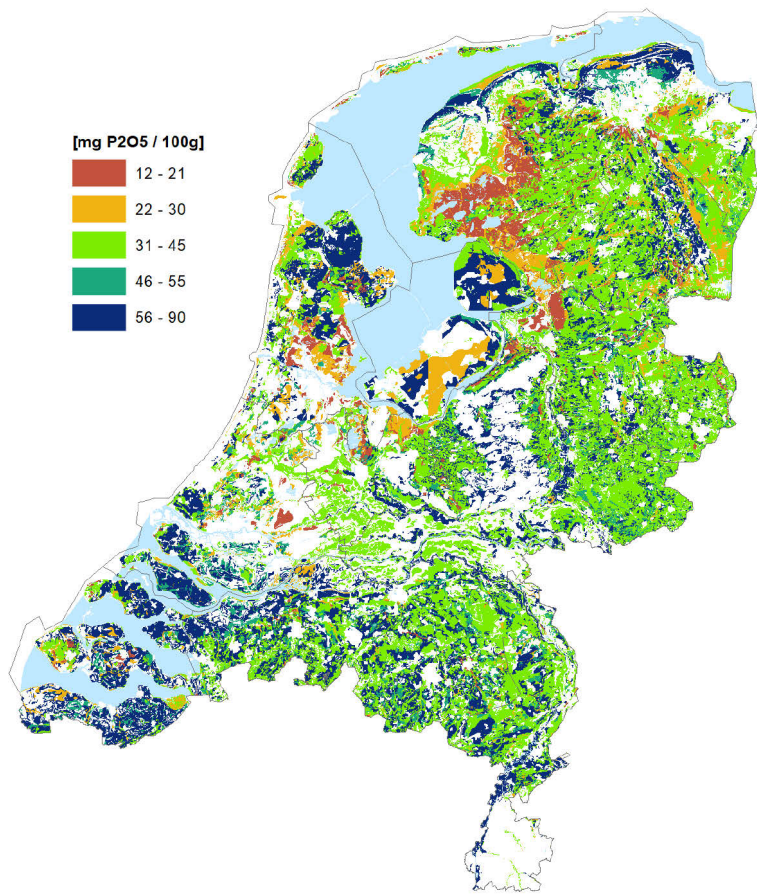
Figuur 32 P-CaCl₂ (P voorraad) in mg P/kg voor landgebruik grasland en akkerland, nat chemisch gemeten in de CC-NL steekproef 2018.



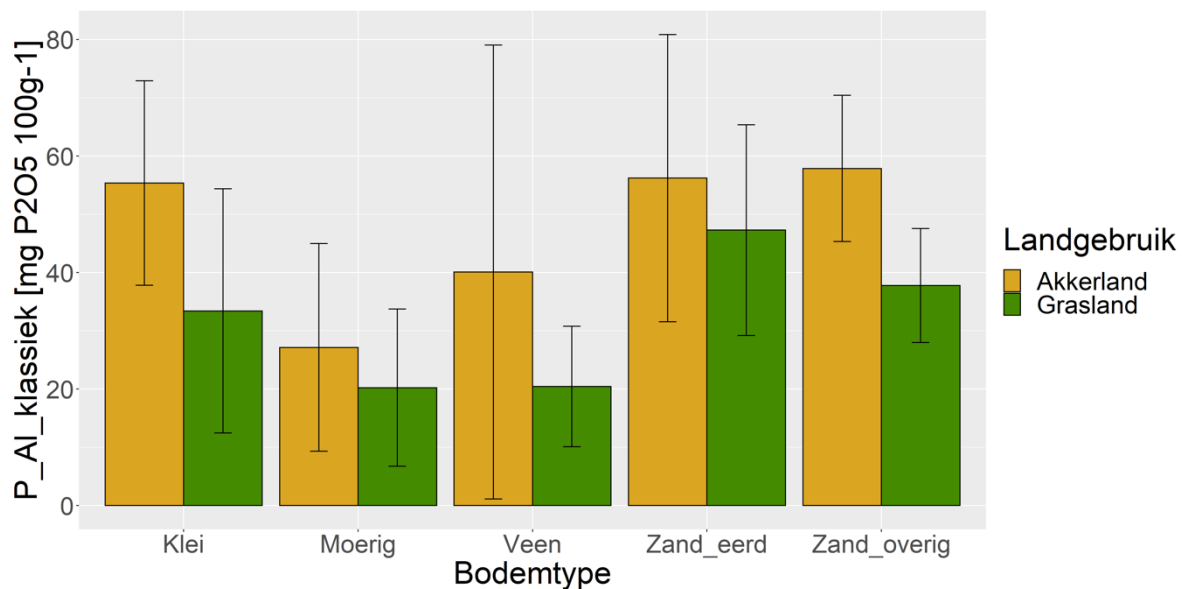
Figuur 33 Domeinschattingen op basis van landgebruik en bodem voor de directe beschikbaarheid P in mg P/kg. De errorbars geven 2x standaarddeviatie aan; 95% van alle metingen.

Fosforstatus P-AI

(methode: Extractie in ammoniumlactaat - kwaliteit van de bepaling: ●●●)



Figuur 34 P-AI (P-voorraad) in mg P₂O₅/100 g voor landgebruik grasland en akkerland, nat chemisch gemeten in CC-NL steekproef 2018.

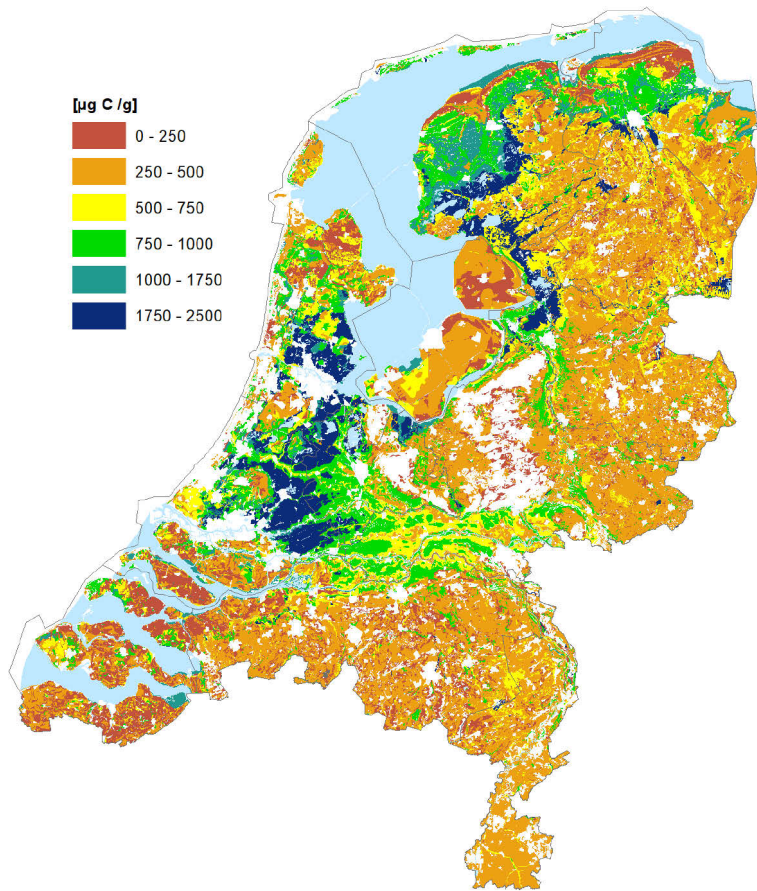


Figuur 35 Domeinschattingen op basis van landgebruik en bodem voor de directe beschikbaarheid P in mg P₂O₅/100g. De errorbars geven 2x standaarddeviatie aan; 95% van alle metingen.

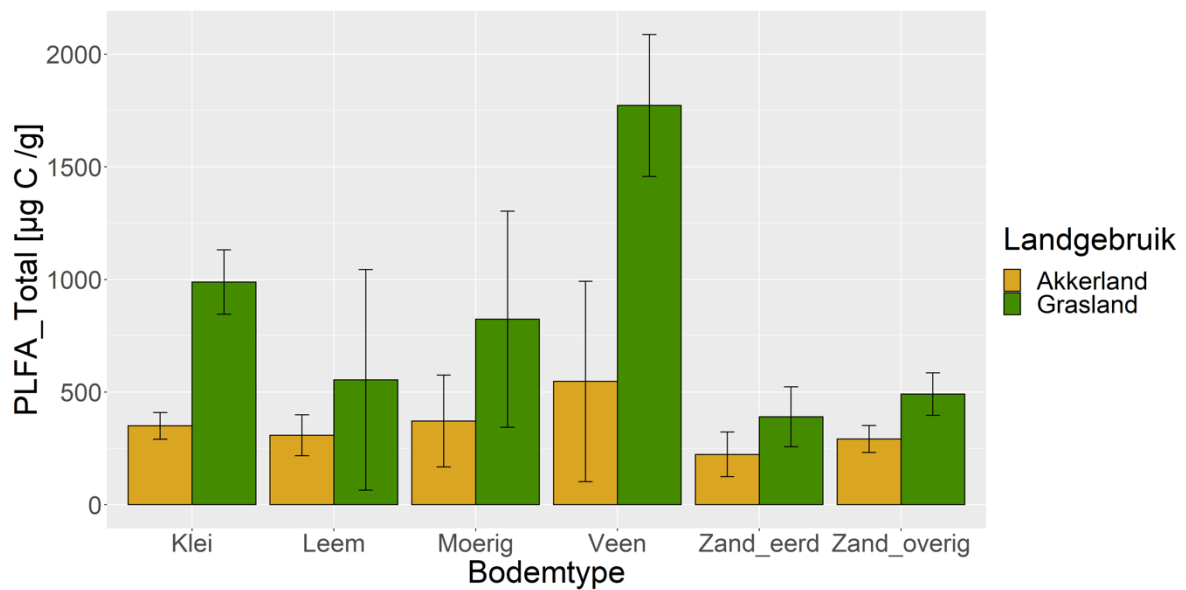
De fosforstatus is voor een beperkt aantal gronden gemeten waardoor niet voor alle gronden gegevens beschikbaar zijn. Dit uit zich in witte vlekken op de kaart en een ontbrekende domeinschatting voor leem.

3.1.4 Biologische indicatoren

PLFA Totaal (concentratie van bacteriën en schimmels - kwaliteit van de bepaling: ●●)



Figuur 36 FPLA Totaal-bepaling voor de concentratie van bacteriën en schimmels in $\mu\text{g C/kg}$ voor landgebruik grasland en akkerland. Bepalingmethode: NIRS, gemeten in de CC-NL-steekproef 2018.



Figuur 37 Domeinschattingen op basis van landgebruik en bodem voor PLFA in $\mu\text{g C/g}$. De errorbars geven 2x standaarddeviatie aan; 95% van alle metingen.

De bepaling PLFA Totaal is de som van PLFA-schimmels en PLFA-bacteriën, alleen PLFA Totaal wordt hier als indicator weergegeven. Voor alle bodemtypen worden hogere waarden aan PLFA-schimmels gevonden voor graslanden dan voor akkerland. De trend bij schimmels lijkt verdacht veel op die bij bacteriën en er worden ook hogere waarden aan schimmels gemeten, terwijl deze verhouding meestal anders is (meer bacteriebiomassa dan schimmelbiomassa). De PLFA-bepaling voor bacteriën en schimmels is voor NIRS experimenteel en de methodiek is nog niet door NEN of RvA geaccrediteerd, en dus nog niet volledig betrouwbaar.

3.2 Gemiddelde waarden en bandbreedte van de bodemkwaliteitsindicatoren

De CC-NL-dataset zoals gebruikt in dit onderzoek bevat een groot aantal veldwaarnemingen (van 1152 locaties in akkerland, grasland en gebieden met ander landgebruik). Van de gemeten BLN-indicatoren zijn de gemiddelde waarden en de ± 2 x standaard deviatie-intervallen bepaald (Tabel 12). De waarden in de tabel zijn alleen van de meetpunten genomen in akkerland en grasland. De ± 2 * s.d.-intervallen omvatten 95% van alle veldwaarnemingen en zijn daardoor een betrouwbare range waarbinnen praktisch gezien alle waarnemingen vallen. De gemiddelde waarden worden voor elk bodemtype/landgebruik-combinatie die eerder al zijn onderscheiden weergegeven, zoals ook in de staafdiagrammen van paragraaf 3.1 is gedaan.

De data in deze studie zijn in potentie geschikt om referentiewaarden voor verschillende bodemtypen en/of landgebruiksvormen uit af te leiden.

Tabel 14 Gemiddelde waarden van de gemeten BLN-indicatoren per bodemtype en landgebruik voor landgebruik grasland en akkerland. De dikgedrukte getallen zijn de gemiddelde waarden, de waarden in de bijbehorende -2 s.d. en +2 s.d. ($\pm 2 \times$ standaarddeviatie) kolommen is de range waarbinnen 95% van de waarnemingen valt. Gebruikte termen in de kolomkoppen: SOM: Soil Organic Matter (bodemorganische stof), TOC = Total Organic Carbon, PMN = Potential Mineralisable Nitrogen (labiele stikstof), PLFA totaal = biomassa bacteriën en schimmels. De indringingsweerstand zijn gegeven voor metingen die voldoen aan vochtcriterium I (-50 cm < h < -150 cm – zie Bijlage 9), opvalt dat in enkele bodemtype/landgebruik-combinaties geen enkele meting aan dat criterium voldoet. Voor de P-voorraad in Leemgronden zijn niet voldoende metingen beschikbaar voor een betrouwbaar gemiddelde.

Bodemtype	Land-gebruik	Organische stof						Fysische indicatoren														
		SOM (gloeiverlies) [%]			TOC (gloeiverlies) [T/ha]			Textuur [%]						Indringingsweerstand [Mpa]			Bulkdichtheid [kg/dm ³]					
		Gemiddeld	-2 s.d.	+2 s.d.	Gemiddeld	-2 s.d.	+2 s.d.	Lutum gemiddeld		Zand gemiddeld		Silt gemiddeld		Gemiddeld			Gemiddeld					
Kleigronden	Akkerland	3.25	2.79	3.70	22.82	19.90	25.74	19.92	17.30	22.53	35.62	31.04	40.21	35.40	31.27	39.54	1.09	0.61	1.56	1.29	1.15	1.43
	Grasland	7.05	6.05	8.04	40.25	34.58	45.92	28.17	24.34	31.99	29.10	23.44	34.77	31.93	27.57	36.29	2.66	1.73	3.58	1.11	0.96	1.27
Leemgronden	Akkerland	2.51	1.88	3.14	14.19	10.43	17.95	13.61	9.97	17.25	21.97	15.32	28.61	60.55	46.53	74.57	3.53	0.26	6.81	1.37	1.05	1.69
	Grasland	3.99	0.36	7.62	21.94	1.61	42.27	13.10	5.01	21.18	37.91	0.42	75.41	43.63	19.15	68.10	-	-	-	1.32	0.45	2.18
Moerige gronden	Akkerland	10.13	4.49	15.77	60.65	25.37	95.94	2.15	0.75	3.55	73.35	35.36	111.34	12.84	5.49	20.19	-	-	-	1.14	0.53	1.75
	Grasland	10.53	4.46	16.59	59.82	25.76	93.88	8.88	2.59	15.16	64.44	27.49	101.38	14.81	6.78	22.84	-	-	-	1.13	0.52	1.74
Veengronden	Akkerland	10.78	3.32	18.24	64.74	19.86	109.63	14.23	-2.34	30.81	56.85	14.99	98.72	16.02	4.54	27.50	3.83	2.63	5.02	1.09	0.36	1.83
	Grasland	22.58	18.34	26.82	132.02	107.24	156.79	25.80	20.77	30.84	30.86	23.40	38.31	17.50	14.30	20.69	4.17	1.89	6.45	0.76	0.62	0.90
Zandgronden met eerdlaag	Akkerland	3.57	2.06	5.08	18.50	10.83	26.18	2.49	1.30	3.67	79.93	48.88	110.98	14.00	8.37	19.63	5.13	0.29	9.96	1.42	0.87	1.97
	Grasland	4.39	2.95	5.82	23.01	15.07	30.96	2.84	1.81	3.87	78.37	55.04	101.70	14.36	9.58	19.14	2.52	1.86	3.17	1.39	0.98	1.81
Zand overig	Akkerland	4.41	3.53	5.29	24.60	19.68	29.52	2.31	1.74	2.88	80.25	66.10	94.41	12.42	9.98	14.86	-	-	-	1.39	1.14	1.64
	Grasland	4.73	3.84	5.63	26.47	21.41	31.53	3.09	2.14	4.03	79.74	65.50	93.98	11.73	9.52	13.95	-	-	-	1.38	1.14	1.63

Bodemtype	Land-gebruik	Chemische indicatoren										Biologische indicatoren							
		pH [-]			N totaal [mg/kg]			PMN [mg/kg]		P voorraad P-CaCl ₂ [mg/100g]		P voorraad P-Al[mg P ₂ O ₅ /100g]		PLFA totaal [µg/kg]					
		Gemiddeld	-2 s.d.	+2 s.d.	Gemiddeld	-2 s.d.	+2 s.d.	Gemiddeld	-2 s.d.	+2 s.d.	Gemiddeld	-2 s.d.	+2 s.d.	Gemiddeld	-2 s.d.	+2 s.d.			
Kleigronden	Akkerland	7.23	6.46	8.00	1700.12	1458.55	1941.69	50.33	43.04	57.61	2.29	1.44	3.15	55.37	37.83	72.91	349.96	291.15	408.76
	Grasland	6.57	5.70	7.44	3764.12	3239.64	4288.60	116.66	100.34	132.98	1.15	0.45	1.85	33.41	12.46	54.37	988.58	845.80	1131.36
Leemgronden	Akkerland	6.66	5.08	8.24	1254.73	932.11	1577.35	43.13	31.68	54.58	-	-	-	-	-	-	308.17	217.61	398.73
	Grasland	6.22	2.13	10.32	1922.55	262.52	3582.58	63.10	12.05	114.16	-	-	-	-	-	-	553.90	64.35	1043.44
Moerige gronden	Akkerland	5.34	2.56	8.11	2865.96	1324.37	4407.56	57.26	25.76	88.76	2.37	0.53	4.21	27.14	9.31	44.97	371.57	167.99	575.15
	Grasland	5.77	2.85	8.70	4502.35	1840.03	7164.68	113.05	49.92	176.19	0.91	0.23	1.59	20.25	6.74	33.75	823.42	344.28	1302.55
Veengronden	Akkerland	5.77	2.00	9.53	3767.17	1015.87	6518.47	94.14	24.66	163.62	4.71	-0.17	9.59	40.11	1.15	79.07	547.08	101.96	992.20
	Grasland	5.65	4.73	6.57	9560.59	7845.38	11275.81	214.99	178.07	251.92	1.10	0.47	1.74	20.46	10.11	30.80	1772.38	1457.28	2087.49
Zandgronden met eerdlaag	Akkerland	5.27	3.24	7.30	1389.21	812.56	1965.86	35.51	20.92	50.09	4.76	1.78	7.73	56.22	31.56	80.87	223.41	124.01	322.81
	Grasland	5.41	3.79	7.03	1707.45	1168.27	2246.63	56.83	37.82	75.84	2.56	1.32	3.79	47.28	29.18	65.38	390.41	257.42	523.41
Zand overig	Akkerland	5.65	4.66	6.64	1542.86	1244.52	1841.20	45.42	36.63	54.20	3.46	2.73	4.20	57.88	45.33	70.42	291.97	232.50	351.44
	Grasland	5.39	4.45	6.34	1817.93	1486.12	2149.75	66.25	54.12	78.39	1.92	1.30	2.53	37.78	28.01	47.55	491.23	396.74	585.72

3.3 Meetplan ontbrekende of minder valide indicatoren

Uitgangspunt voor het bepalen van een volledig beeld van de bodemkwaliteit is het meten van alle BLN-indicatoren. De BLN-lijst geeft een representatieve lijst van indicatoren voor het bepalen van de bodemkwaliteit voor verschillende doelen (zie ook paragraaf 2.1). Of het in de toekomst nodig is om voor een beperkt aantal doelen, of wellicht slechts één enkel doel, de volledige lijst BLN-indicatoren te meten, wordt hier verder niet bediscussieerd. In de inleiding is al opgemerkt dat de in dit rapport gebruikte meetgegevens afkomstig zijn uit het CC-NL-project (Van Tol-Leenders et al., 2019); het doel van dat project was primair om de koolstoftoestand van de Nederlandse landbouwbodems in kaart te brengen. Omdat het CC-NL-project niet voor ogen had om de bodemkwaliteit te meten, mist in de metingen een deel van de BLN-indicatoren (de geel gearceerde indicatoren in Tabel 13). In deze tabel zijn de wél gemeten indicatoren weergegeven met hun kwaliteitsbeoordeling. Metingen uit de CC-NL-dataset van indicatoren met minder dan drie bolletjes (●●●) voldoen niet aan een of meer van de drie volgende criteria:

- De monstername of veldmeting is niet volgens de normen uitgevoerd.
- De analyse is niet volgens een genormeerde methode in een geaccrediteerd laboratorium uitgevoerd.
- De veldomstandigheden waaronder monsternamen heeft plaatsgevonden, voldeden niet aan de eisen die aan de metacondities zijn gesteld (zie Tabel 7).

Een kwaliteitsscore van minder dan drie bolletjes kan reden zijn voor het opnieuw meten of bepalen van de betreffende indicator op een manier die wél voldoet aan de validiteitscriteria. Voor indicatoren die minder dan drie scoren op betrouwbaarheid (lichtblauw gearceerd) of voor indicatoren die in het geheel niet zijn gemeten in CC-NL, is in deze paragraaf per indicator een indicatief meetplan opgesteld. De meetmethode voor de indicatoren die voldoen aan de criteria en als 'valide' zijn beoordeeld (●●●), kan voor een eventuele volgende meting van de bodemkwaliteit in principe ongewijzigd worden overgenomen.

Tabel 15 Indicatoren voor de nulmeting bodemkwaliteit. De geel gekleurde indicatoren zijn niet gemeten, dus hiervoor is een nieuw meetplan nodig. De lichtblauw gekleurde indicatoren hebben bij de kwaliteitsscreening (paragraaf 2.5) niet drie bolletjes gekregen en de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid daarvan zijn niet optimaal; hiervoor kan worden besloten ze opnieuw te meten.

Klasse	Nr	Indicator	Gemeten	Kwaliteit van de CC-NL meting
Org. stof	1	Organische stofgehalte en koolstofgehalte	✓	● ● ●
	2	Stabiele fractie organische stof		
	3	Heet water extraheerbare koolstof (HWC)		
Fysisch	4	Watervasthoudend vermogen		
	5	Aggregaatstabiliteit		
	6	Textuur	✓	● ● ●
	7	Indringingsweerstand	✓	● ●
	8	Droge bulkdichtheid	✓	● ●
Chemisch	9	Zuurgraad (pH)	✓	● ●
	10	N-totaal	✓	● ● ●
	11	Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN)	✓	● ● ●
	12	Fosfaatstatus	✓	● ● ●
	13	Kalistatus		
Biologisch	14	Aaltjes diversiteit en aantallen (incl. plantparasitaire aaltjes)		
	15	Bacterie- en schimmelbiomassa	✓	● ●
	16	Regenwormen aantallen en diversiteit		
Algemeen	17	Visuele beoordeling (fysisch-chemisch-biologisch)		

3.3.1 Meetplan organische-stofindicatoren

Tabel 16 Overzicht van de organische-stofindicatoren. De geel gemarkeerde indicatoren zijn niet gemeten.

Klasse	Nr	Indicator	Klassieke meetmethode	Alternatieve meetmethode	Gemeten (1)	Kwaliteit van de CC-NL meting
Org. stof	1	Organische stofgehalte en koolstofgehalte	Gloeiverlies of Dumas	NIRS	✓	● ● ●
	2	Stabiele fractie organische stof	Oxidatie in permanganaat (POXC)	-		
	3	Heet water extraheerbare koolstof (HWC)	Extractie in heet water	-		

2. Stabiele fractie organische stof

De hoeveelheid, maar meer nog de aard van de organische stof is van belang voor de opbouw van de C-voorraad in de bodem. Juist omdat veranderingen in de totale C-voorraad in de bodem vaak klein zijn of alleen op lange termijn meetbaar, zijn metingen van bepaalde fracties (o.a. 'labiel' koolstof) nuttig, omdat dergelijke fracties sneller een signaal geven van de kwalitatieve veranderingen in de organischestofvoorraad, bijvoorbeeld in geval van gebruik van organische bodemverbeteraars of minder intensief landgebruik (Bongiorno et al., 2018). Om de kwaliteit van organische stof te kunnen duiden, zijn sinds langere tijd verschillende methoden ontwikkeld, zowel fysisch-chemisch (grootte en gewicht separatie) als chemisch, waarbij deze laatste verschillen in de mate van extractiesterkte.

Fysisch-chemische scheidingsmethoden om organische stof op grootte en gewicht in te delen, zijn reeds lang onderzocht (Hassink, 1994). Daarbij is een relatie aangetoond tussen de mate van fysisch-chemische interactie met minerale delen (de zwaardere, kleinere en daarmee stabielere fracties) en de mate waarin dit beschikbaar is voor mineralisatie. Ook is er een verband tussen de stabiliteit, uitgedrukt in ouderdom van verschillende fracties zoals bepaald met C14-datering, en de fractiegrootte en gewicht (Römken et al., 1999). Oudere koolstoffracties zijn daarbij veelal gerelateerd aan mineraal gebonden koolstof in kleidelen, terwijl de jongere fractie vooral bestaat uit nog niet omgezet, 'onbeschermde' organisch materiaal. Recentere methoden maken meer gebruik van chemische extracties zoals onder meer de extractie met permanganaat; de fractie die daarbij geëxtraheerd wordt, duiden we aan met POXC (permanganate oxidizable carbon). Deze fractie bevat relatief jong (t.o.v. stabiele humusfracties) organisch materiaal, in leeftijd variërend van 2 tot 5 jaar (USDA, 2014). Recent werk van Jensen et al. (2019) toont ook aan dat er een relatie bestaat tussen de structuurstabiliteit en de hoeveelheid aan organische stof gemeten als POXC. POXC is normaal slechts een (klein) deel van de totale koolstofvoorraad; een studie van Lucas en Weil (2012) toont dat in een serie monsters met TOC-gehalten tussen 0.5 en 4% (ruwweg een organischestofgehalte tussen 1 en 10%), ongeveer 3% van TOC als POXC gemeten wordt. In andere studies (Haynes et al., 2005) worden veel hogere waarden voor POXC t.o.v. TOC gerapporteerd (tot 30%), wat ook al aangeeft dat het aandeel POXC sterk kan variëren tussen bodemtypen en bodemgebruik. Voor deze methode bestaan voor Nederland nog weinig gegevens die een beeld geven van normale ranges. De POXC-fractie maakt weliswaar deel uit van de BLN-methodiek, maar ook daar is nog geen invulling gegeven aan de te verwachten variatie in gehalten in de bodem. Dat maakt dat een landelijke bepaling van POXC weliswaar nuttig kan zijn voor de beeldvorming, maar nog weinig toepasbaar is voor de beoordeling van de bodemkwaliteit als zodanig.

3. Heet water extraheerbare koolstof (HWC)

Net als voor POXC geldt dat de heet water extraheerbare fractie van koolstof (HWC, Ghani et al., 2003) een maat is voor de labiele fractie van organische stof in de bodem. Daarbij is HWC meer nog dan POXC gecorreleerd aan de microbiële biomassa en tevens aan de stabiliteit van de aggregaten (Zanen et al., 2008). Een analyse van zowel HWC als POXC in dezelfde monsters laat overigens zien dat beide methoden vergelijkbare hoeveelheden C extraheren (Bongiorno et al., 2019), met een significante correlatiecoëfficiënt van 0.6 tussen beide parameters (n=167). Een hoger gehalte aan

HWC wordt in het algemeen geassocieerd met een hogere microbiële biomassa, die bijvoorbeeld kan ontstaan in minder intensief bewerkte bodems of bodems die behandeld zijn met (organische) bodemverbeteraars. Zo toont werk van Bloem et al. (2017) aan dat in geval van niet-kerende grondbewerking de hoeveelheid HWC na twee jaar al verdubbelt ten opzichte van die in een normaal beheerd perceel. De toename van HWC reflecteert daarmee (waarschijnlijk) de toename van met name bacteriële en schimmelbiomassa. Ook werk in een drietal stadsbodems (onbehandeld en behandeld met respectievelijk houtsnippers of bladcompost) laat duidelijk zien dat HWC sterk (en op korte termijn) reageert op het gebruik van dergelijke bodemverbeteraars (Liu, L.J. 2015).

De studie van Bongiorno et al. (2019) laat zien dat HWC, net als POXC, correleert met een aantal biologische indicatoren als microbiële N en C, en bodemrespiratie, maar niet met hogere soorten als regenwormen. Ook werd een (negatieve) correlatie vastgesteld tussen zowel HWC als POXC en de afbraak van organische stof, wat bevestigt dat de grotere hoeveelheid HWC en POXC voorkomt in bodems met een lagere mineralisatie, ofwel een hogere opbouw van bodemkoolstof. Net als voor POXC bestaan er op dit moment echter (nog) geen landelijke monitoringsdata die een beeld geven van de variatie in HWC-gehalten. Bongiorno et al. (2019) concluderen feitelijk dat gezien de overlap tussen HWC en POXC, een van beide (met een voorkeur voor POXC) voldoende is om de labiele fractie van bodemkoolstof te karakteriseren.

3.3.2 Meetplan fysische indicatoren

Tabel 17 Overzicht van de fysische indicatoren. De geel gemarkeerde indicatoren zijn niet gemeten, de blauw gemerkte indicatoren hebben een mindere validiteit.

Klasse	Nr	Indicator	Klasseke meetmethode	Alternatieve meetmethode	Gemeten (1)	Kwaliteit van de CC-NL meting
Fysisch	4	Watervasthoudend vermogen	Zandbak/drukpan	o.b.v. textuur + OS		
	5	Aggregaatstabiliteit	Natte zeefmethode	-		
	6	Textuur	Pipetmethode	NIRS	✓	● ● ●
	7	Indringingsweerstand	Penetrometer	-	✓	● ●
	8	Droge bulkdichtheid	Massa na drogen 105° C	Berekend uit OS%	✓	● ●

4. Watervasthoudend vermogen

Het watervasthoudend vermogen van een bodem (ook wel *Available Water Content* - AWC) is de hoeveelheid water die een profiel kan vasthouden bij twee gedefinieerde waarden van de vochtspanning. Voor het meten van watervasthoudend vermogen worden 100cc-monsters uit het veld gebruikt, waarbij de twee benodigde meetpunten op de pF-curve (bij veldcapaciteit, h=-100 cm) en verwelkingspunt (h=-16000 cm) in het laboratorium worden bepaald met behulp van de zandbakmethode en de drukpan (beide volgens NEN/ISO 11274:2019).

Bij de veldbemonstering worden dezelfde 1152 locaties gebruikt als in het CC-NL-project. Per locatie worden normaliter per diepte 15 cm (vertegenwoordigt de laag tussen 0-30 cm) en 65 cm (vertegenwoordigt de laag tussen 30-100 cm) duplomonsters genomen. Wat betreft de metacondities bodemvocht en -temperatuur wordt aangenomen dat deze niet of nauwelijks invloed hebben op het watervasthoudend vermogen van een bodem.

Tabel 18 *Metacondities voor watervasthoudend vermogen.*

Omgevingsfactor	Op welke wijze kan worden voorkomen dat deze factor invloed heeft op de meetresultaten?
Bodemtype en textuur	Kan niet worden voorkomen; metingen per bodemtype uitvoeren en ook textuur meten als variabele.
Ruimtelijke variatie	Een dusdanige sampling en analysestrategie gebruiken dat deze variatie wordt verantwoord in de resultaten.
Bodemvochtgehalte	Bij deze bepaling niet van belang.
Bodemtemperatuur	Bij deze bepaling niet van belang.

5. Aggregaatstabiliteit

Aggregaatstabiliteit combineert een aantal bodemfysische, chemische en biologische eigenschappen. De vorming van aggregaten grond (of zogenaamde secundaire bodemdeeltjes of 'peds') treedt op als gevolg van interacties van primaire bodemdeeltjes (bijvoorbeeld klei) door biologische omzettingsprocessen, flocculatie en cementeren ten gevolge van voornamelijk biologische activiteit. Aggregaatstabiliteit heeft een directe impact op de bodemporiëngrootteverdeling, wat weer gevolgen heeft voor aeratie en waterdoorlatendheid van de bodem, belangrijk voor wortelgroei en bodembioïologie.

Voor het meten van aggregaatstabiliteit worden bodemmonsters uit het veld gebruikt; dit mogen klonten bodem ter grootte van 300-500 cc zijn. Aan de hand van de natte zeefmethode wordt de aggregaatstabiliteit bepaald (NEN-EN-ISO 10930:2013).

Bij de veldbemonstering worden dezelfde locaties gebruikt als in het CC-NL project. Per locatie worden doorgaans monsters genomen op diepten van 15 cm (vertegenwoordigt de laag tussen 0-30 cm) en 65 cm (vertegenwoordigt de laag tussen 30-100 cm), analoog aan de methode gebruikt in het CC-NL-project (zie ook Van Tol-Leenders et al., 2018). Voor een eventuele toekomstige monitoring (waarbij een vergelijkbare steekproef moet worden gedaan als beschreven in Van Tol-Leenders et al., 2018) moet nog kritisch worden bekeken of deze methode is toe te passen.

Tabel 19 *Metacondities voor aggregaatstabiliteit.*

Omgevingsfactor	Op welke wijze kan worden voorkomen dat deze factor invloed heeft op de meetresultaten?
Bodemtype en textuur	Kan niet worden voorkomen; metingen per bodemtype uitvoeren en ook textuur meten als variabele.
Ruimtelijke variatie	Een dusdanige sampling en analysestrategie gebruiken dat deze variatie wordt verantwoord in de resultaten.
Bodemvochtgehalte	Bij deze bepaling niet van belang.
Bodemtemperatuur	Bij deze bepaling niet van belang.

7. Indringingsweerstand

Voor het meten van de indringingsweerstand wordt de digitale penetrologger van de firma Eijkelkamp gebruikt. Deze is voor het meten van de indringingsweerstand in het CC-NL ook gebruikt, echter het bodemvochtgehalte was in veel gevallen buiten de drukhoogtebandbreedte zoals in Bijlage 9 is gedefinieerd, zodat de meetwaarde niet voor alle metingen betrouwbaar is (de metingen zijn gedaan aan het eind van een lange droogteperiode in de zomer van 2018). Als voorwaarde voor een valide meting geldt dat de waterpotentiaal van de bodem moet liggen rond een waarde van pF2 (h=-100 cm). Een initiële betrouwbaarheidsanalyse voor de metingen van de indringingsweerstand zoals die zijn uitgevoerd in CC-NL kan worden gevonden in Bijlage 9. Een definitieve drukhoogtebandbreedte, en de daarbij behorende vochtgehalte bandbreedte per bodemtype, moet nog worden bepaald voor toekomstige metingen.

De meetmethode voor het meten van een indringingsweerstandprofiel kan gebeuren op de locaties en methode beschreven in het rapport van het CC-NL-project (Van Tol-Leenders et al., 2019), Bijlage 1. Het meten van de indringingsweerstand m.b.v. de penetrologger gebeurt volgens NEN-EN-ISO 22476-1:2012/C1:2013. Tevens dient aan de metacondities te zijn voldaan volgens onderstaande tabel.

Tabel 20 Metacondities voor indringingsweerstand.

Omgevingsfactor	Op welke wijze kan worden voorkomen dat deze factor invloed heeft op de meetresultaten?
Bodemtype en textuur	Kunnen niet worden beïnvloed; dit is een gegeven. Metingen per bodemtype uitvoeren en ook textuur meten als variabele.
Ruimtelijke variatie	Een dusdanige sampling en analysestrategie gebruiken dat deze variatie wordt verantwoord in de resultaten.
Bodemvochtgehalte	Bij deze bepaling van belang. Het gewenste bodemvochtgehalte is per bodemtype verschillend, maar de bijbehorende waterpotentiaal moet liggen op pF2 (h = -100cm), een passende bandbreedte hieromheen moet nog worden bepaald.
Bodemtemperatuur	Bij deze bepaling niet van belang.

8. Droge bulkdichtheid

De droge bulkdichtheid is in CC-NL bepaald door met de guts volumemonsters te nemen en hiervan in het laboratorium de dichtheid te bepalen. In recent onderzoek is de gutsmethode vergeleken met de 100cc ring-methode voor het bepalen van de droge bulkdichtheid. Hieruit is naar voren gekomen dat de gutsmethode structureel een lagere droge bulkdichtheid oplevert dan de 100cc ring-methode. Wat de consequenties hiervoor zijn voor de gutsmethode en/of de 100cc ring-methode, moet nog worden uitgezocht. Dit heeft namelijk invloed op de te gebruiken methode en op het feit of de bepaling moet worden overgedaan.

In het CC-NL-rapport (Van Tol-Leenders et al., 2019) wordt de volgende aanbeveling geformuleerd:

"De resultaten laten een grote variatie in gemeten dichtheid zien. Het is aan te bevelen om terug te keren naar een selectie van veldlocaties om daar opnieuw de dichtheid vast te stellen. Als alternatief voor de gravimetrische methode om de dichtheid van de bodem te bepalen, is een methode ontwikkeld die gebaseerd is op een actieve gammastraling veldmeting (RhoC), in combinatie met een bodemvochtmeting (Jacobs et al., 2009; Jacobs, 2011). In 2018 zijn, in opdracht van het ministerie van LNV, een RhoC en vochtsensor aangeschaft voor veldmetingen. Het is aan te bevelen om de toepasbaarheid van deze nieuwe dichtheidssensor bij de bepaling van dichtheden te onderzoeken."

3.3.3 Meetplan chemische indicatoren

Tabel 21 Overzicht van de chemische indicatoren. De geel gemarkeerde indicatoren zijn niet gemeten, de blauw gemerkte indicatoren hebben een mindere validiteit.

Klasse	Nr Indicator	Klassieke meetmethode	Alternatieve meetmethode	Gemeten (1)	Kwaliteit van de CC-NL meting	
Chemisch	9	Zuurgraad (pH)	Extractie in CaCl ₂	-	✓	● ●
	10	N-totaal	Kjeldahl	NIRS	✓	● ● ●
	11	Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN)	Anaerobe incubatie	NIRS	✓	● ● ●
	12	Fosfaatstatus	Extractie in ammoniumlactaat-azijnzuur, CaCl ₂ resp. water	-	✓	● ● ●
	13	Kalistatus	Extractie in HCl en oxaalzuur	NIRS + Extractie in CaCl ₂	✓	● ● ●

9. Zuurgraad (pH)

De zuurgraad van de bodem (pH) bepaalt in hoge mate de beschikbaarheid van (micro)nutriënten en is van belang voor een goede gewasgroei. De pH is ook van belang voor de *effectieve Cation Exchange Capacity* (CEC), daarmee voor binding van K, Mg en Ca, en is zo een indicator voor *attainable yield*. Voor de meeste gewassen is daarom een optimaal pH-traject bekend waarbinnen een gewas geen beperking in de groei als gevolg van de heersende pH kent. Deze range ligt veelal tussen 5 en 6.5. Bij lagere pH-waarden neemt onder andere de toxiciteit van aluminium in de bodem toe, wat voor gevoelige gewassen leidt tot schade aan wortels. Bovendien kunnen planten bij pH-waarden lager dan 5 minder makkelijk nutriënten als calcium en magnesium opnemen door concurrentie met H⁺- en Al³⁺-ionen. Bovendien wordt de CEC minder effectief, dus ook de absolute waarde van pH is lager. Bij hoge pH-waarden (> 7) daarentegen is de beschikbaarheid van micronutriënten als koper, mangaan en zink veelal laag wat tot gebrek aan deze nutriënten kan leiden.

Momenteel wordt de pH klassiek veelal in een 0.01 M CaCl₂-oplossing bepaald, omdat deze representatief geacht wordt voor de bodemoplossing. De bepaling van de pH is in het CC-NL-project gedaan met behulp van de NIRS-methode. Deze bepaling voldoet qua bemonstering en veldomstandigheden aan de normen, maar de NIRS-methode is (nog) niet geaccrediteerd, krijgt daarom het predicaat 'minder valide' en dus ●●. Echter aan accreditatie van de NIRS-methode voor de bepaling van pH wordt momenteel wel gewerkt. Wil men in de toekomst op een snelle en goedkope manier de pH bepalen, dan kan men, als de methode is geaccrediteerd, van de NIRS-methode gebruikmaken. Is deze methode nog niet geaccrediteerd, dan kan de klassieke CaCl₂-extractie worden gebruikt.

13. Kalistatus

De kalistatus van een grond wordt bepaald na extractie van een monster (1:10 g:v op massabasis) met een mengsel van 0.1 M HCl en 0.4 M oxaalzuur. De hoeveelheid K die daarbij vrijkomt uit de grond wordt gemeten met vlamfotometrie of vergelijkbare methoden. De hoeveelheid K aldus vrijgemaakt, wordt uitgedrukt in mg K₂O/100 gram grond. Deze hoeveelheid vormt de basis voor het bemestingsadvies dat uitgedrukt kan worden in een bodemgericht advies met als doel het handhaven van de kalistatus van de bodem of een gewasgericht advies, dat gebaseerd is op het behalen van een economisch optimale opbrengst. Beide adviezen zijn bodem- en gewasafhankelijk. Vooral in kleigronden en in mindere mate lössgronden – en in geval van kalibehoeftige gewassen zoals aardappelen – kan de kalistatus van invloed zijn op de opbrengst. Met behulp van streefgetallen (afgeleid uit gewasproeven) kan de kaligift berekend worden als functie van gewas(groep) en bodem. De achtergrond van de kalistatus dateert reeds uit de jaren vijftig van de vorige eeuw, maar is op dit moment nog steeds leidend bij het bepalen van de kalistatus en of kaligift. Analoog aan fosfaat leeft nu de gedachte dat ook voor kali onderscheid gemaakt kan worden tussen de bodemvoorraad

(enigszins vergelijkbaar met de huidige extractie of met de K-CEC zoals bepaald met NIRS) en de plant beschikbare hoeveelheid (PAE, *plant available extraction*) zoals gemeten met onder andere 0.01 M CaCl₂. Idealiter levert dit per grond-gewascombinatie dan een streefwaarde of -traject op, waarbij zowel de voorraad als de plant beschikbare hoeveelheid een rol speelt. Het gebruik van K-CEC (NIRS) naast onder andere Ca-CEC en Mg-CEC is op dit moment vooral gekoppeld aan de adviestrajecten voor de pH, omdat deze (pH) in hoge mate sturend is voor de bezetting van het adsorptiecomplex van de bodem (vastlegging aan klei en organische stof). Daarbij neemt bij lage pH-waarden de bezetting met Ca, K en Mg af ten koste van H en Al.

Voor grasland is aangetoond dat met name de combinatie van K-PAE en CEC een goede basis vormt voor het gewasgericht advies, met name voor de opbrengst van de eerste snede (Bussink et al., 2014). Het onderzoek aan grasland toont aan dat er ook sprake is van een sterke interactie tussen N en K waarbij de N-bemesting (mede) sturend is voor de K-behoefte van het gewas. Op dit moment ontbreekt de onderbouwing voor akkerbouwgewassen nog.

Een meting van K-PAE in hetzelfde extract als waarin ook andere plant beschikbare elementen (o.a. P, Cu, Zn en Mn) bepaald worden in combinatie met een NIRS-meting reduceert uiteraard het aantal uit te voeren extracties.

3.3.4 Meetplan biologische indicatoren

Tabel 22 Overzicht van de biologische indicatoren. De geel gemarkeerde indicatoren zijn niet gemeten, de blauw gemerkte indicator heeft een mindere validiteit.

Klasse	Nr	Indicator	Klassieke meetmethode	Alternatieve meetmethode	Gemeten (1)	Kwaliteit van de CC-NL meting
Biologisch	14	Aaltjes diversiteit en aantallen (incl. plantparasitaire aaltjes)	Microscopie	PCR		
	15	Bacterie- en schimmelbiomassa	PLFA	NIRS	✓	● ●
	16	Regenwormen aantallen en diversiteit	Visueel	-		

Een goede nulmeting bodemkwaliteit kan niet zonder goede data met betrekking tot biologische indicatoren. In dit geval gaat het om de in de BLN gekozen indicatoren: 14. (Aaltjes diversiteit en aantallen), 15. (bacterie- en schimmelbiomassa) en 16. (Regenwormen aantallen en diversiteit).

Voor zowel Aaltjes, bacterie- en schimmelbiomassa en regenwormen bestaan goede, betrouwbare protocollen, laboratoria en meestal voldoende oude databases (zoals BOBI, Rutgers et al., 2014) om de nieuwe data te vergelijken met oude. Voor PLFA bestaan er echter nog niet heel veel klassieke data en de NIRS-methode van Eurofins is nog niet voor certificering aangeboden aan RvA of NEN. De betrouwbaarheid is dus nog niet geverifieerd. Hier is het beste om beide technieken opnieuw uit te voeren met behulp van klassieke meetmethoden. Voor een goede nulmeting bodemkwaliteit is analyse van de bestaande monsters komend uit het CC-NL-project voor de genoemde biologische indicatoren geen optie, omdat de bodemfauna opslag niet zal hebben overleefd, en dus zullen deze opnieuw bemonsterd moeten gaan worden in een nieuwe ronde. Wanneer hiervoor onvoldoende budget is, is de enige optie om interessante locaties te selecteren (bijvoorbeeld in bodemtype/landgebruiksklassen met extreme verschillen in bepaalde bodemkarakteristieken) en daar de biologische indicatoren te meten. Idealiter moeten hier ook enkele chemische en/of fysische indicatoren opnieuw gemeten worden.

14 Aaltjes diversiteit en aantallen (aantal/100 g grond, aantal taxa, biomassa, voedselgroepen etc.)

Aaltjes of nematoden zijn belangrijke grazers van bacteriën, schimmels en plantenwortels en dragen bij aan de mineralisatie. Daarnaast zijn er ook predatoren (roofaaltjes) die protozoën en andere nematoden belagen. In elke bodem zitten al gauw 40-100 verschillende soorten, met naast de

beruchte plant-parasitaire aaltjes ook heel veel niet-plant-parasitaire aaltjes. Doordat ze zo talrijk, divers en belangrijk zijn, worden ze al lang gebruikt als indicator, en verschillende indices geven een indicatie over de vruchtbaarheid en mate van verstoring in de bodem. De aanwezigheid van plant-parasitaire aaltjes beïnvloedt direct de teelt van een gewas. Doordat de meeste soorten verscheidene jaren in de bodem kunnen overleven in de afwezigheid van een waardplant, is vruchtwisseling van groot belang, waarbij men rekening moet houden met de soort groenbemester. Aangezien de waardplantenreeks van de diverse soorten parasitaire nematoden varieert, kan pas actie ondernomen worden als de teler weet welke soorten in een perceel voorkomen. Raadpleeg hierbij o.a. aaltjeschema.nl. De hoeveelheid niet-plant-parasitaire aaltjes kan heel veel informatie bevatten. Het aantal soorten, de dichtheden, de verschillende voedselgroepen en veel verschillende indices (bv. de *maturity index*) helpen bij de interpretatie. Zo zijn er al verschillende (cor)relaties bekend met andere bodemkwaliteitsindicatoren. Landbouwkundig advies op basis van niet-pathogene aaltjes bestaat echter nog niet. Als bepaalde waarden extreem zijn (bv. van de *maturity index*), geeft dit een indicatie dat er veel mechanische verstoring heeft plaatsgevonden.

16 Regenwormen aantallen en diversiteit (aantal/m²)

Regenwormen kunnen in de bodem soms net zulke hoge biomassa's bereiken als schimmels en bacteriën. Wormen brengen organisch materiaal in de bodem, mengen de grond, bevorderen de microbiële activiteit en verbeteren de bodemstructuur (kruimels) en waterinfiltratie (verticale gangen). In blijvend grasland komen hoge aantallen voor, maar in geploegde akkers veel minder. In kleigronden met laag beschikbaar Ca kunnen te hoge aantallen wormen voorkomen die leiden tot ongewenste plakkaatvorming van de klei; dit houdt mogelijk verband met een mindere rijping van de kleigronden (in polders). Aangenomen wordt dat 100 wormen per m² goed is voor agrarisch gebruik.

3.3.5 Meetplan Algemene indicatoren

Tabel 23 Overzicht van de algemene indicator. De geel gemarkeerde indicator is niet gemeten.

Klasse	Nr	Indicator	Klassieke meetmethode	Alternatieve meetmethode	Gemeten (1)	Bemonstering (2)	Analyse (3)	Omstandigheden (4)	Kwaliteit van de CC-NL meting
Alg	17	Visuele beoordeling (fysisch-chemisch-biologisch)	Visueel	-					

In de BLN wordt de laatste indicator, Visuele beoordeling (fysisch-chemisch, biologisch), verder beschreven met: aggregaten, horizonten, reductievlekken, bewortelingsdiepte en -patroon. Visuele beoordeling van de bodem kan belangrijk zijn voor een snelle, globale beoordeling van de bodemkwaliteit (Van Leeuwen et al., 2018).

De bemonstering in het kader van CC-NL is door Eurofins uitgevoerd in de periode oktober-december 2018. De bemonsteraars hebben op elke locatie een checklist ingevuld over o.a. landgebruik en andere zichtbare kenmerken van bodem en bodemgebruik. Daarnaast was er de mogelijkheid om overige informatie te noteren. De bemonsteraars hadden geen bodemkundige opleiding en hebben dus geen horizonten kunnen onderscheiden. Om naderhand de profielopbouw te kunnen bekijken, hebben de bemonsteraars een foto genomen zoals beschreven in het bemonsteringsprotocol (Bijlage 1, Van Tol-Leenders et al., 2019). Bij de analyse van de data zijn foto's en aanvullende informatie behulpzaam geweest om resultaten van andere bodemkwaliteitsindicatoren te verklaren. Denk aan een opmerking als 'de grond was keihard'.

De korte periode waarin de CC-NL-bemonstering moest worden uitgevoerd, heeft ervoor gezorgd dat een bodemkundige visuele beoordeling niet heeft plaatsgevonden. Voor toekomstige monitoring wordt aanbevolen om deze wel zo veel mogelijk mee te nemen. Mocht dat niet voor alle meetpunten mogelijk zijn, kan overwogen worden om een selectie van veldlocaties te bezoeken en bodemkundig te beschrijven.

4 Discussie

De resultaten die in het vorige hoofdstuk zijn gepresenteerd tonen, op basis van de in 2018 gemeten dataset CC-NL, op meer dan 1000 locaties over heel Nederland de staat van de Nederlandse landbouwbodems in 2018. De resultaten zijn weergegeven in kaarten voor een ruimtelijk beeld, grafieken (per domein) en gemiddelden die een goed beeld geven van de huidige gemeten bodemindicatoren.

Door gebruik te maken van beschikbare data en methodieken uit het CC-NL-project (Van Tol-Leenders et al., 2019) en de BLN-indicatoren versie 1.0 (Hanegraaf et al., 2019), zijn de hier gepresenteerde resultaten tot stand gekomen en vormen een beginpunt voor een meerjarige monitoring van de bodemkwaliteit. De meetgegevens en gebruikte methodieken zijn geanalyseerd waardoor discussiepunten naar boven kwamen. Deze analyse resulteert in enkele aandachtspunten die moeten zorgen voor verbetering van de gebruikte methodieken voor de toekomst. Deze aandachtspunten zullen in de laatste paragraaf worden besproken.

4.1 Kwaliteit van meet- en bepalingmethoden

Voor de meet- en bepalingmethoden die van onvoldoende kwaliteit zijn en voor indicatoren die in het geheel niet zijn gemeten, is per indicator een indicatief meetplan opgesteld (paragraaf 3.3). In de meetplannen wordt voor enkele indicatoren beschreven dat nog kritisch moet worden bekeken of de methode toe te passen is. Voor een aantal indicatoren is de toegepaste methode van onvoldoende kwaliteit of zijn de kosten relatief hoog en/of zijn de bepalingmethoden tijdrovend. Over deze aspecten wordt in de volgende subparagrafen gediscussieerd.

4.1.1 Veldomstandigheden waarbij wordt gemeten of bemonsterd

Wat voor veel indicatoren geldt, is dat de waarde van de meting of bepaling wordt beïnvloed door de condities waaronder in het veld wordt gemeten of bemonsterd, de zogenaamde 'metacondities'. In Bijlage 8 (Indicatoren en de invloed van metacondities) wordt de gevoeligheid van de in dit rapport genoemde indicatoren voor de variabelen 'bodemtype', 'temperatuur' en 'vochtgehalte' besproken. Het is voor de herhaalbaar- en nauwkeurigheid van metingen en bepalingen van bodemindicatoren van het grootste belang dat afwijkingen ten gevolge van deze drie omgevingsvariabelen zo veel mogelijk worden uitgesloten. Dit om ervoor te zorgen dat bij *monitoring* van bodemkwaliteit de *werkelijke* verandering van de indicatorwaarden wordt gezien, en niet de verandering van deze indicatorwaarde ten gevolge van bijvoorbeeld een ander bodemvochtgehalte op het moment van meten. Om afwijkingen ten gevolge van metacondities te voorkomen, dient zo veel mogelijk onder gelijke veldomstandigheden te worden gemeten en bemonsterd; dit geldt met name voor de indicatoren die gevoelig zijn voor deze metacondities (zie ook Bijlage 8).

Metten en bemonsteren in steeds hetzelfde seizoen is aan te bevelen (bij voorkeur in het voorjaar). Om zo veel mogelijk grip te krijgen op de invloed van metacondities is een gevoeligheidsanalyse van de gebruikte BLN-indicatoren van belang. Sommige indicatoren (bijvoorbeeld textuur en de meeste chemische indicatoren) zijn niet rechtstreeks gevoelig voor metacondities en kunnen in principe het gehele jaar door worden gemeten, echter zal voor sommige chemische indicatoren wel een natuurlijke, seizoensgebonden variatie aanwezig zijn die meting op een vast tijdstip in het groeiseizoen rechtvaardigt. Bij het opstellen van een meetplan voor het meten of monitoren van de bodemkwaliteit is rekening houden met metacondities van het grootste belang.

4.1.2 Fysische indicatoren

Het is gewenst dat de performance van fysische meet- en bepalingsmethoden voor toekomstig gebruik in bodemkwaliteitsmonitoring wordt verbeterd door met name de snelheid van de bepalingen te verbeteren en de kostprijs ervan te verlagen. Veel fysische indicatoren dienen met een klassieke, vaak arbeidsintensieve methode in het veld en een klassieke methode in het laboratorium te worden bepaald. Innovaties op het gebied van sensoren in het veld en NIRS-analyses in het laboratorium kunnen, aanvullend op de klassieke methodiek, bijdragen aan inzicht in de status van deze indicatoren op landelijk niveau. Dit laatste geldt met name voor de bepaling van de indicatoren 'watervasthoudend vermogen' en 'aggregaatstabiliteit'.

Uit andere studies blijkt dat bepaling van de dichtheid in het veld met behulp van de gutsmethode – een snelle en daardoor goedkope methode – systematisch lagere dichtheden oplevert dan andere gangbare methoden. Als de gutsmethode gebruikt blijft worden, moet worden uitgezocht waar deze afwijking vandaan komt en moet de methode wellicht worden aangepast.

In het CC-NL-project zijn de metingen van de indringingsweerstand voor een groot deel onbetrouwbaar gebleken, omdat deze onder te droge omstandigheden zijn uitgevoerd; voor het bepalen van de indringingsweerstand met behulp van de Eijkelkamp-petrologger dient aan een bepaalde vochttoestand in de bodem te worden voldaan. Een werkzame bandbreedte rond deze enkele waarde van $h = -100\text{cm}$ op basis van experimenten en wetenschappelijke analyse dient te worden bepaald om de methode werkzaam en toch wetenschappelijk verantwoord te maken.

4.1.3 Betrouwbaarheid van de Near Infrared Spectrometry (NIRS) methode

Near infrared spectroscopy (NIRS) voor vaste materialen is ontwikkeld in de jaren zestig van de vorige eeuw. Via lichtreflectie wordt een kengetal vastgesteld. NIRS wordt in Nederland al sinds 1986 gebruikt voor de analyse van gewas (mais- en graskuilen). NIRS voor grond is relatief nieuw. Eurofins Agro startte in 2004 met het aanbieden van NIRS-kengetallen in de landbouwpraktijk. Met NIRS werd het mogelijk routinematige bodemkengetallen te rapporteren die voorheen om soms langdurige, handmatige bewerkingen in een laboratorium vroegen (bijv. textuur via pipetmethode of CEC via Co-hexamine), vaak ook met extractiemethoden die voor mens en natuur onvriendelijk zijn (P-totaal-bepaling). NIRS is een niet-destructieve, indirecte meting waarbij het gemeten reflectogram wordt gecorreleerd aan metingen van de gewenste indicator (klassieke bepalingen).

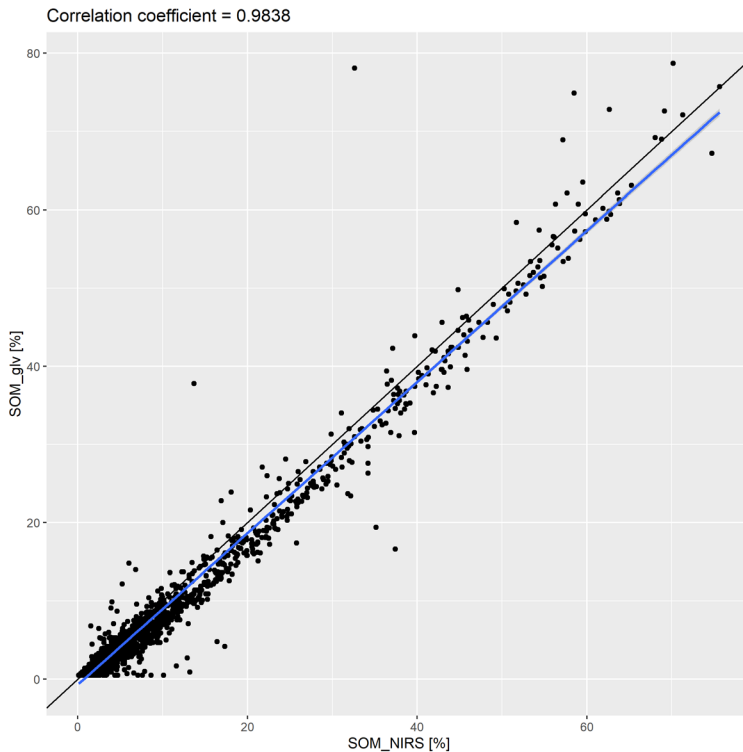
Voor grond zijn grote hoeveelheden klassieke bepalingen nodig om NIRS te kalibreren. Wanneer de kalibratie heeft plaatsgevonden, zal het mogelijk zijn snel bodemkengetallen te meten, waarbij de resultaten continu worden gemonitord. De NIRS-bepalingen die in dit rapport beschreven zijn, zijn gekalibreerd op gedroogde (40°C), gemalen en gezeefde (2 mm) grond. De NIRS-metingen vinden plaats onder geconditioneerde omstandigheden (o.a. vaste temperatuur meetruimte). Met name het drogen van de grond is van essentieel belang. Hoewel er veel initiatieven zijn om in niet-gedroogde grond te meten, is het vochtgehalte sterk bepalend voor de kwaliteit van de NIRS-metingen. NIRS-resultaten van in-situmetingen kunnen daarom geenszins worden vergeleken met de onder geconditioneerde omstandigheden gemeten resultaten uit dit rapport.

De kwaliteit van de NIRS-kengetallen verbetert continu, maar is sterk verschillend tussen de verschillende kengetallen. N-totaal, S-totaal, TOC, SOM, SOC, klei en CEC hebben alle een $r^2 > 0.95$ en $\text{RPD}^2 > 4.50$. P-totaal, K-CEC, CaCO_3 $r^2 > 0.85$ en RPD -waarden > 2.75 . De dataset van CC-NL bevat voor een beperkt aantal indicatoren zowel NIRS-metingen als klassieke metingen. Deze metingen zijn verricht aan hetzelfde bodemmonster en kunnen derhalve worden gezien als validatie (Reijneveld et al., in prep.).

¹ R^2 : *coefficient of determination*: drukt het percentage van de variatie uit in een afhankelijke variabele, die wordt bepaald door variatie in onafhankelijke variabelen.

² RPD : *Ratio of Performance to Deviation*: ratio van de standaardfout in een voorspelling en de standaarddeviatie van de monsters.

Zoals in paragraaf 3.3.4 staat beschreven, bestaan er voor de biologische indicator PLFA nog niet veel klassieke data waarmee de NIRS-bepalingen moeten worden gekalibreerd. Zoals uit de resultaten blijkt, kan de betrouwbaarheid van de met NIRS gemeten biologische indicator PLFA op alle CC-NL-metingen op dit moment daardoor niet worden vastgesteld. Voor biologische bepalingen zijn klassieke (dus duurdere) bepalingmethoden nog steeds nodig om een beeld te krijgen van de biodiversiteit in de bodem, maar daarnaast zijn deze klassieke metingen nodig voor het verbeteren van de correlatie van de bepaling van bacterie- en schimmelmassa's. Momenteel worden textuurklassen ook via NIRS bepaald, mogelijk kunnen – bij voldoende klassieke data – meer bodemfysische kengetallen met de NIRS gemeten worden na zorgvuldige kalibratie.



Figuur 38 Bodemorganische stof gemeten door middel van de gloeiverliesmethode (y-as) en door middel van NIRS (x-as). De zwarte lijn is de 1:1-lijn en de blauwe lijn geeft de lineaire regressie aan tussen de twee variabelen. De R^2 van 0.9838 duidt op een goede regressie, echter de puntenwolk in de figuur is gespreid en er zijn flinke uitbijters, wat duidt op ruis en onregelmatigheden in de metingen [bron: CC-NL-metingen].

4.2 Aandachtspunten voor vervolgmetingen

In dit hoofdstuk is een aantal punten naar voren gekomen die ervoor kunnen zorgen dat een toekomstige, landsdekkende meting van de bodemkwaliteit nog verder kan worden geoptimaliseerd.

Invloed van veldomstandigheden op meetresultaten verwerken in toekomstige meetplannen

Om afwijkingen ten gevolge van verschillen in metacondities (bodemtype en textuur, vocht, temperatuur en veldvariabiliteit) te voorkomen, dient zo veel mogelijk onder gelijke veldomstandigheden te worden gemeten en bemonsterd. Meten en bemonsteren in steeds hetzelfde seizoen is aan te bevelen (bij voorkeur in het voorjaar). Daarom dient bij het opstellen van een meetplan voor het meten of monitoren van de bodemkwaliteit de gevoeligheid van indicatoren voor veldomstandigheden inzichtelijk te worden gemaakt en verwerkt te worden in toekomstige meetplannen.

De meet- en analysemethoden van enkele fysische indicatoren dienen verbeterd en/of vernieuwd te worden voor het genereren van landelijke beelden

Het is wenselijk de analysemethode van fysische indicatoren voor toekomstig gebruik in bodemkwaliteitsmonitoring te verbeteren door voor 'watervasthoudend vermogen' en 'aggregaatstabiliteit' NIRS-bepalingen te ontwikkelen. Als voor het bepalen van dichtheden de gutsmethode gebruikt blijft worden, dient te worden uitgezocht waar de afwijkingen vandaan komen en moet de methode wellicht worden aangepast. Voor penetrologger-metingen dienen richtlijnen voor bodemvochtcondities te worden opgesteld om de methode werkzaam en toch wetenschappelijk verantwoord te maken.

Betrouwbaarheid NIRS-bepalingen van organische stof en biologische indicatoren verbeteren

De betrouwbaarheid van met name de met NIRS gemeten biologische indicator PLFA kan op dit moment niet worden vastgesteld. Voor biologische bepalingen zijn daarom klassieke (dus duurdere) bepalingmethoden nog steeds nodig om een betrouwbaar beeld te krijgen van de biodiversiteit in de bodem, maar daarnaast zijn deze klassieke metingen nodig voor het verbeteren van de correlatie van NIRS-bepalingen met de bepaling van bacterie- en schimmelmassa's. Voor nog niet alle organische stof gerelateerde metingen is de nauwkeurigheid voldoende; deze moet met behulp van aanvullende klassieke bepalingen worden verbeterd.

Verdere analyse van indicatorgegevens voor inzicht in ruimtelijke verdeling

Het toegepaste steekproefontwerp heeft gezorgd voor landsdekkende data en daarmee een landelijk beeld van de bodemkwaliteit. Nadere analyse van de bestaande CC-NL-dataset kan aanvullende informatie verschaffen over de ruimtelijke verdeling van de bodemkwaliteit in Nederland en de variatie daarbinnen.

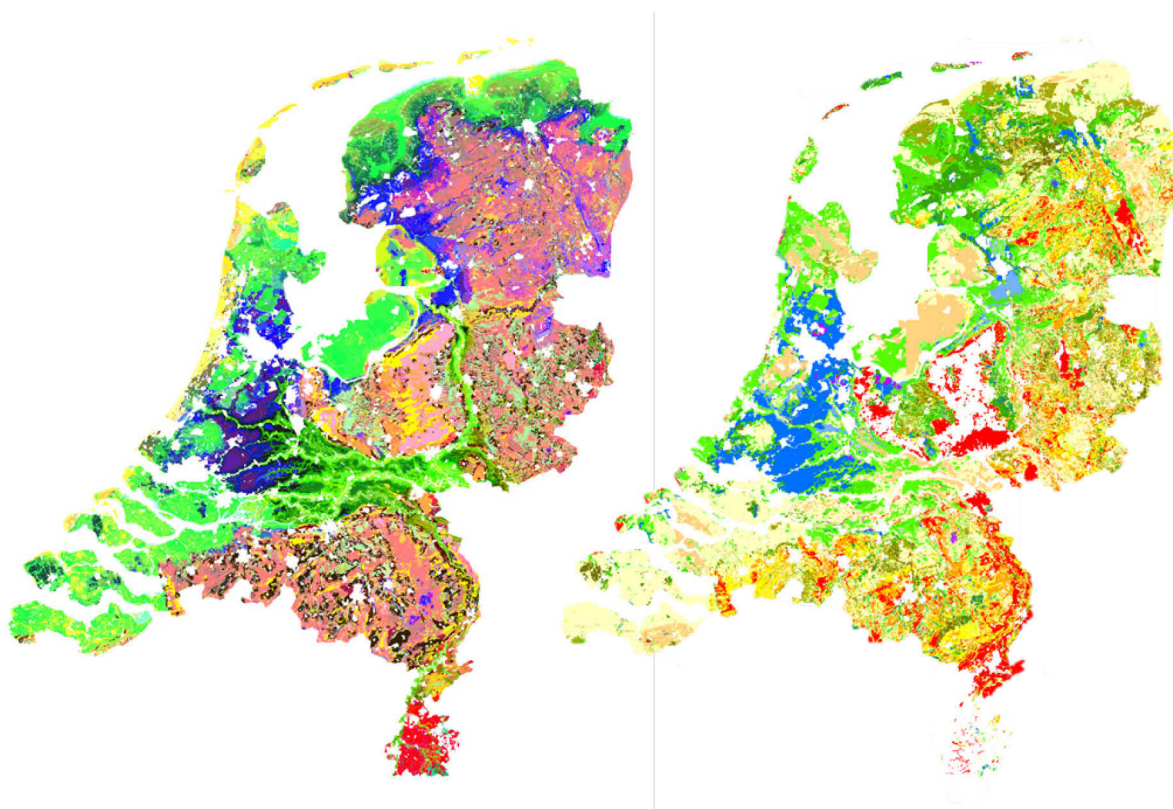
Literatuur

- Bongiorno, Giulia, Else K. Bünemann, Chidinma U. Oguejiofor, Jennifer Meier, Gerrit Gort, Rob Comans, Paul Mäder, Lijbert Brussaard, Ron de Goede, 2019. Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe, *Ecological Indicators*, Volume 99, 2019, Pages 38-50.
- Bussink, D. W., van Schöll, L., van der Draai, H., van Middelkoop, J. C., & Holshof, G. (2014). Naar een herziening van kali-advies grasland. (Soil for life; No. 1421.N.10). NMI-AGRO / Wageningen UR. <https://edepot.wur.nl/319618>.
- 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.
- Ghani, A., M Dexter, K.W Perrott, Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation, *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 35, Issue 9, 2003, Pages 1231-1243.
- Hanegraaf, M.C., H.G.M. van den Elsen, J.J. de Haan & S.M. Visser (2019). Systematiek voor bodemkwaliteitsbeoordeling van landbouwgronden in Nederland. Wageningen Research, Rapport WPR-795. 34 blz.; 1 fig; 2 tab; 23 ref. <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/498307>
- Hazeau G., R. Schuiking, M. Vittek, J. Bulens & I. Staritsky, (2019). Land cover and land use map of the Netherlands for environmental policy and research (LGN), Wageningen Environmental Research
- Haan, J. de, Marjoleine Hanegraaf, Erik van den Elsen en Saskia M. Visser. Basis voor het meten van bodemkwaliteit. Artikel tijdschrift BODEM nummer 4 | augustus 2019, pagina 13-15.
- Haynes, R. J., Labile Organic Matter Fractions as Central Components of the Quality of Agricultural Soils: An Overview, *Advances in Agronomy*, Academic Press, Volume 85, 2005, Pages 221-268.
- Houba, V.J.G., Novozamsky, I., Lexmond, T.M., Van der Lee, J.J., 1990. Applicability of 0.01 M CaCl₂ as a single extraction solution for the assessment of the nutrient status of soils and other diagnostic purposes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 21, 2281 – 2290. Houba, V.J.G., Novozamsky, I., Van der Lee, J.J., 1994. Status and future of soil and plant analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 25, 753 – 765.
- Jensen, Johannes L., Per Schjøning, Christopher W. Watts, Bent T. Christensen, Clément Peltre, Lars J. Munkholm, Relating soil C and organic matter fractions to soil structural stability, *Geoderma*, Volume 337, 2019, Pages 834-843.
- Kamerbrief Bodemstrategie LNV 23 mei 2018
(<https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/kamerstukken/2018/05/23/kamerbrief---bodemstrategie/Kamerbrief--Bodemstrategie.pdf>)
- Kamerbrief Nationaal programma landbouwbodems 25 april 2019
(<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2019/04/25/kamerbrief-over-het-nationaal-programma-landbouwbodems>)
- Liu, L.J., 2015. Impact of Mulching in a No-Till System on Soil Quality from Demo Garden Maintained by Urbaniashoeve. MSc thesis WUR
- Pribyl, D.W. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor, *Geoderma*, Volume 156, Issues 3-4, 2010, Pages 75-83, ISSN 0016-7061.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.02.003>.
- Reijneveld1 J.A., K.M. Brolsma1, P.C.J. van Vliet1, M.J. van Oostrum1 and O. Oenema. In prep. Using NIRS, multi-nutrient 0.01 M CaCl₂ extractions and the intensity, buffering capacity and quantity concept as tools for fertilization recommendation.
- Römkens, P., van der Plicht, J. & Hassink, J. Soil organic matter dynamics after the conversion of arable land to pasture. *Biol Fertil Soils* 28, 277-284 (1999). Römkens, P., van der Plicht, J. & Hassink, J. Soil organic matter dynamics after the conversion of arable land to pasture. *Biol Fertil Soils* 28, 277-284 (1999).

-
- Rutgers, M.; Schouten, T.; Bloem, J.; Buis, E.; Dimmers, W.; van Eekeren, N.; de Goede, R.G.M.; Jagers op Akkerhuis, G.A.J.M.; Keidel, H.; Korthals, G.; et al. Een Indicatorsysteem voor Ecosysteemdiensten van de Bodem: Life Support Functions Revisited; RIVM Rapport 2014-0145; RIVM: Bilthoven, The Netherlands, 2014; 129p, Available online: <http://edepot.wur.nl/345145> (accessed on 23 August 2018).
- Schipper and Sparling, 2000. Performance of Soil Condition Indicators Across Taxonomic Groups and Land Uses. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 300–311. <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.641300x>.
- Tol-Leenders, D. van, M. Knotter, W. de Groot, P. Gerritsen, A. Reijneveld, F. van Egmond, H. Wösten en P. Kuijkman, 2019 Koolstofvoorraad in de bodem van Nederland (1998-2018); CC-NL. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2974, 84 blz.; 54 fig.; 18 tab.; 11 ref.
- Van den Elsen, H.G.M., M. Knotters, M. Heinen, P.F.A.M. Römkens, J. Bloem, G.W. Korthals, 2019. Noodzakelijke indicatoren voor de beoordeling van de gezondheid van Nederlandse landbouwbodems; Selectie van fysische, chemische en biologische indicatoren voor het meten van de bodemgezondheid. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2944. 82 blz; 5 fig.; 41 tab.; 91 ref. <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/475874>
- Van Eekeren, N., Herman de Boer, Marjoleine Hanegraaf, Jan Bokhorst, Dré Nierop, Jaap Bloem, Ton Schouten, Ron de Goede, Lijbert Brussaard, 2010. Ecosystem services in grassland associated with biotic and abiotic soil parameters. *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 42, Issue 9, Pages 1491-1504.
- Van Eekeren, N., de Boer, H., Bloem, J. et al. 2009. Soil biological quality of grassland fertilized with adjusted cattle manure slurries in comparison with organic and inorganic fertilizers. *Biol Fertil Soils* 45, 595–608.
- Van Erp, P.J. 2002. The potentials of multi-nutrient soil extraction with 0.01 M CaCl₂ in nutrient management. PhD thesis Wageningen University, The Netherlands.
- Van Leeuwen, Maricke M.W.J., Gerard B.M. Heuvelink, Jakob Wallinga, Imke J.M. de Boer, Jos C. van Dam, Everhard A. van Essen, Simon W. Moolenaar, Frank P.M. Verhoeven, Jetse J. Stoorvogel, Cathelijne R. Stoof, Visual soil evaluation: reproducibility and correlation with standard measurements, *Soil and Tillage Research*, Volume 178, 2018, Pages 167-178, ISSN 0167-1987, <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.11.012>.
- Visschers, R. en B.A. Marsman, 1991. Meting van de dichtheid van de grond met een gutsboor. *Landinrichting* 31(3): 33-35.
- Zanen, M., J.G. Bokhorst, C. ter Berg en C.J. Koopmans, 2008, Investeren tot in de bodem, evaluatie van het proefveld Mest Als Kans, Louis Bolk Instituut, rapport nr. LD 11.

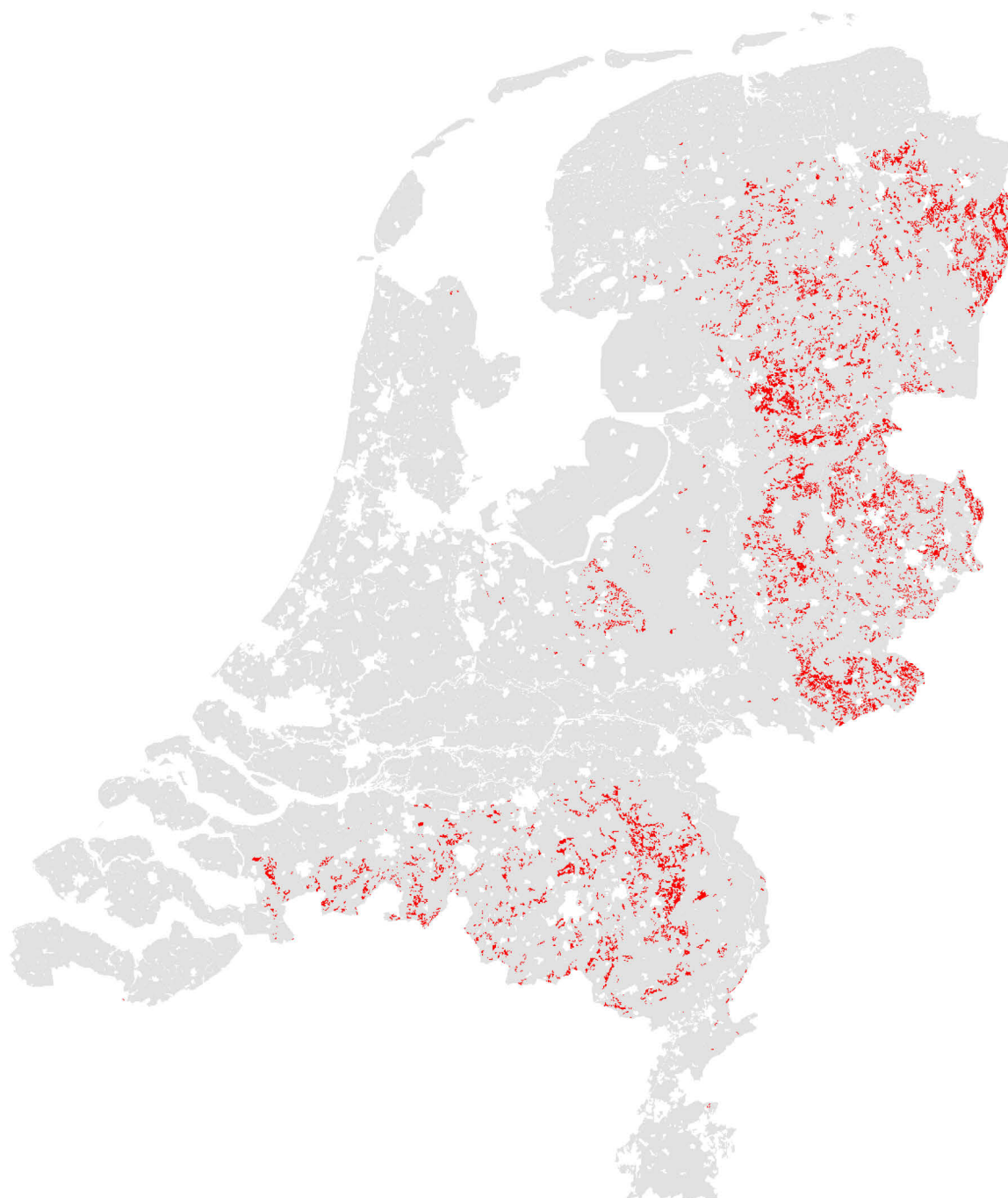
Bijlage 1 Steekproefontwerp LSK

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 aselecte 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 (Figuur 1). In totaal zijn 96 deelgebieden onderscheiden en in elk van deze deelgebieden zijn steekproeflocaties geloot. Op deze wijze is zowel een goede spreiding over verschillende bodemkundige en hydrologische situaties als een goede ruimtelijke spreiding verkregen.



Figuur 39 Links de Bodemkaart en rechts de Grondwatertrappenkaart van Nederland (zie Van Tol-Leenders et al., 2018), schaal 1:50.000, als basis voor de LSK.

De indeling op basis van grondwatertrap en bodemtype zorgt ervoor dat de deelgebieden niet aaneengesloten liggen, maar ruimtelijk zijn verspreid. Figuur 40 geeft als voorbeeld de ligging van deelgebied Hn21-VI (veldpodzolgronden met grondwatertrap VI) in rood weer.



Figuur 40 *Ligging deelgebied Hn21-VI (Rood = deelgebied, grijs = overige gebieden).*

Bijlage 2 Classificatie van de LGN2018-kaart

Tabel 24 Classificatie van de LGN2018 kaart. Landgebruikscategorieën: A=akkerbouw, G=grasland, R=rest (bos, natuurgebied, bebouwing en infrastructuur).

Code in LGN2018	Definitie in LGN2018	Toegekende Landgebruikscategorie
1	Agrarisch gras	G
2	Mais	A
3	Aardappelen	A
4	Bieten	A
5	Granen	A
6	Overige gewassen	A
8	Glastuinbouw	R
9	Boomgaarden	A
10	Bloembollen	A
11	Loofbos	R
12	Naaldbos	R
16	Zoet water	R
17	Zout water	R
18	Bebouwing in primair bebouwd gebied	R
19	Bebouwing in secundair bebouwd gebied	R
20	Bos in primair bebouwd gebied	R
22	Bos in secundair bebouwd gebied	R
23	Gras in primair bebouwd gebied	R
24	Kale grond in bebouwd gebied	R
25	Hoofdwegen en spoorwegen	R
26	Bebouwing in het buitengebied	R
27	Overig landgebruik in buitengebied	R
28	Gras in secundair bebouwd gebied	R
30	Kwelders	R
31	Open zand in kustgebied	R
32	Duinen met lage vegetatie	R
33	Duinen met hoge vegetatie	R
34	Duinheide	R
35	Open stuifzand en/of rivierzand	R
36	Heide	R
37	Matig vergraste heide	R
38	Sterk vergraste heide	R
39	Hoogveen	R
40	Bos in hoogveengebied	R
41	Overige moerasvegetatie	R
42	Rietvegetatie	R
43	Bos in moerasgebied	R
45	Natuurgraslanden	R
46	Gras in kustgebied	R
47	Overig gras	R
61	Boomkwekerijen	A
62	Fruitekwekerijen	A
321	Bush/shrub vegetation in raised bogs	R
322	Bush/shrub vegetation in swamp areas	R
323	Other bush/shrub vegetation (323/333)	R
331	Bush/shrub vegetation in raised bogs	R
332	Bush/shrub vegetation in swamp areas	R
333	Other bush/shrub vegetation (323/333)	R

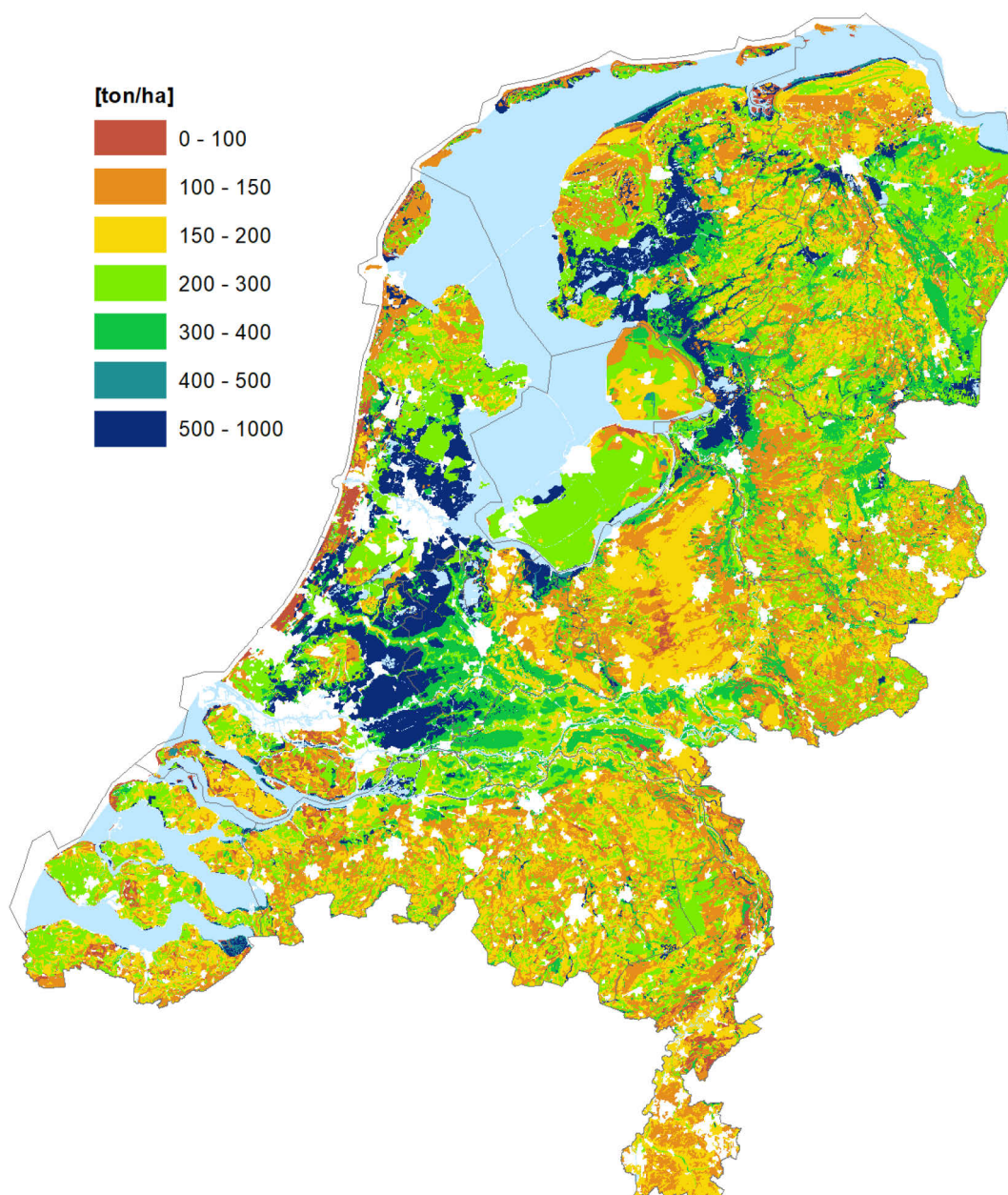
Bijlage 3 Kaarten van BLN-indicatoren voor akkerland, grasland en rest (bos en natuur)

In hoofdstuk 3 zijn de resultaten te zien van de inventarisatie van de bodemkwaliteit voor alleen landbouwgronden (akkerland en grasland). In de steekproefopzet (LSK) zijn ook de restgebieden meegenomen; deze restgebieden omvatten onder andere ook bos en natuur (zie ook paragraaf 2.3.2). In de kaartbeelden in deze bijlage is de bodemkwaliteit afgebeeld voor alle gemeten gebieden, dus landbouwgronden inclusief restgebieden (o.a. bos en natuur) voor dezelfde indicatoren als gerapporteerd in hoofdstuk 3.

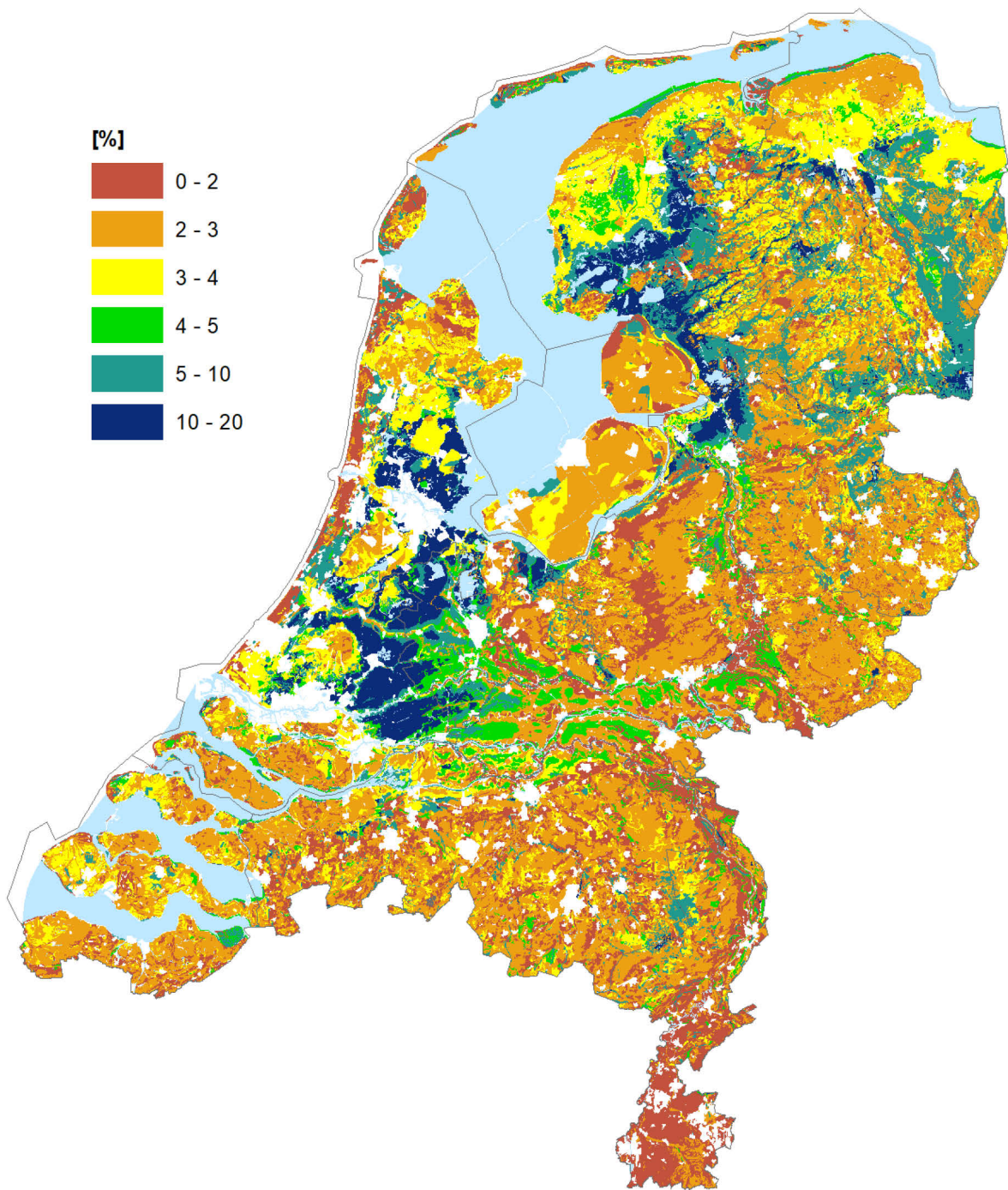
Organische-stofindicatoren

Totale koolstofvoorraad in de bodem (SOC) in de laag 0-30 cm

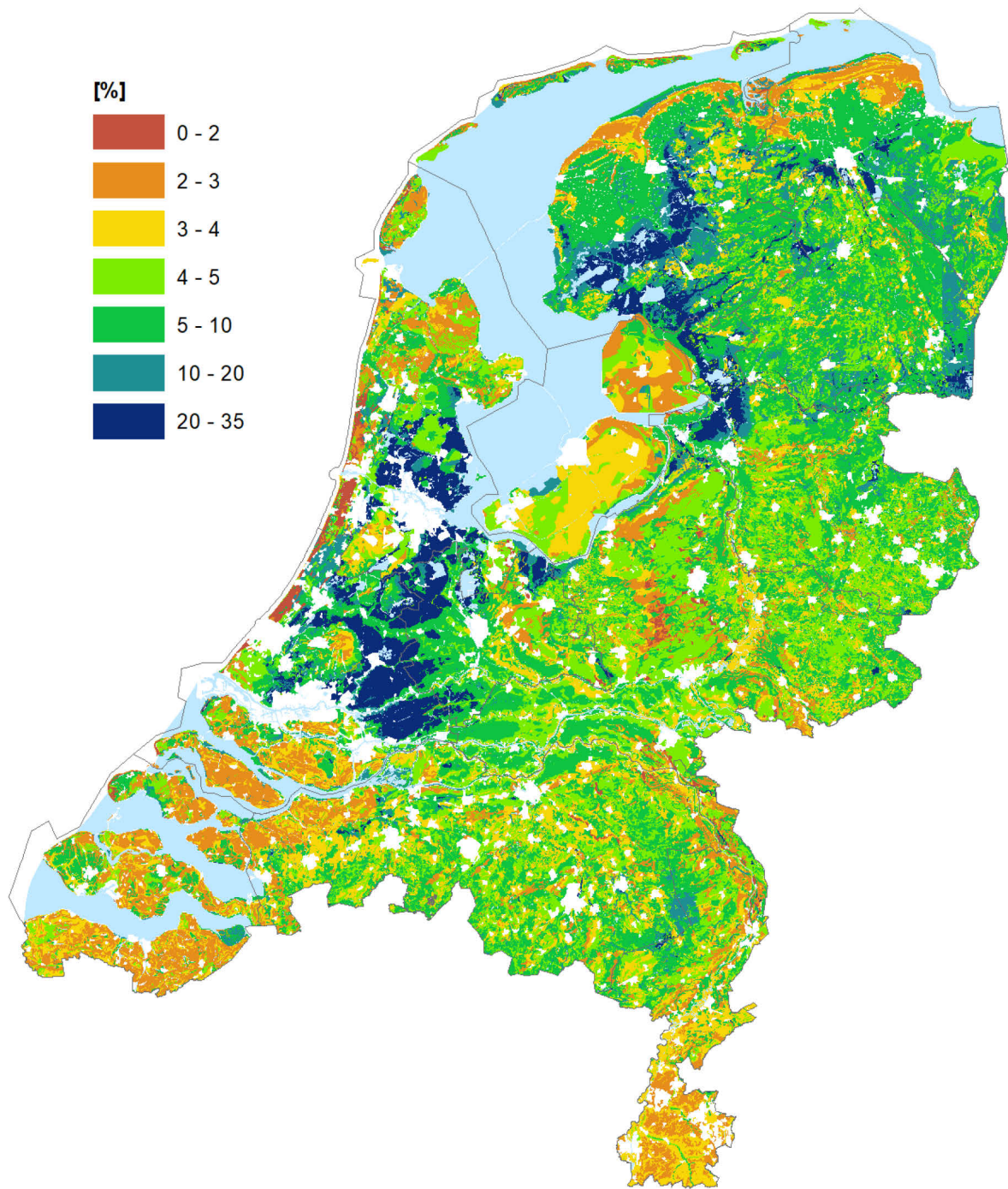
(methode: gloeiverlies - kwaliteit van de bepaling: ●●●)



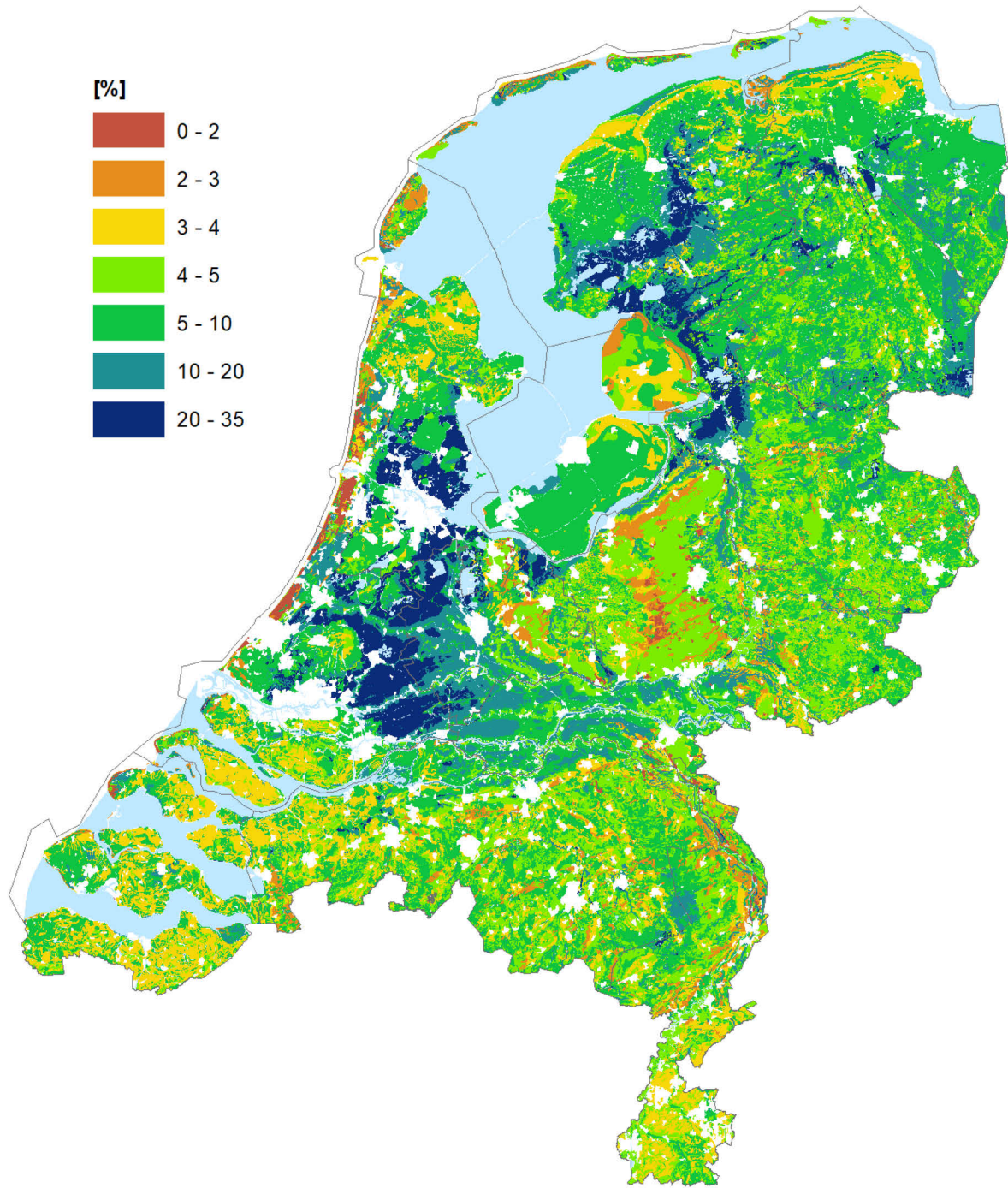
Totaal organisch koolstofgehalte (C-Totaal) in de laag 0-30 cm
(methode: NIRS - kwaliteit van de bepaling: ●●)



Organischestofgehalte (SOM): percentage bodemorganische stof 0-30 cm
(methode: **gloeiverlies** (klassiek), - kwaliteit van de bepaling: ●●●)



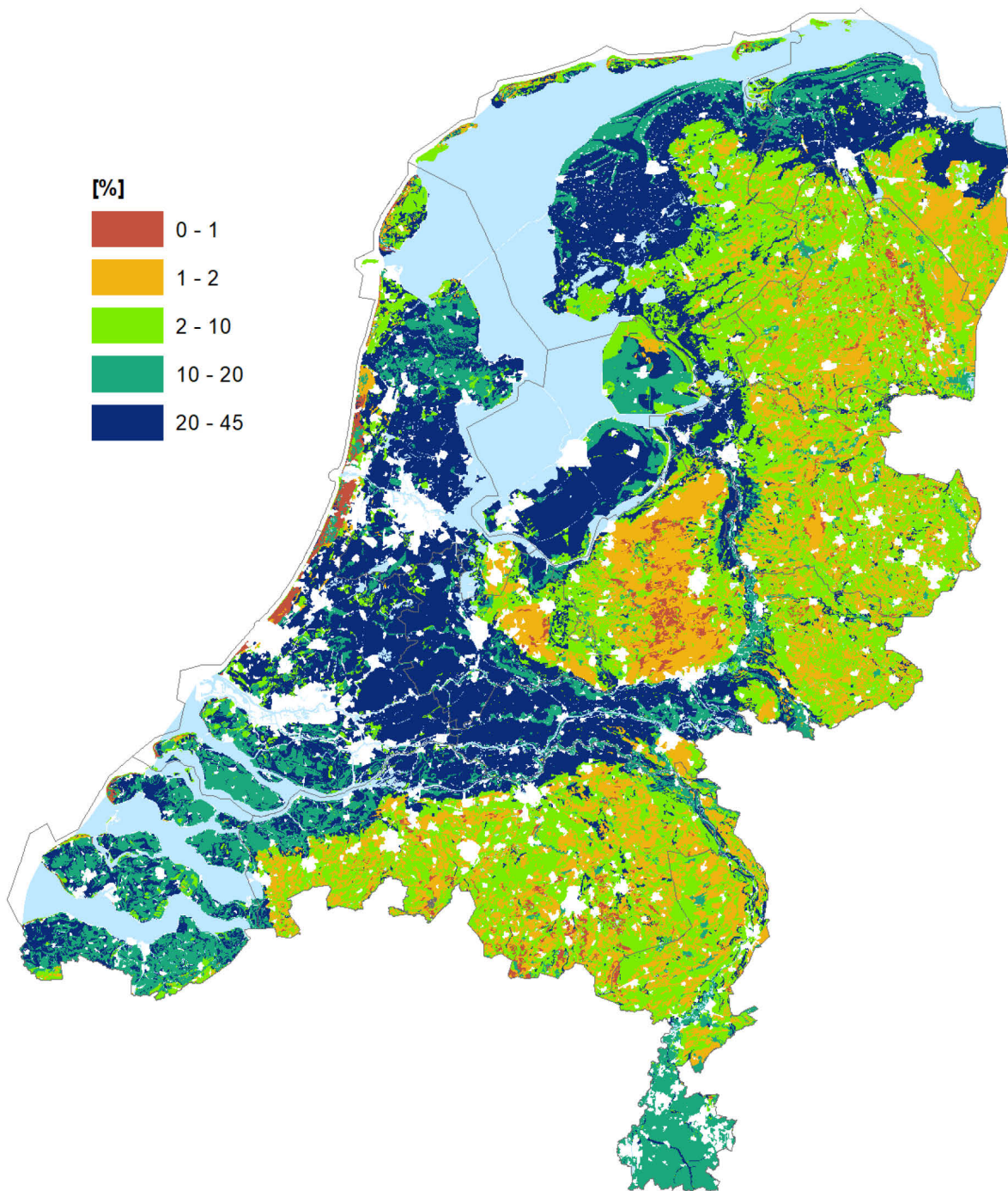
Percentage bodemorganische stof (SOM) in de laag 0-30 cm
(methode: NIRS - kwaliteit van de bepaling: ●●)



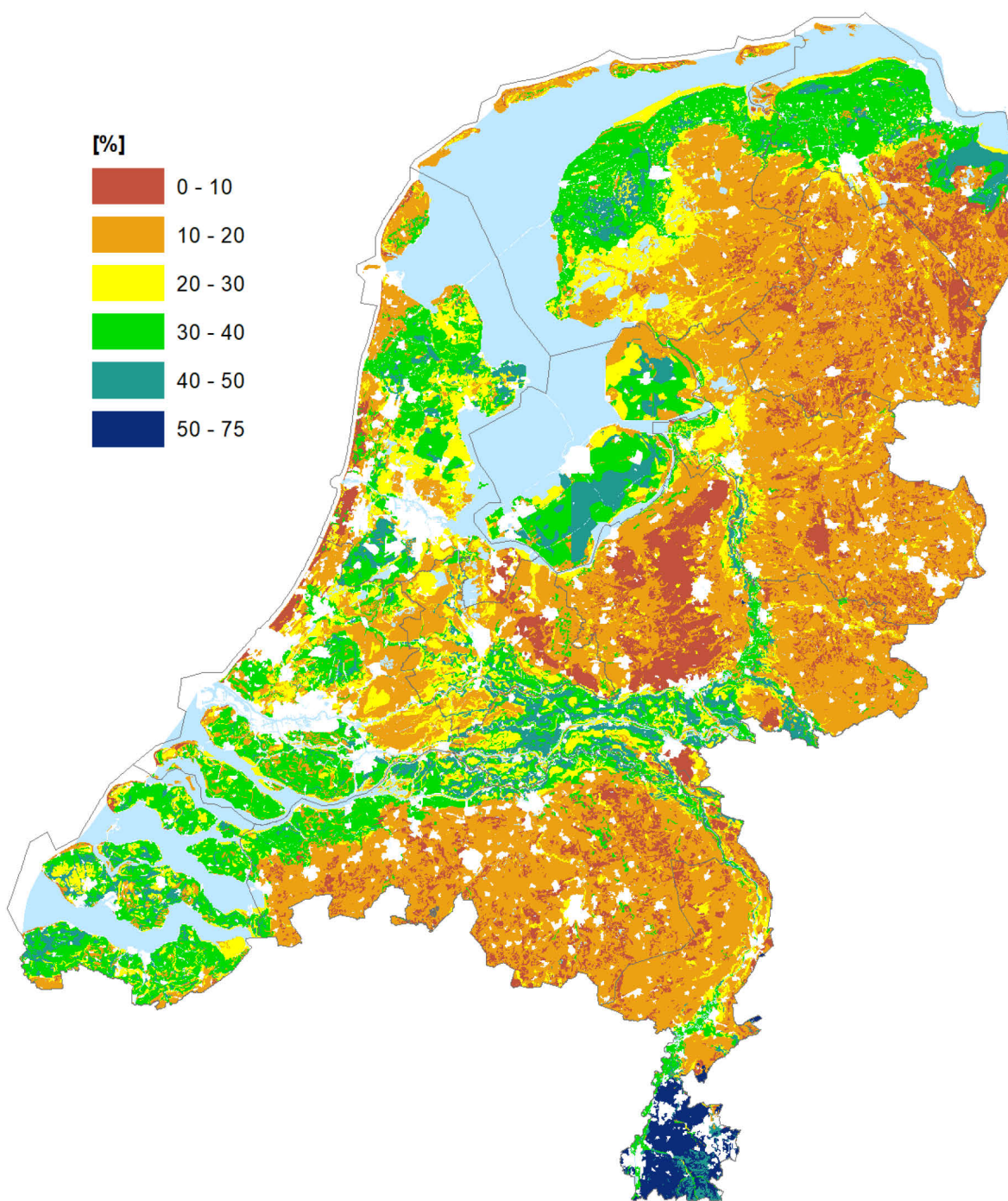
Fysische indicatoren

Textuur: Percentage lutum in de laag 0-30 cm

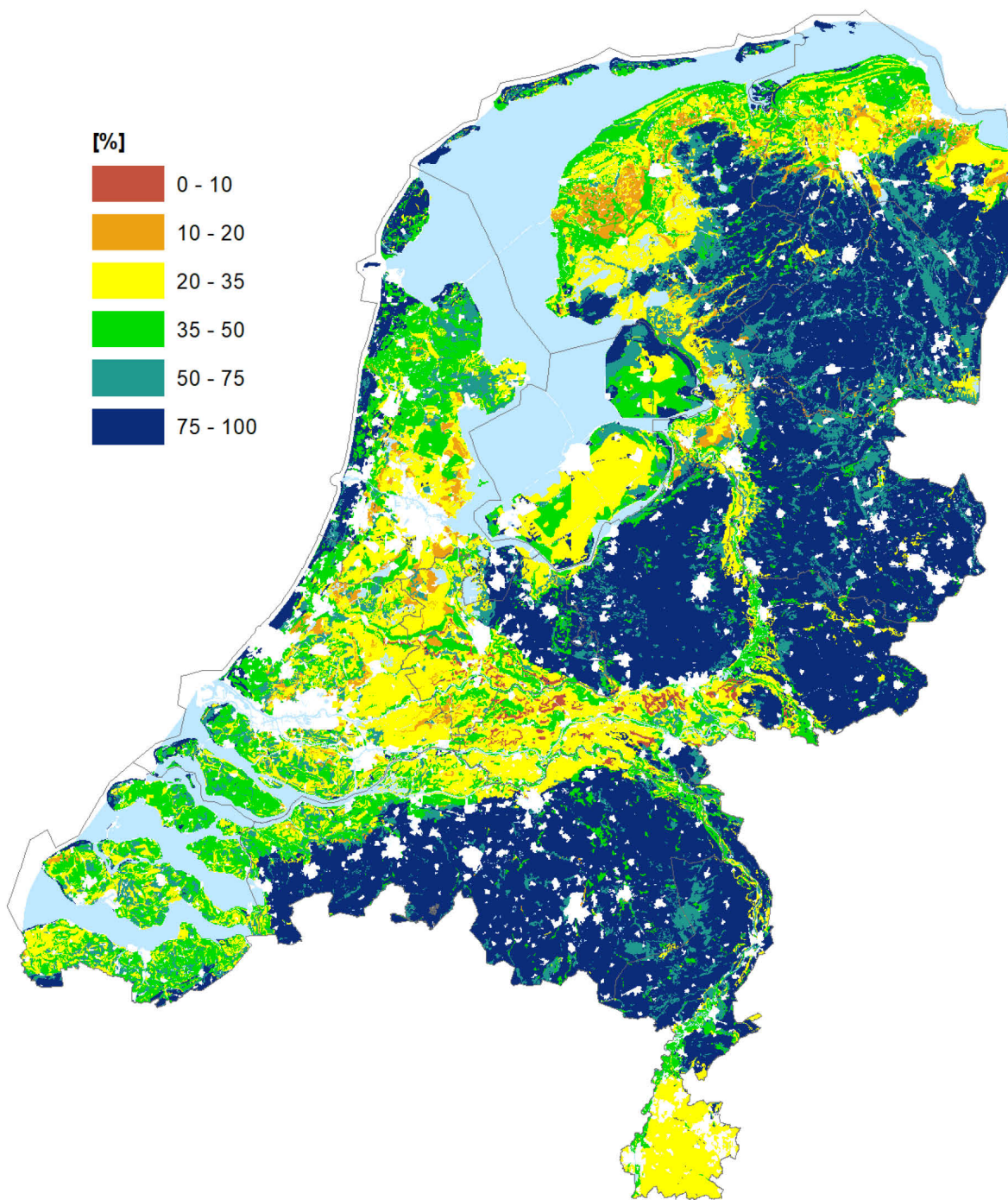
(methode: NIRS - kwaliteit van de bepaling: ●●●)



Textuur: Percentage silt in de laag 0-30 cm
(methode: NIRS - kwaliteit van de bepaling: ●●●)



Textuur: Percentage zand in de laag 0-30 cm
(methode: NIRS – kwaliteit van de bepaling: ●●●)

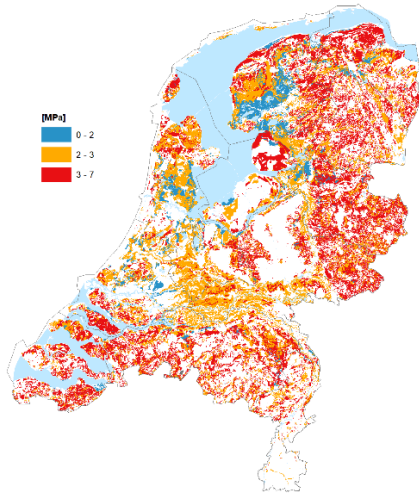


Indringingsweerstand

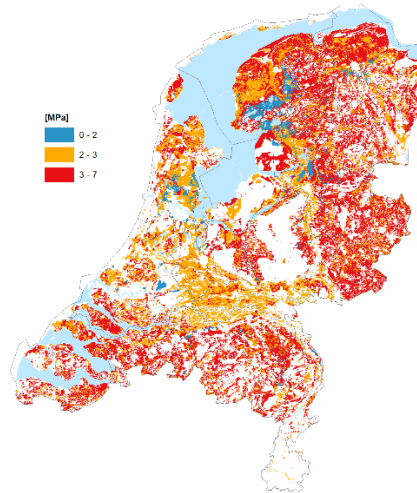
(methode: penetrologger. Kwaliteit van de meting: ●●)

De maximale indringingsweerstand van de bovenlaag 0-30 cm en 30-80 cm -maaiveld en bij bodemvocht criteria: I (drukhoogte h=-50...-150 cm), II (drukhoogte h=-50...-200 cm) en III (drukhoogte h=-20...-500 cm) – zie Bijlage 9), gemeten in de CC-NL-steekproef 2018. Merk op dat de witte gebieden in de kaarten niet door de screening van de bodemvochtcriteria 1, 2 en 3 zijn gekomen.

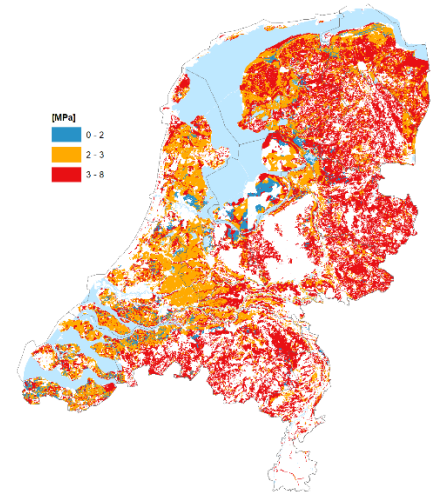
Bodemlaag 0-30 cm - vochtcriterium 1



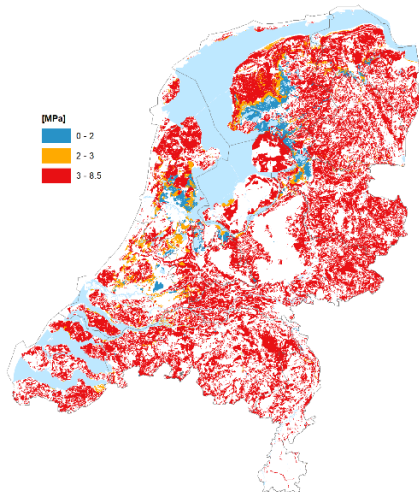
Bodemlaag 0-30 cm - vochtcriterium 2



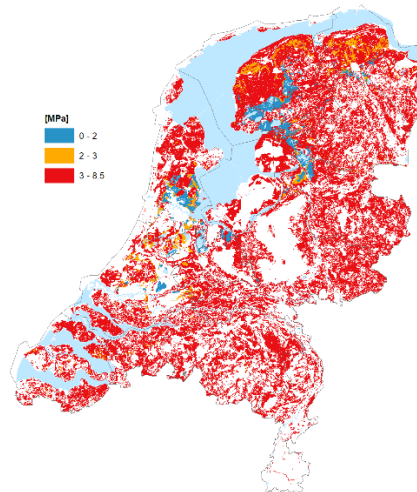
Bodemlaag 0-30 cm - vochtcriterium 3



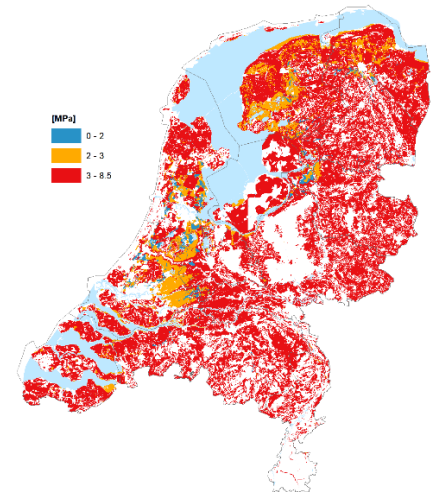
Bodemlaag 30-80 cm - vochtcriterium 1



Bodemlaag 30-80 cm - vochtcriterium 2

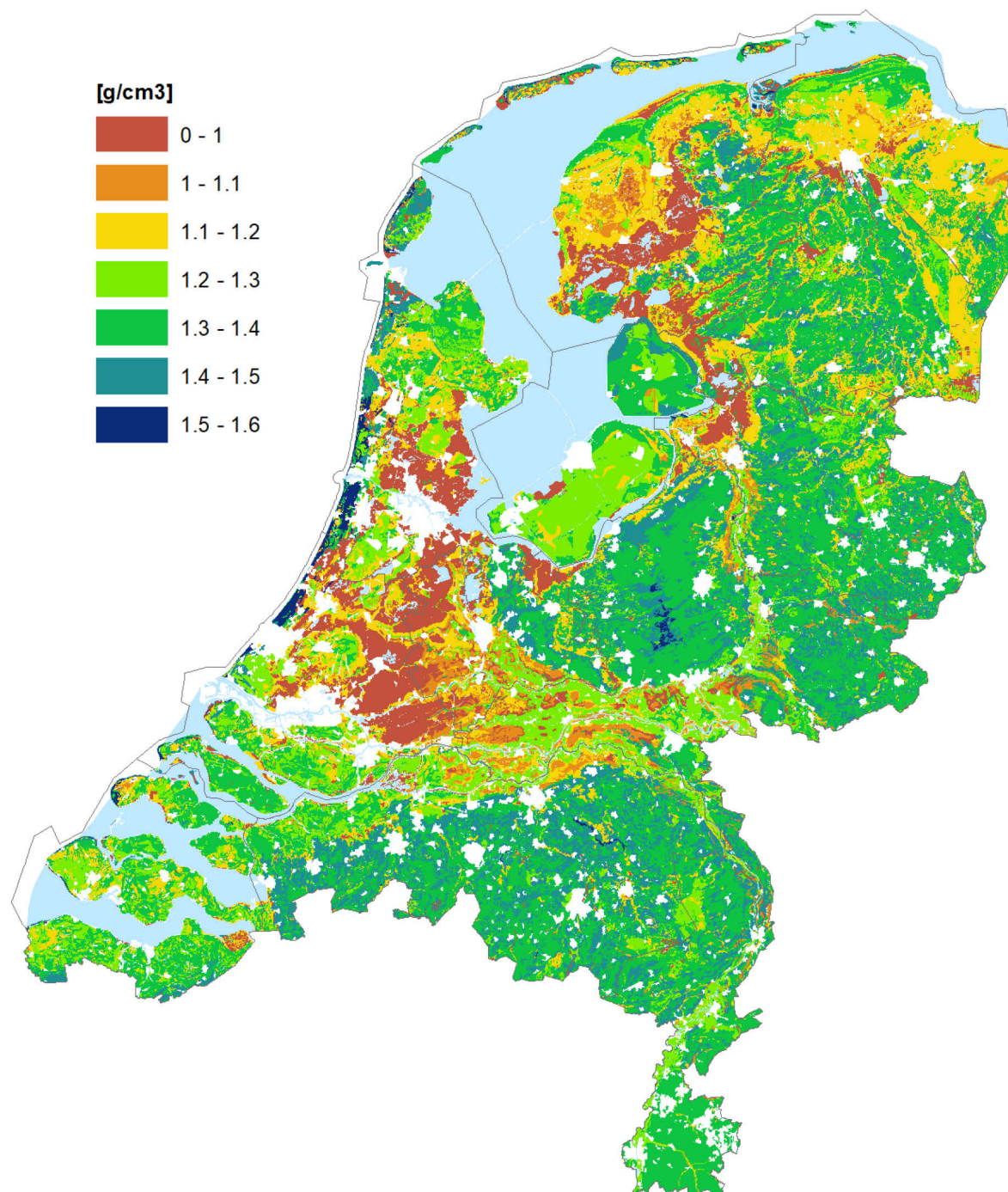


Bodemlaag 30-80 cm - vochtcriterium 3



Droge bulkdichtheid van de bodem in de laag 0-30 cm

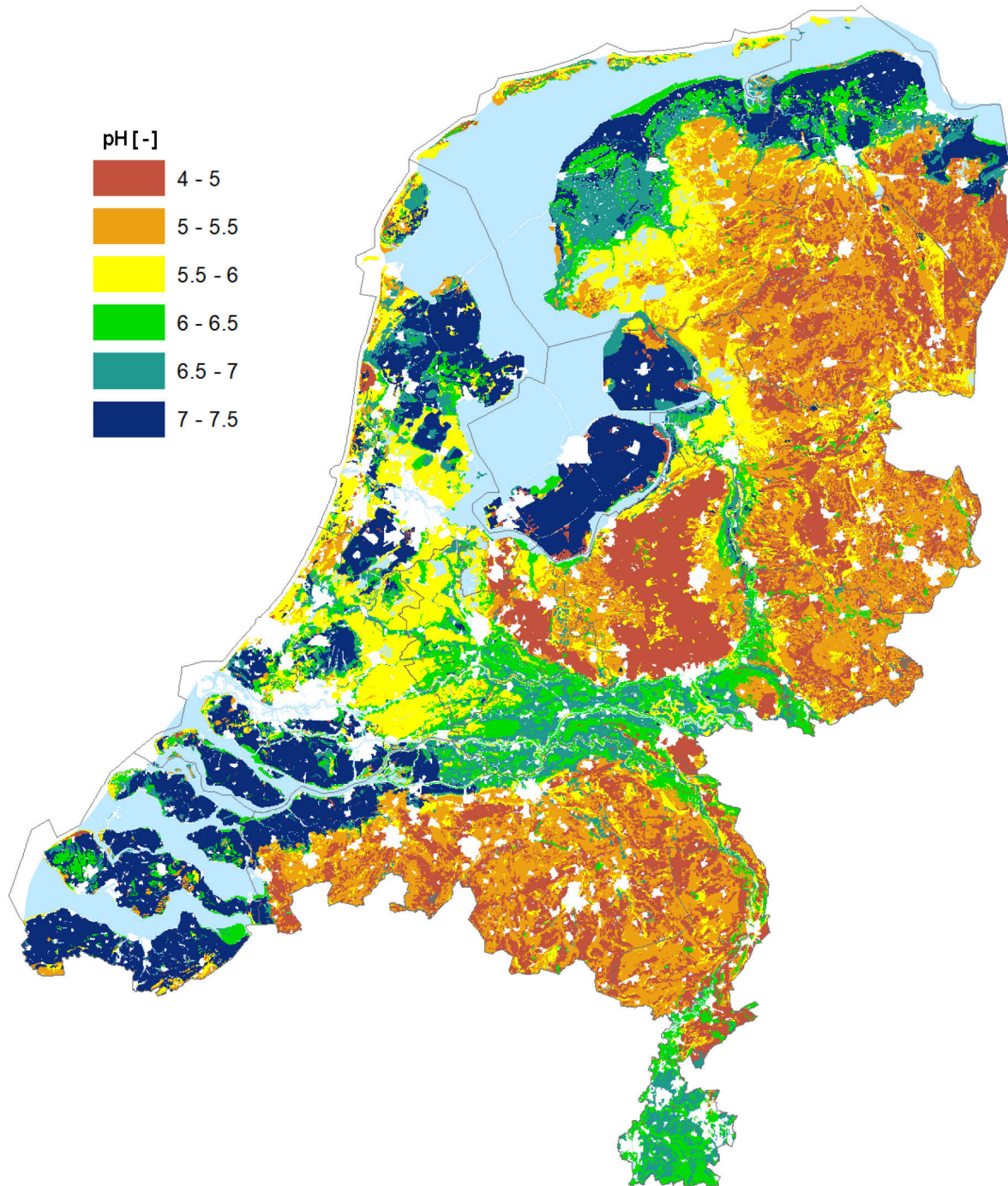
(methode: Guts - kwaliteit van de bepaling: ●●)



Chemische indicatoren

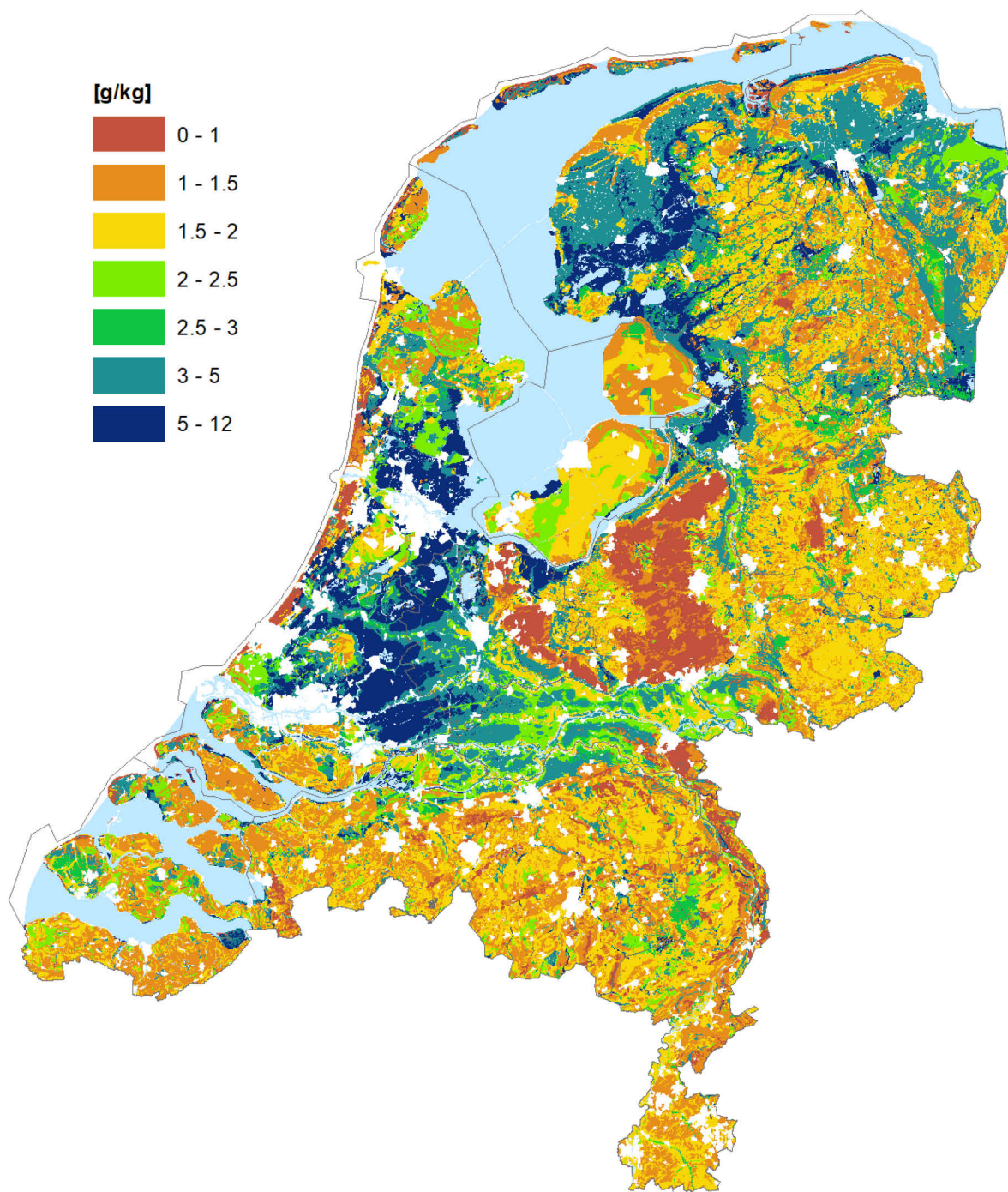
De pH van de bodem in de laag 0-30 cm

(methode: extractie in CaCl_2 - kwaliteit van de bepaling: ●●)



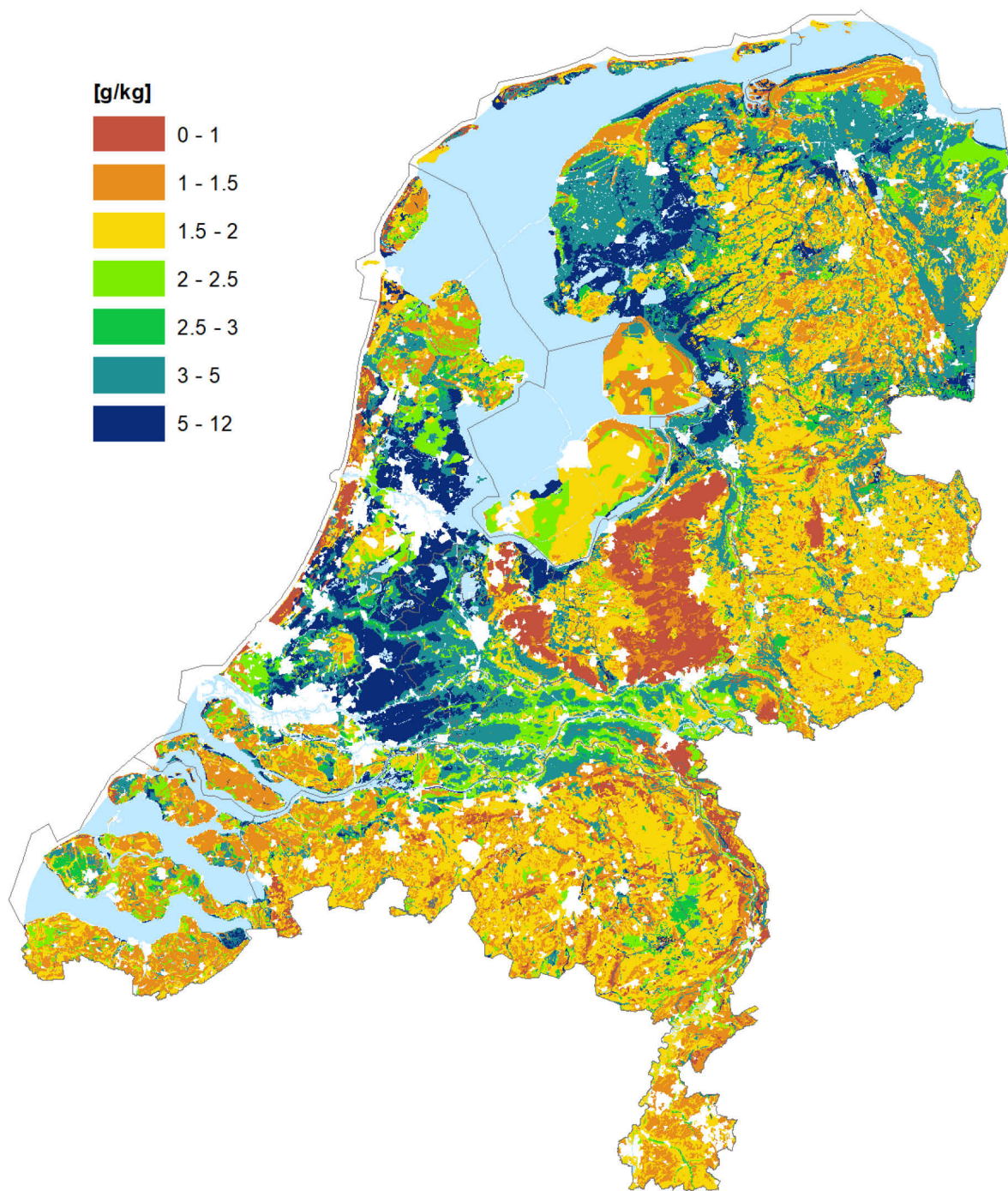
Totale N-voorraad in de laag 0-30 cm

(methode: extractie in Dumas - kwaliteit van de bepaling: ●●●)

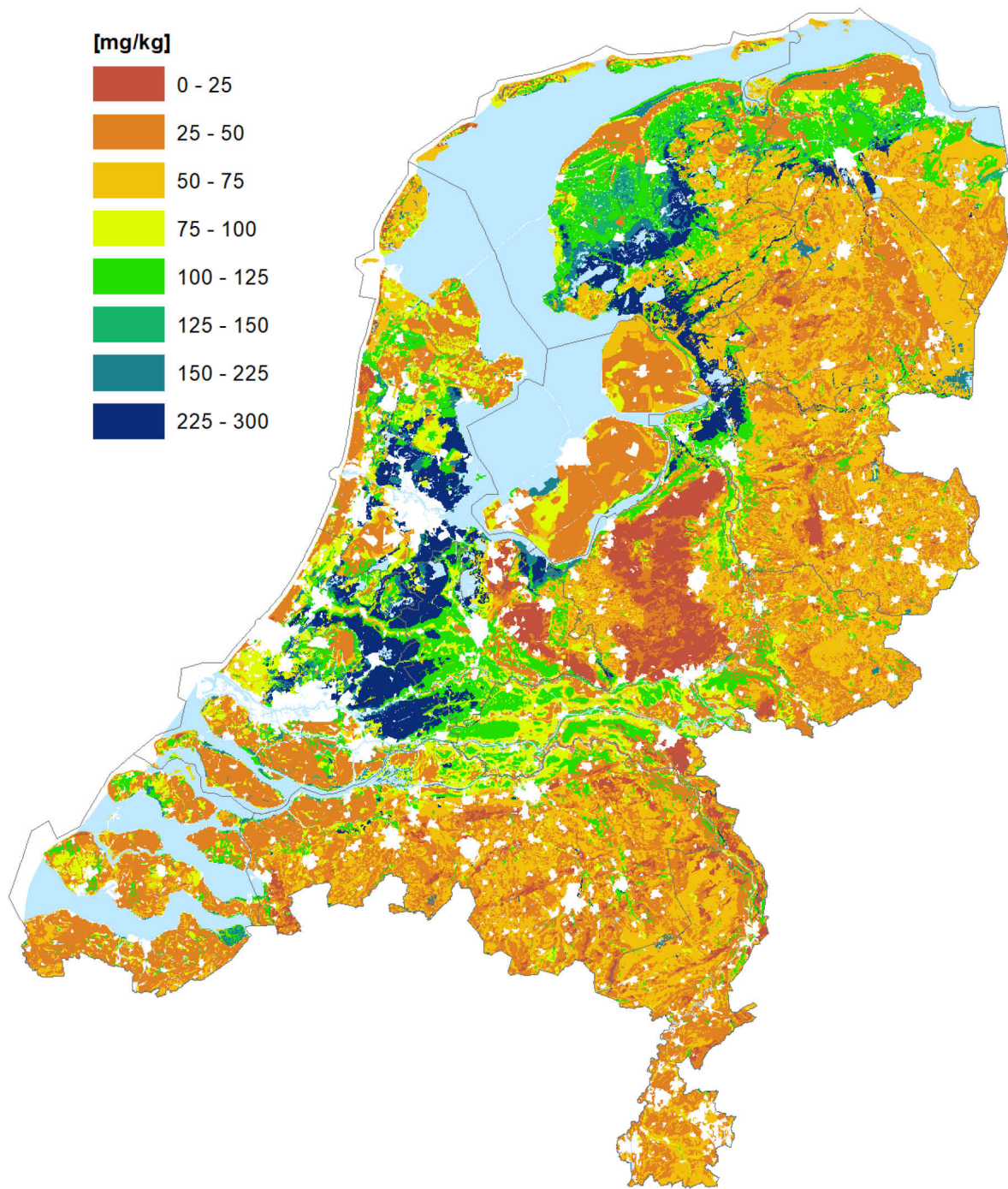


Totale N-voorraad in de laag 0-30 cm

(methode: NIRS - kwaliteit van de bepaling: ●●●)



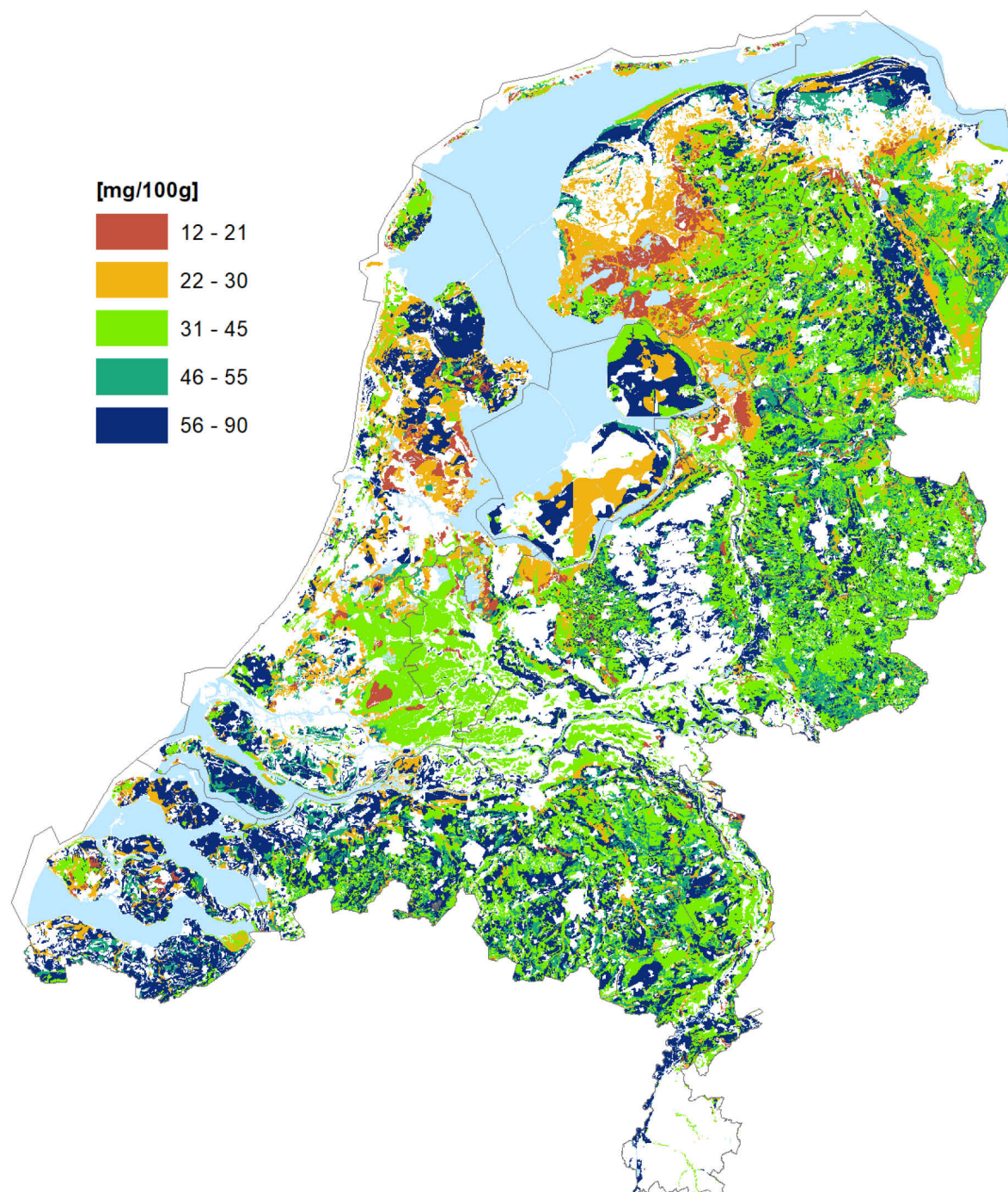
Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN)
(methode: NIRS - kwaliteit van de bepaling: ●●)



Fosforstatus

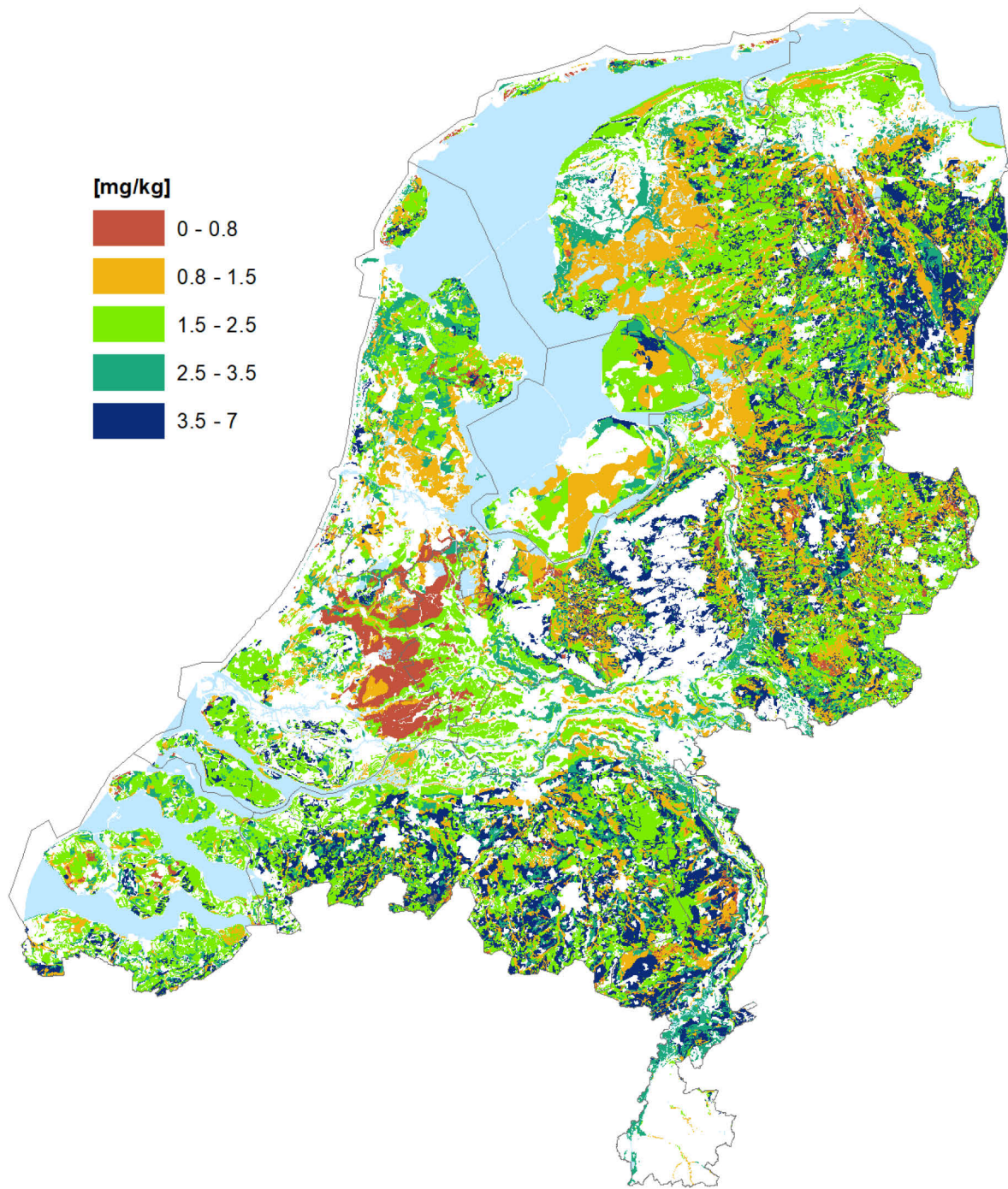
(methode: Extractie in ammoniumlactaat - kwaliteit van de bepaling: ●●●)

(NB De fosforstatus is alleen bepaald voor zandgronden.)



Fosforstatus

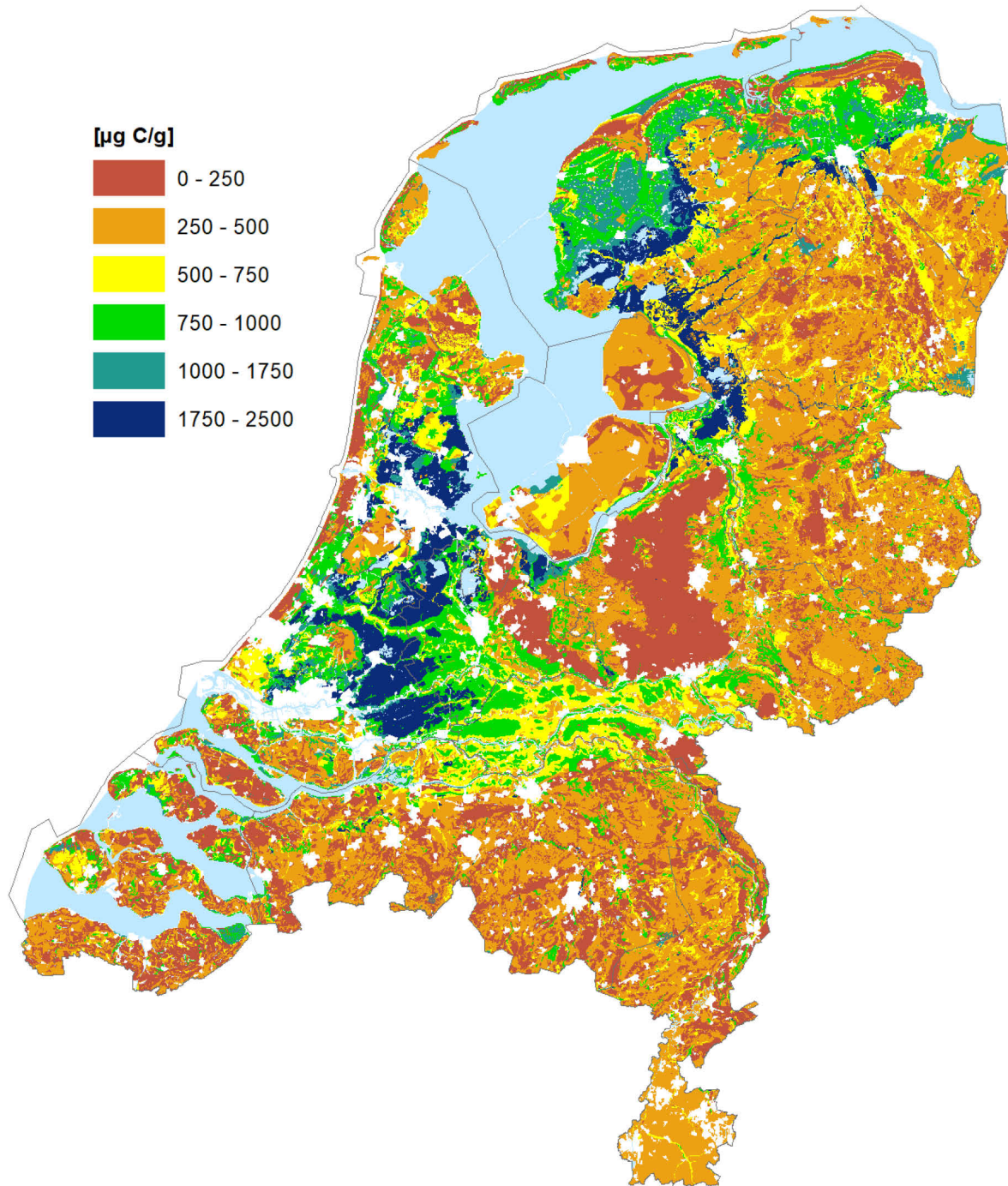
(methode: Extractie in CaCl_2 - kwaliteit van de bepaling: ●●●)



Biologische indicatoren

PLFA Totaal

(concentratie van bacteriën en schimmels - kwaliteit van de bepaling: ●●)



Bijlage 4 Gloeiverlies- en Dumas- bepalingsmethoden

Gloeiverliesmethode

Bij de gloeiverliesmethode wordt het monster in een gloeistoof of gloeibuisoven aan de lucht verbrand bij hoge temperatuur. Het gewichtsverlies is een maat voor de hoeveelheid organische stof. In die zin wordt met behulp van deze methode direct het gehalte aan organische stof bepaald.

De methode werd in 1931 voor het eerst toegepast, maar werd daarna snel breed toegepast ten behoeve van biologische en geologische studies. De gloeiverliesmethode wordt veelal gezien als referentiemethode, in die zin dat zij toegepast wordt ten behoeve van de bepaling van de conversiefactor die bij andere methodieken noodzakelijk is voor de berekening van organische stof uit organisch koolstof. De algemeen geaccepteerde voorbehandeling van monstermateriaal bestaat uit het tot constante massa drogen van het monster bij 105 °C. Daarna wordt het monster bij 550 °C gedurende 3 uur tot constante massa verbrand.

Dumas-methode

De Dumas-methode bestaat uit het verbranden van een monster van bekende massa in een kamer met hoge temperatuur (800-900 °C) bij de aanwezigheid van zuurstof. Dit leidt tot het vrijkomen van koolstofdioxide, water en stikstof. De gassen worden vervolgens geleid over een serie speciale kolommen (zoals kaliumhydroxide oplossing in water) die het kooldioxide en het water absorberen. Een kolom aan het einde met een thermische geleidbaarheidsdetector wordt gebruikt om stikstof te scheiden van eventueel resterend kooldioxide en water. Het overblijvende stikstofgehalte wordt bepaald. Het instrument moet eerst worden geijkt door het analyseren van een materiaal dat zuiver is en dat een bekende stikstofconcentratie heeft. Het gemeten signaal van de thermische geleidbaarheid van het onbekende monster kan vervolgens worden omgezet in een stikstofgehalte. Zoals bij de Kjeldahl-methode, wordt omzetting van de stikstofconcentratie in een monster in het ruwe eiwitgehalte uitgevoerd met behulp van conversiefactoren die afhangen van de specifieke aminozuurvolgorde van het gemeten eiwit.

Bijlage 5 Meten van bulkdichtheid en indringingsweerstand

Bulkdichtheid

De bulkdichtheid (of kortweg: dichtheid) is een belangrijke indicator, omdat de dichtheid van invloed is op meerdere andere indicatoren van de bodemkwaliteit en ook wat zegt over de verdichting van de bodem. In het CC-NL-project is voor het meten van de bulkdichtheid gebruikgemaakt van de relatief snel uit te voeren gutsmethode (R. Visschers en B.A. Marsman, 1991). In de rapportage van CC-NL is geconstateerd dat het van belang is dat de dichtheid en veranderingen daarin nauwkeurig worden vastgesteld. De dichtheden die in 2018 aan monsters zijn bepaald die met een guts waren gestoken, weken af van de dichtheden die voor de periode 1994-2001 waren berekend met pedotransferfuncties. De in 2018 gemeten dichtheden waren op sommige meetpunten hoger of juist lager dan de waarden uit de periode 1994-2001. Mogelijk heeft de droogte van 2018 tijdens de CC-NL-bemonstering geleid tot een vertekend beeld in de dichtheid en daarmee in de koolstofvoorraad. Het bleek lastig het bodemonmonster in alle gevallen volledig binnen de guts te houden. Ook kan een rol spelen dat bij de gutsmethode de bodem vanaf maaiveld is bemonsterd (tot 80 cm diepte), terwijl bij metingen met ringen doorgaans niet vanaf maaiveld, maar dieper wordt bemonsterd (bijvoorbeeld op 15 of 30 cm diepte). Het is ook mogelijk dat de waarden berekend met de (empirische) pedotransferfuncties minder nauwkeurig zijn dan waarden bepaald aan daadwerkelijk gestoken monsters. De gravimetrische methode met 100cc-ringen is het gangbaarst. Deze methode is niet toegepast in het CC-NL-project.

Indringingsweerstand

De indringingsweerstand, zoals gemeten met de penetrollogger, is een maat voor de weerstand die wortels ondervinden tijdens de groei. Vastlegging van CO₂ in de bodem gaat deels via planten(wortels). De stelregel is dat wortels bij een indringingsweerstand van meer dan 2 MPa (megapascal) hinder ondervinden, maar nog wel in de bodem kunnen komen. Bij een indringingsweerstand van meer dan 3 MPa is het voor het merendeel van de gewassen niet meer mogelijk om in de bodem te wortelen. De indringingsweerstand is afhankelijk van het vochtgehalte, de opbouw van de bodem (zand, klei of veen), maar ook van de van persoon tot persoon verschillende uitvoering van de meting. De analyse in CC-NL geeft een eerste beeld van bodemverdichting in het landelijke gebied in Nederland. In totaal zijn in 2018 op 998 meetlocaties metingen uitgevoerd die voldoen aan de kwaliteitseis. Die eis is dat het vochtgehalte van het bodemprofiel niet te laag, maar ook niet te hoog is (de norm is: bij een vochtspanning van $h = -100$ cm). Een screening van acceptabele drukhoogten van de CC-NL-indringingsweerstand is uitgewerkt in Bijlage 9.

Dichtheidssensor

Als alternatief voor de gravimetrische methode om de dichtheid van de bodem te bepalen, is een aantal jaar geleden een methode ontwikkeld die gebaseerd is op een veldmeting van actieve gammastraling (RhoC) in combinatie met een bodemvochtmeting. In 2018 zijn, in opdracht van het ministerie van LNV, een Medusa MS-Rho en vochtsensor aangeschaft voor veldmetingen van de bulkdichtheid. De toepasbaarheid en nauwkeurigheid van deze nieuwe dichtheidssensor bij de bepaling van dichtheden dienen nog te worden onderzocht. De sensor kan de totale bulkdichtheid meten tot 1 m -mv, steeds over een diepte van 5 cm en in een cilindrisch volume met een horizontale diameter van 19 cm dat 95% van het signaal ontvangt. De opgegeven theoretische nauwkeurigheid is 0,01 g/cm³ voor de bulkdichtheid. Vochtmetingen zijn uitgevoerd met een Sentek Diviner 2000 in hetzelfde meetgat. Voor het meten van een bulkdichtheidsprofiel tot 80 cm-mv per 5 cm is ongeveer een halfuur nodig in het veld. Voor het nemen van ondiepe ringmonsters is ongeveer een kwartier nodig per ring, op grotere diepte is meer tijd nodig.

In het rapport van het CC-NL project (Van Tol-Leenders et al., 2019) wordt aanbevolen om terug te keren naar een selectie van veldlocaties om daar opnieuw de dichtheid vast te stellen, omdat: *'Op minerale gronden wordt op de laag 0-30 cm voor een aantal locaties een erg lage dichtheid gemeten, wat mogelijk een gevolg is van de droogte die in 2018 in Nederland optrad. Door de droogte raakte de guts mogelijk niet altijd goed gevuld met grond'* (p. 53). Daarnaast wordt in het rapport van Van Tol-

Leenders et al. (2019) gesteld dat de dichtheden die met de gehanteerde gutsmethode zijn bepaald, dienen te worden vergeleken met dichtheden die zijn bepaald volgens de gravimetrische methode met 100 cc-ringen en nieuwe meettechnieken zoals een dichtheidssensor, voor verdere verificatie van de gutsmethode.

Omdat een veldcampagne niet was voorzien voor dit rapport over de nulmeting voor bodemkwaliteit in Nederlandse landbouwgronden, is aansluiting gezocht bij het onderzoek in het Bedrijfsnetwerk Bodemmetingen. Op 26 van de 32 locaties van dit netwerk zijn metingen uitgevoerd met de guts, de dichtheidssensor (MS-Rho), de penetrologger en ook zijn ringen genomen, bodemprofielen beschreven en laboratoriummonsters genomen waarvoor ook een aantal fysische, chemische en biologische indicatoren zijn gemeten. Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van een MSc-stage Bodemkunde bij WENR. Hierbij is het meetprotocol van CC-NL gevolgd voor de penetrologger en de gutsmetingen waarbij de maximale diepte is beperkt tot 80 cm-mv. De MS-Rho-metingen zijn iedere 5 cm tot 80 cm-mv uitgevoerd in combinatie met een vochtsensor meting (Sentek Diviner 2000). Ringen zijn genomen op 4 dieptes tot 30 cm-mv.

Inzichten en correlaties uit dit experiment worden gebruikt in de verdere analyse van de waargenomen dichtheden in de bodemmonsters in de in dit voorstel beschreven aanbevelingen.

Bijlage 6 Phospholipid-derived Fatty Acids (PLFA)

Hoe werkt PLFA?

Alle cellen van levende organismen hebben membranen, die voornamelijk bestaan uit fosfolipidenvetzuren (PLFA). PLFA breken snel af wanneer een cel sterft, dus intacte PLFA geëxtraheerd uit een milieu-monster (water, bodem, sediment, of Bio-Trap® (een commercieel verkrijgbaar type sampler) is slechts van levende (levensvatbare) organismen en wordt uitgedrukt als cellen per eenheid van het monster. De chemische samenstelling van de PLFA-biomarkers verschilt afhankelijk van het type organisme en kan daarom worden gebruikt om een 'vingerafdruk' van de microbiële samenstelling in de bodem te genereren. In principe is een PLFA-analyse vergelijkbaar met analyse van andere chemische verbindingen: (1) PLFA-biomarkers geëxtraheerd uit het monster, (2) biomarkers geïdentificeerd door gaschromatografie met vlam-ionisatiedetectie (GC-FID) en (3) biomarkers bevestigd door massaspectroscopie (MS), indien nodig.

Bijlage 7 Meetnauwkeurigheid, meetmethode en doel

Meetnauwkeurigheid, meetmethode en doel

De gewenste meetnauwkeurigheid van de afzonderlijke indicatoren van de nulmeting bodemkwaliteit hangt uiteindelijk af van het doel van de metingen. Als door middel van de nulmeting een globaal beeld dient te worden verkregen van de bodemgesteldheid, kan aan de meetnauwkeurigheid een lagere eis worden gesteld dan als men bijvoorbeeld elke 5 of 10 jaar nauwkeurig wil bepalen of de waarde van bepaalde indicatoren is verbeterd of verslechterd. In het laatste geval zal een hogere mogelijke meetnauwkeurigheid vereist zijn.

De meetnauwkeurigheid hangt met een aantal zaken samen, o.a. de gebruikte meetmethode en de heersende veld- en weersomstandigheden. De klassieke, of standaard, meetmethoden zijn doorgaans het nauwkeurigst, worden veelal in het laboratorium uitgevoerd en zijn soms arbeidsintensieve methoden die daardoor wat kostbaarder zijn.

De moderne meetmethoden, zoals *Near Infrared Spectroscopy* (NIRS), zijn snel, goedkoop maar vragen om zorgvuldige kalibratie, validatie en publicatie van gekalibreerde NIRS-resultaten. De nauwkeurigheid hangt sterk af van de kalibratie: het aantal vergelijkingen met klassieke metingen. Bovendien heeft NIRS-meettechniek een inherente onnauwkeurigheid in de vorm van de correlatie met de klassieke meting, waardoor deze techniek nooit nauwkeuriger kan zijn dan de klassieke meting waarmee zij is gecorreleerd. Ongeacht het gebruik van klassieke meetmethoden of NIRS speelt bij het nauwkeurig vaststellen van verschillen ook de natuurlijke variatie in het veld en de invloed van het weer en de weershistorie altijd een rol (zie ook: Van den Elsen et al., 2019, pag. 57 e.v.).

Bijlage 8 Afhankelijkheid van indicatoren voor metacondities

Tabel 40 Indicatie van de afhankelijkheid tussen indicatoren voor bodemgezondheid enerzijds en de metacondities bodemtype, bodemvochtgehalte en bodemtemperatuur anderzijds. ● = afhankelijk; ●● = sterk afhankelijk; ●●● = zeer sterk afhankelijk. Lege cellen indiceren geen afhankelijkheid. A = absoluut noodzakelijk, '+' = add-on.

	Indicator	Afhankelijkheid bodemtype	Afhankelijkheid bodemvochtgehalte	Afhankelijkheid bodemtemperatuur	
F	A Watervasthoudend vermogen	● (klei)	● (klei)		
	A Aggregaatstabiliteit	●	●	●	
	A Textuur	●			
	A Indringingsweerstand	●●●	●●●		
	+ Doorlatendheid bij verzadiging, infiltratiecapaciteit	●			
	+ Droge bulkdichtheid	● (klei)	● (klei)		
C	A Organischestofgehalte SOM/OC	●●●			
	A pH	●●●			
	A	Beschikbaar N	●	● (indirect)	● (indirect)
		Beschikbaar P	●	● (indirect)	● (indirect)
		Beschikbaar K	●		
	+ EC (extract)		●●	●●	
	+	Metalen actueel	●●		
		Metalen potentieel	●		
+ Aanvullende macro- en micronutriënten	●				
B	A Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN)	●	●	●	
	A Heet water extraheerbaar stikstof (HWC) of Actief koolstof (permanganaat oxideerbaar C) POXC	●	●	●	
	A Nematoden (aantallen en diversiteit)	●	●	●	
	+ Bacteriële biomassa	●	●	●	
	+ Schimmelbiomassa	●	●	●	
	+ Regenwormen (aantallen en diversiteit)	●	●	●	

= Wordt gezien als één parameter

Bron van bovenstaande tabel: Van den Elsen et al., 2019.

NB De indicatoren in bovenstaande tabel komen niet 100% overeen met de BLN-indicatorenlijst.

Bijlage 9 Screening van de penetrologger-gegevens uit de CC-NL-dataset

Inleiding

De indringingsweerstand van de bodem of ondiepe ondergrond, zoals die gemeten wordt met de penetrologger, is een maat voor de compactie of de draagkracht van de grond. In de landbouw kan een (te) hoge indringingsweerstand problemen opleveren voor het gewas. Een hoge mate van compactie kan de beworteling van gewassen en de zuurstofvoorziening van de wortels belemmeren. Een te lage indringingsweerstand geeft echter te weinig draagkracht voor betreding door vee en berijding met machines.

De meetgegevens die zijn verzameld in het kader van het CC-NL-project omvatten penetrologger-metingen van elke meetlocatie. De penetrologger is een apparaat dat speciaal ontwikkeld is om het indringingsweerstandprofiel van de bodem te meten en de resultaten automatisch op te slaan voor verdere bewerking op de pc. In het CC-NL-project zijn in verticale richting indringingsweerstand gemeten tot een diepte van 80 cm. De penetrologger geeft per meting de Cone Index (CI) weer. In het CC-NL-project zijn elke centimeter CI-waarden opgeslagen, waardoor per locatie een diepteprofiel van 80 CI-metwaarden is verzameld.

Als richtlijn voor een goede bewortelbaarheid kan worden aangehouden dat wortels een kracht van niet meer dan 1 MPa zullen uitoefenen op bodemdeeltjes. Echter, wortels maken tijdens de groei gebruik van macro-poriën en scheuren in de grond, terwijl ze bovendien om stenen heen groeien. De penetrologger kan dat niet, waardoor de kritieke grens voor wortelgroei hoger ligt dan 1 MPa zoals gemeten door de penetrologger. Volgens Locher & De Bakker (1990) kan ongestoorde wortelgroei plaatsvinden bij indringingsweerstand lager dan 1,5 MPa. Een waarde van circa 3 MPa kan worden beschouwd als de bovengrens voor wortelgroei; is de indringingsweerstand hoger, dan kunnen wortels niet doordringen. Een verminderde beworteling (indringingsweerstand van 1,5-3 MPa) leidt tot een verminderde water- en nutriëntenopname, met als gevolg een verminderde gewasopbrengst.

De indringingsweerstand van de bodem is onder meer gerelateerd aan het actuele vochtgehalte van de bodem: hoe hoger het bodemvochtgehalte, hoe lager de indringingsweerstand. De vochttoestand van de bodem, en dus de bijbehorende drukhoogte, zorgt voor een bepaalde capillaire kracht die de bodemdeeltjes 'naar elkaar toe trekt' en daardoor zorgt voor een bepaalde weerstand voor de penetrologger conus. Het is dus van belang dat, indien men indringingsweerstand van verschillende perioden met elkaar wil vergelijken (bijvoorbeeld voor en na een bepaalde grondbewerking), de bodemvochtomstandigheden tijdens de metingen vergelijkbaar zijn. In de praktijk is het zorgen voor vergelijkbare vochtomstandigheden het eenvoudigst door de indringingsweerstand bij veldcapaciteit (pF 2, h = -100 cm) te bepalen. Door een bepaalde bandbreedte rond de h = -100 cm te kiezen, zorgen we ervoor dat deze bandbreedte in capillaire krachten bij verschillende bodemtypen gelijk zullen zijn.

Vochtgehalten van de bodem tijdens de CC-NL-meetcampagne

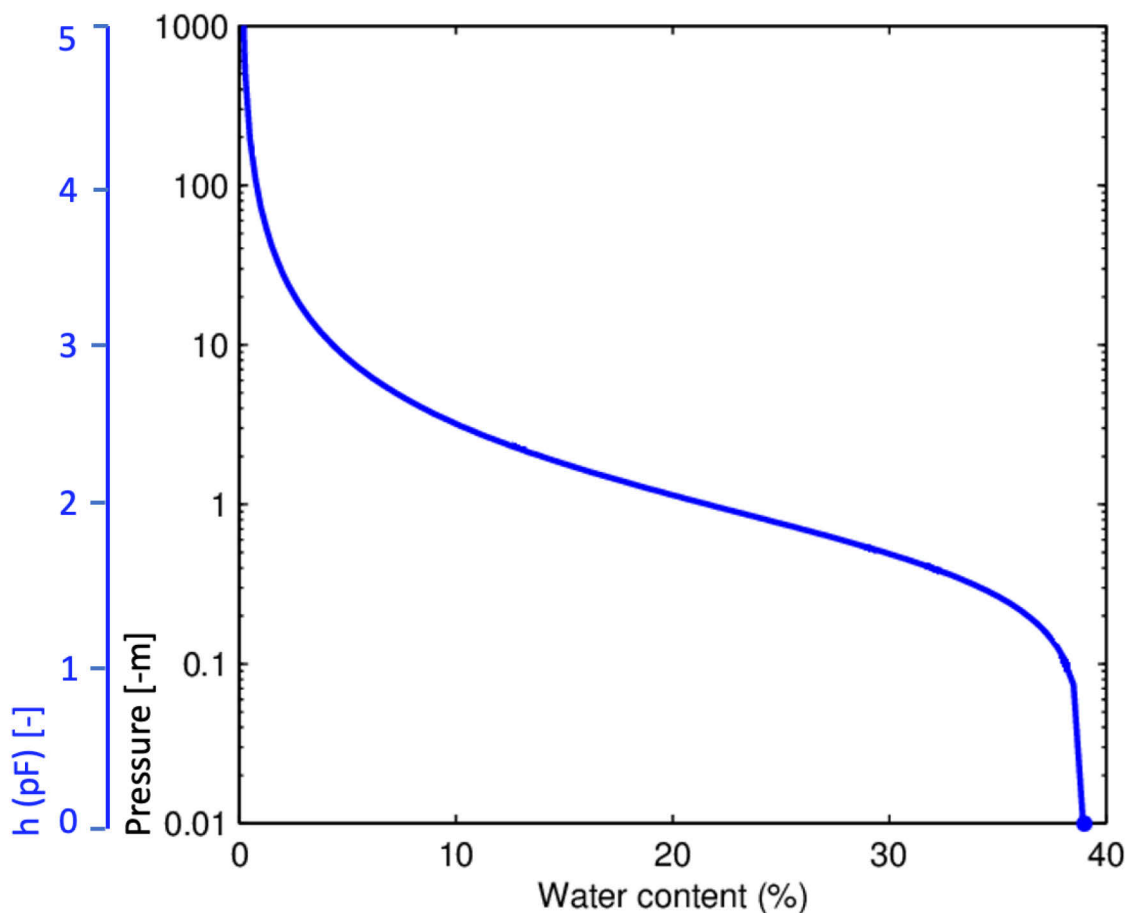
Tijdens het meten van de indringingsweerstand is ook het vochtgehalte van de bodem gemeten; op de penetrologger wordt een Thetaprobe aangesloten waarmee het volumetrisch bodemvochtgehalte van de bovenste 6 cm van het profiel wordt gemeten, het meetvolume van de sensor is ca. 75 cm³. Dit om een indruk te krijgen of aan de eis van een vochtstatus rond veldcapaciteit (drukhoogte h = -100 cm ofwel pF 2) is voldaan. Omdat nooit *exact* kan worden voldaan aan de vochtstatus van 'veldcapaciteit' en de meting praktisch bruikbaar te houden, moet een bandbreedte worden bepaald waarbinnen de vochtstatus zich mag bevinden om vergelijkbare waarden voor de indringingsweerstand te krijgen. Om de drukhoogte h te bepalen, moet deze worden afgeleid uit het gemeten bodemvochtgehalte.

Het verband tussen watergehalte en drukhoogte: de waterretentiecurve

De drukhoogte of waterspanning (h) geeft de energiestatus van het water in de poriën in de bodem weer. De drukhoogte wordt veroorzaakt door de capillaire krachten tussen de bodemdeeltjes. Als eenheid van drukhoogte wordt centimeter waterkolom gebruikt; de kracht die een waterkolom op een vlak zou uitoefenen – deze kracht kan zowel positief als negatief zijn.

Omdat we het hebben over de capillaire werking in een bodem die niet met water verzadigd is, is deze drukhoogte per definitie negatief. Omdat het drukhoogtebereik van een bodem erg groot is en het lastig is deze op een lineaire schaal in een grafiek weer te geven, wordt van de $|h\text{-waarde [cm]}|$ vaak de logaritme genomen. Dit wordt de pF-waarde genoemd. Als $h = -100$ cm, dan wordt de bijbehorende pF-waarde $\log(|-100|) = 2$.

Er is een functioneel verband tussen de drukhoogte (onderdruk van het water in de poriën) en de hoeveelheid water in de poriën (het vochtgehalte van de bodem). De samenhang tussen de drukhoogte en het vochtgehalte van de bodem is karakteristiek voor de poriëngrootte-verdeling en opbouw van een bodem en is daardoor afhankelijk van het bodemtype. Deze samenhang wordt vastgelegd in de zogenaamde waterretentiekarakteristiek (ook wel 'pF-curve' genoemd). Figuur 41 laat een voorbeeld-pF-curve van een bodem zien, met op de x-as het volumetrisch bodemvochtgehalte, op de y-as de bijbehorende drukhoogte in [m] en in $\log(|h\text{ [cm]}|)$ de pF-waarde (let wel: de pF-waarde wordt berekend aan de hand van de eenheid centimeters, niet meters).



Figuur 41 De waterretentiekarakteristiek van een bodem. Op de x-as het volumetrisch watergehalte, op de y-as de bijbehorende drukhoogte in [-m] (zwart) en in $\log(|h\text{ [cm]}|)$, de pF-waarde (blauw).

Omdat de meetcampagne voor het CC-NL-project werd gehouden gedurende de droge zomer van 2018, is aan de eis van de vochtstatus van de bodems ($pF = 2$) meestal niet voldaan, waardoor niet

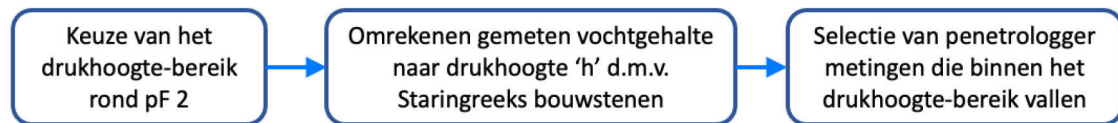
alle metingen bruikbaar zijn; immers, de bodemprofielen waren vanwege het gebrek aan neerslag voor een deel tot op zekere diepte uitgedroogd. De methode die is gebruikt om de bruikbaarheid van de penetrologgermetingen te bepalen, wordt hieronder verder uitgelegd.

Screening van penetrologger-metgegevens en keuze van pF-bandbreedte

Zoals eerder vastgesteld, is het niet mogelijk de indringingsweerstand te meten terwijl *exact* aan de voorwaarde is voldaan aan de bodemvochtstatus $pF = 2$. Er zal een bepaalde *bandbreedte* rond die bodemvochtstatus moeten worden aangehouden. Als deze bandbreedte is bepaald, kan worden gekeken welke metingen uit de CC-NL-dataset binnen deze grenzen vallen, en dus kunnen worden gebruikt.

Werkwijze voor de beoordeling van penetrologger-metgegevens

Om de *valide* penetrologger-metingen te kunnen onderscheiden van de *niet-valide* metingen (gedaan onder te droge of te natte omstandigheden), gaan we als volgt te werk (Figuur 42):



Figuur 42 Werkwijze voor het selecteren van valide penetrologger-metingen.

In stap 1 wordt een bepaald drukhoogte-bandbreedte of -bereik rond $h = -100$ cm ($pF = 2$) gekozen. In dit geval worden drie verschillende drukhoogte-bereiken bekeken (zie ook Tabel 19). Vervolgens wordt in stap 2 elke afzonderlijke bodemvochtmeting omgerekend naar de bijbehorende drukhoogte h . Dit is nodig om te kunnen beoordelen of de penetrologger-meting binnen het drukhoogte-bereik van stap 1 valt. Bij dit omrekenen van vochtgehalte naar drukhoogte h wordt gebruikgemaakt van de waterretentiecurve van de betreffende bodemtypen. Deze informatie wordt verkregen d.m.v. zogenaamde *Staringreeks-bouwstenen* (meer detail hierover verderop in de tekst). Om te kunnen selecteren op valide penetrologger-metingen wordt in stap 3 gekeken of de drukhoogte h behorende bij elke penetrologger-meting binnen het berekende drukhoogte-bereik valt. De metingen die buiten het geselecteerde drukhoogte-bereik vallen, vallen af.

Hoe zit dat met drukhoogte-bereik en vochtgehalte-bereik?

Het kiezen van een bepaald drukhoogte-bereik (of drukhoogte-bandbreedte) resulteert in een ander vochtgehalte-bereik per bodemtype, omdat de bijbehorende pF -curven een andere steilheid hebben in het gebied rond $h = -100$ cm. Een en ander is gevisualiseerd in Figuur 43: in deze figuur is de pF -curve van vier verschillende bodemtypen weergegeven (klei, leem, zavel ('Clay Loam') en veen). De gestippelde gele lijn geeft $h = -100$ cm en de gele band geeft het drukhoogte-bereik aan. Deze gekozen bandbreedte heeft een pF -ondergrens en -bovengrens die, geprojecteerd op elke pF -curve van een bodem, een bodemvochtgehalte-bereik geeft waarbinnen de betreffende bodem zich mag bevinden voor een valide penetrologger-meting. Merk op dat hoe steiler de pF -curve van de betreffende bodem is, hoe kleiner het acceptabele bodemvochtgehalte-bereik is (bv. het vochtgehalte-bereik van de zandgrond in Figuur 43 is kleiner dan het vochtgehalte-bereik bij de veengrond; m.a.w. de veengrond is 'toleranter' als wordt gekozen voor dezelfde h -bandbreedte).

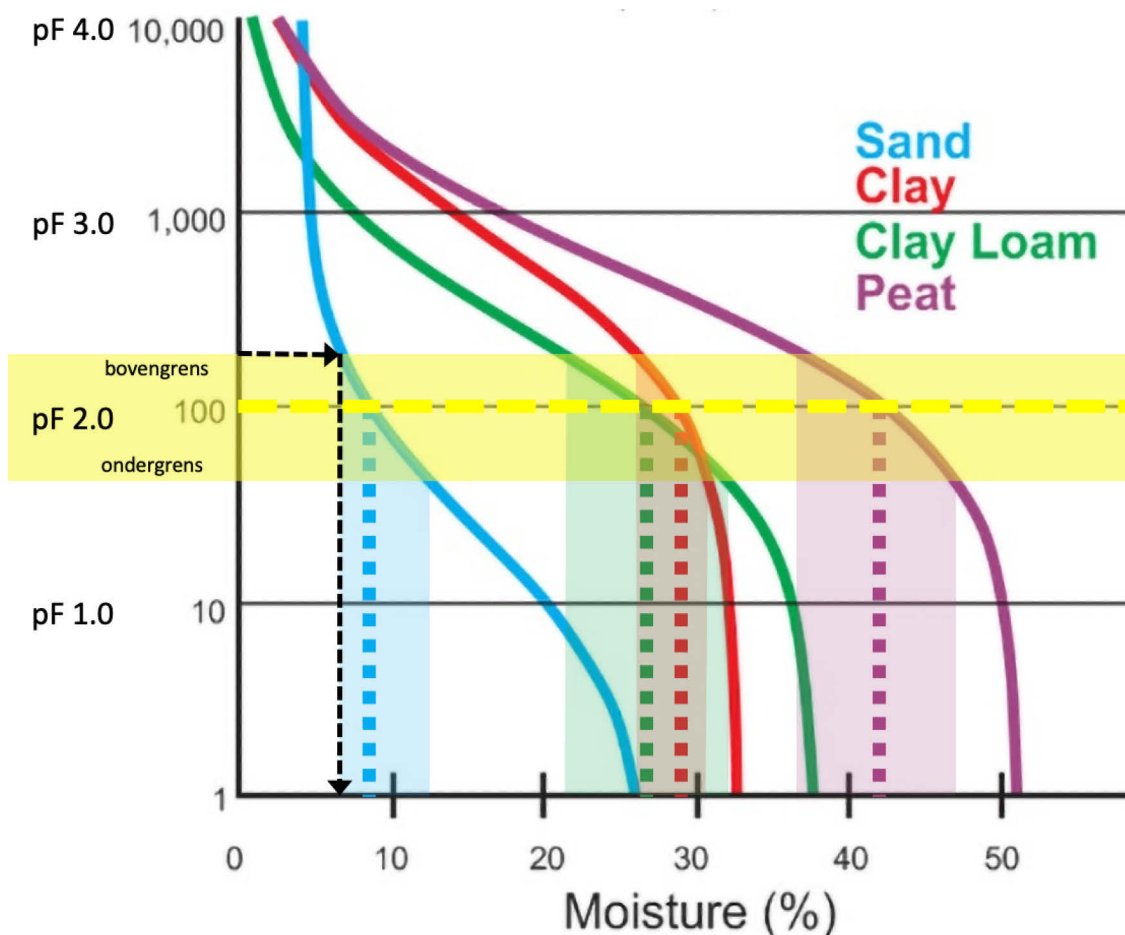
Als we ervan uitgaan dat er sprake is van een hangwaterprofiel (het volumetrisch vochtgehalte neemt toe met de diepte, het water zakt uit in het profiel) is er sowieso al sprake van een drukhoogteverschil (h) van 80 cm in het profiel waarin de indringingsweerstand gemeten wordt (van het oppervlak tot 80 cm diep). Met dit verschil in drukhoogte moet dus al rekening worden gehouden bij het bepalen van de drukhoogtebandbreedte door over de gehele profieldiepte het watergehalte te meten.

Waarom is het logischer om voor een bepaald drukhoogte-bereik te kiezen boven een vast bereik in het bodemvochtgehalte?

Deze vraag proberen we hieronder te beantwoorden. De indringingsweerstand van een bodem, waar we uiteindelijk in geïnteresseerd zijn, hangt af van:

- De granulaire samenstelling van de bodem (een andere korrelgrootteverdeling zorgt voor een andere weerstand van de penetrolgger conus);
- De dichtheid van de bodem (dichter op elkaar gepakte bodemdeeltje zorgen voor meer weerstand van de penetrolgger conus);
- Het vochtgehalte van de bodem (veranderende wrijving voor de penetrolgger conus en andere capillaire krachten – zie hieronder).

De eerste twee variabelen zijn voor een bepaald bodemprofiel een gegeven, die niet of nauwelijks zullen variëren op korte termijn; de waarden voor deze twee variabelen willen we juist meten. Het vochtgehalte van de bodem, de derde variabele, is hoog variabel in plaats en tijd en variaties voor indringingsweerstand resulterende uit dit bodemvochtgehaltes willen we zo veel mogelijk *uitsluiten* door bij $h = -100$ cm te meten. Toch zullen we een bepaalde tolerantie in deze drukhoogte moeten overwegen, omdat de vochttoestand van de bodem in het veld nooit exact overeenkomt met $h = -100$ cm. Door een bepaalde bandbreedte rond de $h = -100$ cm te kiezen, zorgen we ervoor dat deze bandbreedte in capillaire krachten bij verschillende bodemtypen gelijk zullen zijn. Als we hadden gekozen voor een vaste bodemvochtgehalte-bandbreedte, zouden we voorbijgaan aan de bandbreedte van de capillaire krachten-component, die dan voor verschillende grondsoorten anders zou zijn geweest, wat niet wenselijk is.



Figuur 43 Een voorbeeld van vier typische pF-curven voor zand, klei, kleileem en veen. Een bandbreedte in het pF-bereik levert een bepaalde bandbreedte in het vochtgehalte op. Merk op dat een identieke bandbreedte in het pF-bereik (gele band) een verschillende bandbreedte in het bodemvochtgehalte voor verschillende bodemtypen oplevert. Blauw = zand, rood = klei, groen = kleileem, paars = veen.

Zoals uit Figuur 43 kan worden afgeleid, leveren verschillende keuzen voor de drukhoogte-bandbreedte (lichtgele gebied) verschillende bodemvochtgehalte-bandbreedten op (de blauwe, groene, rode en paarse gebieden) en daardoor een verschillend aantal valide penetrologger-metingen.

De volgende vraag die nu gesteld kan worden is: welke bandbreedte rond $pF = 2$ kan worden gebruikt als criterium voor acceptabele penetrologger-metingen? Hiervoor is namelijk geen norm vastgesteld.

In Tabel 25 is een aantal varianten voor een drukhoogte-bandbreedte uitgewerkt; de keuze voor de bandbreedten 1...3 (± 50 cm, factor 2, factor 5) is hier arbitrair en dient verder te worden onderzocht.

Tabel 25 Gebruikte drukhoogte-bandbreedten in [cm] en pF [-]. Bandbreedte (vochtcriterium) 1: $h = -100$ cm + en - 50 cm (-50 cm....-150 cm). Bandbreedte (vochtcriterium) 2: $h = -100$ cm, factor 2 (-50 cm....-200 cm). Bandbreedte (vochtcriterium) 3: $h = -100$ cm, factor 5 (-20 cm....-500 cm).

	gewenste drukhoogte	ondergrens (natter)	bovengrens (droger)	
Bandbreedte 1 (+/- 50 cm)	2.0	1.70	2.18	pF [-]
	-100	-50	-150	h [cm]
Bandbreedte 2 (factor 2)	2.0	1.70	2.30	pF [-]
	-100	-50	-200	h [cm]
Bandbreedte 3 (factor 5)	2.0	1.30	2.70	pF [-]
	-100	-20	-500	h [cm]

Vertalen van drukhoogte-bandbreedten naar vochtgehalte-bandbreedten voor verschillende bodemtypen

Zoals eerder gesteld, moeten we – als we valide penetrologger-metingen willen selecteren – de drukhoogten per penetrologgermeting bepalen en kijken of deze drukhoogte binnen deze grenzen valt. Dit moeten we per bodemtype afzonderlijk doen, omdat de waterretentiecurven per bodemtype verschillen. Om dit te doen, worden Staringreeks-bouwstenen gebruikt uit de Staringreeks; op basis van de coördinaten van de penetrologger meting is 1 van de 368 standaard bodemprofielen van de bodemkaart af te leiden. Hiervoor zijn dan de bodemlagen in termen van Staringreeks-bouwstenen bekend (Heinen et al., 2020). Dan is dus per diepte (0...30 cm, 30...80 cm) te berekenen wat de drukhoogte is bij de gemeten watergehaltes in die laag. De bijbehorende drukhoogte h kan vervolgens worden berekend met de zogenaamde van Genuchten Vergelijking 1 (Van Genuchten, 1980), waarvoor de Staringreeks pF -curven zijn geparametriseerd.

$$h = -\frac{1}{\alpha} \left(\left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{-1/m} - 1 \right)^{1/n}$$

Vergelijking 1 Berekenen van drukhoogte h bij een gemeten vochtgehalte θ : h =drukhoogte [cm], θ = volumetrisch vochtgehalte [m^3/m^3], θ_r = residueel vochtgehalte [m^3/m^3], θ_s = vochtgehalte bij verzadiging [m^3/m^3], α = vormparameter [cm^{-1}], n = vormparameter [$-$], m = vormparameter $m = (1-1/n)$ [$-$] (Van Genuchten, 1980).

Resultaten van penetrologger-metingen filteren op drukhoogte-bandbreedte

In deze laatste stap gaan we zien wat het oplevert als we de drie verschillende drukhoogte-bandbreedten die we in Tabel 19 hebben gedefinieerd, gebruiken om te kijken welke penetrologger-metingen wel en niet acceptabel zijn.

De totale meetset omvat 4990 penetrologger-metingen met bijbehorende vochtgehaltemetingen die zijn omgezet naar drukhoogtewaarden en vergeleken met de klassegrenzen van Bandbreedten 1, 2 en 3. De resultaten van deze vergelijking zijn te zien in Tabel 20.

Tabel 26 Resultaten van het vergelijken van de penetrologger-metingen met de drukhoogte-bandbreedten 1, 2 en 3.

	gewenste drukhoogte [cm]	ondergrens [cm] (natter)	bovengrens [cm] (droger)	Binnen de bandbreedte [n], %	Te nat [n], %	Te droog [n], %
Bandbreedte 1 (+/- 50 cm)	-100.0	-50	-150	486 9%	326 7%	4196 84%
Bandbreedte 2 (factor 2)	-100.0	-50	-200	609 12%	326 7%	4055 81%
Bandbreedte 3 (factor 5)	-100.0	-20	-500	1695 34%	177 4%	3118 61%

Voor zowel drukhoogte bandbreedten 1, 2 als 3 is te zien dat, welke grenzen ook worden genomen rond drukhoogte $h = -100$ cm, de meeste metingen te droog uitvallen (respectievelijk 84%, 81% en 61%), tegen respectievelijk 7%, 7% en 4% te natte metingen, hetgeen overeenkomt met de constatering dat de metingen zijn gedaan aan het einde van een lange droogteperiode in de zomer van 2018. Het aantal metingen dat voor de verschillende drukhoogte-bandbreedten als valide wordt beoordeeld, is voor de bandbreedten 1, 2 en 3 respectievelijk 9%, 12% en 34%.

Vooralsnog zullen we de resultaten van de penetrologger-metingen die zijn getoetst aan de hand van de drie drukhoogte-bandbreedten alle drie weergeven in de kaarten van Bijlage 3 en daarbij vermelden hoe deze zijn bepaald.

Vervolgonderzoek

Welke drukhoogte-bandbreedte de geschiktste of meest valide is om te worden gebruikt, kan op dit moment niet worden gezegd; dit vergt meer fundamenteel onderzoek. Hiervoor zou, per bodemtype, bijvoorbeeld kunnen worden uitgezocht hoe groot de capillaire krachten zijn die uitgeoefend worden zoals beschreven wordt in punt c op pagina 97. Aan de hand daarvan kan een meer gefundeerde afweging gemaakt worden hoe groot de drukhoogte-bandbreedte zou moeten worden.

Referenties

- Heinen, M., Bakker, G., & Wösten, J. H. M. (2020). *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks: Update 2018*. (Wageningen Environmental Research rapport; No. 2978). Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/512761>
- Locher, W. P., & Bakker, H. de. (1990). *Bodemkunde van Nederland, deel 1: algemene bodemkunde*. Malmberg, Den Bosch.
- van Genuchten, M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal* 44: 892-898.

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3048
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers (5.500 fte) en 12.500 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



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



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Rapport 3048
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers (5.000 fte) en 12.500 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

