ROYAL A-WARE KLIMAATNEUTRALE MELK

BETER VOOR PROGRAMMA

NULMETING DEELNEMERS “SOIL CARBON MONITORING”

ROYAL A-WARE KLIMAATNEUTRALE MELK, BETER VOOR PROGRAMMA: NULMETING DEELNEMERS “SOIL CARBON MONITORING”

Uitgebracht aan:	Royal A-ware Heerenveen
Uitgebracht door:	Aequator Groen & Ruimte bv Postbus 1171 3840 BD Harderwijk
Auteur(s):	Stefan Ploum Joani Kannekens Peter Sloot
Versie:	definitief
Datum:	03-11-2022
Gecontroleerd door:	Peter Sloot

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING 4

1 PROGRAMMA BESCHRIJVING 5

1.1 Aanleiding en doel van het programma 5
1.2 Kennisachtergrond 5
1.3 Scope 6

2 METHODE SAMENVATTING 7

3 RESULTATEN 9

3.1 Koolstofvoorraad 9
3.1.1Koolstofvoorraad per bodemtype 10
3.1.2Koolstofvoorraad per grondwatertoestand 11
3.2 Betrouwbaarheid 11
3.2.1Groepsomvang 11
3.2.2Meetonzekerheden 12
3.3 Vergelijking met landelijke data 14
3.3.1Tol-Leenders et al. 2019 14
3.3.2Natuurlijk Kapitaal 2014 15

4 CONCLUSIE 17

5 DISCUSSIE 17

5.1 Koolstofvoorraad 17
5.2 Betrouwbaarheid 18
5.3 Landelijke vergelijking 18

6 LITERATUURLIJST 19

7 BIJLAGE(S) 20

SAMENVATTING

Dit document presenteert de huidige bodemkoolstofvoorraad van deelnemers aan het ketenprogramma Beter Voor Koe Natuur & Boer van Royal A-ware en Albert Heijn. Dit programma heeft als doel een gesloten, duurzamere en transparante productieketen te realiseren en zo bij te dragen aan een duurzamer kaas- en zuivelschap. De berekende koolstofvoorraden van de deelnemers dienen, samen met een controlegroep, als nulmeting voor het soil carbon monitor programma binnen het Beter Voor programma. Hiermee kan de komende jaren in tijdstappen van 3 jaar worden vastgesteld wat het effect is van het Beter Voor programma op de koolstofvoorraad in de bovengrond (0-30 cm) en ondergrond (30-60 cm). De aanpak bestaat enerzijds uit het verminderen van uitstoot van broeikasgassen van melkveebedrijven en anderzijds uit vastleggen van koolstof in grasland door niet te scheuren (ploegen). Door niet te scheuren kan gras dieper wortelen en krijgt de bodem en het bodemleven rust. Hierdoor verbetert doorgaans de water- en nutriëntenhuishouding, en bouwt organische stof zich op in de bodem. Die opbouw van organische stof zorgt ervoor dat koolstof in de bodem wordt vastgelegd.

De huidige koolstofvoorraden van de tot nu toe bemonsterde deelnemers (4438 ha, 980 percelen, 235 deelnemers) zijn vastgesteld op 814.297 (±21) ton C in de bovengrond en 435.070 (± 25) ton C in de ondergrond. Totaal komt dit neer op 1.249.367 (±16) ton C. De bovengrondvoorraden zijn vergeleken met landelijke cijfers, en daaruit blijkt dat de voorraad van de in dit onderzoek onderzochte percelen 1,32 maal hoger is dan de voorraad van landelijke modeldata. Voor de minerale gronden is het organische stof gehalte gemiddeld 8,96 (±0,19) %, wat 2,18 maal zo hoog is ten opzichte van een landelijk gemiddelde van 4,11 (±0,13) % . Op basis van deze gegevens kan worden gesteld dat er relatief veel koolstof opgeslagen is in de bodems van de deelnemers van het Beter Voor programma. De metingen van de controlegroep en de herhalingsmetingen over drie jaar zullen uitwijzen hoe deze voorraad verandert over de tijd en welk effect het Beter Voor programma heeft op de bodemkoolstofvoorraad.

1 PROGRAMMA BESCHRIJVING

1.1 Aanleiding en doel van het programma

In 2017 hebben Royal A-ware en Albert Heijn vanuit een gezamenlijke visie een programma ontwikkeld om duurzamere stappen in de Nederlandse melkveehouderij te stimuleren en zo duurzamere zuivelproducten te maken (AH 2020a). Het ketenprogramma Beter Voor Koe Natuur & Boer (hierna te noemen Beter Voor programma) bedrijfslogo garandeert dat een product is gemaakt van melk die voldoet aan de eisen van het Beter Voor programma. De melk wordt apart opgehaald bij de melkveehouder en als aparte melkstroom verwerkt tot zuivelproducten en kaas voor een aantal merken van Albert Heijn (AH 2020a, AH, 2020b). Aan het programma nemen melkveehouders deel die zijn aangesloten bij Royal A-ware en Zuivelcoöperatie Deltamilk. Het doel van het programma is om een gesloten, duurzamere en transparante productie keten te realiseren en zo bij te dragen aan een duurzamer kaas- en zuivelschap. Inmiddels leveren enkele honderden melkveehouders melk binnen het programma. Deze melk wordt exclusief voor Albert Heijn verwerkt tot zuivelproducten met het “Beter Voor Koe, Natuur en Boer” logo. De producten variëren van melk, karnemelk, yoghurts tot Goudse en Zaanlander Kaas. De inspanningen die de melkveehouders doen worden beloond met een premie boven op de melkprijs.

Het Beter Voor programma streeft er naar om de bedrijfsvoering van melkveehouders in balans te brengen met de omgeving en dierenwelzijn. Hierbij zijn klimaatimpact, biodiversiteit en het inkomen van de melkveehouder centrale aandachtspunten. Voor 2022-2024 ligt de focus op het streven naar klimaat neutrale melk van de boerderij, om zo bij te dragen aan het behalen van klimaatdoelstellingen (AH 2020a, AH, 2020b, AH 2021). Dit wordt bewerkstelligd vanuit twee invalshoeken: door de uitstoot van de verschillende broeikasgassen op melkveebedrijven te verminderen en door CO2 uitstoot te compenseren middels vastlegging van koolstof in de bodem. Het streven is om een koolstofvastlegging in de bodem van de Beter Voor -melkveehouders te behalen die de Carbon footprint of koolstofvoetafdruk (CBS 2022) van de geleverde melk benadert. Dit document behandelt het deel van het programma dat betrekking heeft op de vastlegging van koolstof in de bodem.

1.2 Kennisachtergrond

De landbouwsector draagt ongeveer 10 % bij aan de uitstoot van broeikasgassen in Nederland (Ruyssenaars et al., 2020). Binnen het Klimaatakkoord is er een doelstelling om in 2030 een koolstofvastlegging te realiseren van 0,4 – 0,6 Mt CO2 per jaar in landbouwbodems (Staps et al. 2021). Grasland kan daarbij een belangrijke rol spelen: het niet-scheuren van grasland kan namelijk de opbouw van organische stof in de bodem bevorderen (Staps et al. 2021). Binnen de melkveehouderijsector is er potentie om CO2 uitstoot te compenseren door het vastleggen van koolstof in de landbouwbodems, en daarbij nutriëntenhuishouding en waterhuishouding van de grond positief te beïnvloeden (Lesschen et al. 2020). Er kan onderscheid worden gemaakt tussen de koolstofvastleggingspotentiaal in de bovengrond (0-30) en de bodemlagen daaronder: er kan makkelijker koolstofvastlegging plaatsvinden in de bovengrond maar deze is kwetsbaar voor verstoring en er is minder potentiaal in de ondergrond maar deze is minder kwetsbaar voor verstoring. In de ondergrond wordt aangenomen dat tussen de 30 en 50 cm diepte de meeste vastlegging plaatsvindt (Iwema 2019).

Organische stof (OS) in de bodem bestaat ongeveer de helft uit koolstof, en ontstaat door vertering van dier- en plantresten. Toename in OS bevordert bodemleven, bodemstructuur, en watervasthoudend vermogen. De opbouw van organische stof in de bodem is een langzaam proces, en afhankelijk van omgevingsfactoren

en biologische factoren die variëren in de tijd en ruimte. Factoren die meespelen zijn: klimaat, landschap, textuur van de bodem, aanvoer van organische stof en verstoringen (Dick, 2004), en tevens de leeftijd van het grasland (Iepema, 2022). Over de diepte van een bodem is er doorgaans een afnemend percentage OS, omdat bodemleven en plantenwortels zich met name bevinden in de aerobe zone van de bodem. Deze bovenlaag is tevens gevoelig voor oppervlakteverstoringen. Bewerking van de bovenlaag van de bodem (0-30 cm) kan bijvoorbeeld OS opbouw verstoren, en daarbij zorgen voor uitstoot van de koolstof naar de atmosfeer. In dit kader is vastlegging van koolstof in diepere bodemlagen een mogelijk duurzamer alternatief voor koolstofvastlegging over langere termijn. Door middel van verandering in de bedrijfsvoering (bijvoorbeeld niet-scheuren van grasland) van melkveebedrijven kan de opbouw van OS worden bevorderd.

Om mogelijke opbouw van koolstof in de bodem te monitoren en te vergelijken tussen locaties, bodemlagen en verschillende tijdstippen is een gedegen meetopzet nodig (Allen et al., 2010). Om het effect te kunnen meten van systeemveranderingen (een set van (management) maatregelen) op koolstofvastlegging in de bodem, zoals het Beter Voor programma, is het essentieel om een meetopzet te gebruiken waarin onderscheid kan worden gemaakt tussen achtergrondeffecten en de effecten van een dergelijke systeemverandering. Een recent voorbeeld met vergelijkbare doelstellingen en meetopzet is het methodedocument van Staps et al. (2021).

1.3 Scope

Dit document presenteert de nulmeting van de deelnemersgroep binnen het Beter Voor Koe Natuur en Boer programma van Royal A-ware en Albert Heijn. Het doel van de nulmeting is het bepalen van de huidige koolstofvoorraad in de bodem aan de hand van bodemmonsters, en het inzichtelijk maken welke factoren belangrijk zijn bij deze bepaling. Daarbij worden vier factoren belicht waarvan bekend is dat ze de bodemkoolstofvoorraad beïnvloeden: de bodemlagen, het bodemtype, grondwatertoestand en meetonzekerheden. Daarnaast worden de resultaten in perspectief geplaatst met openbaar beschikbare, Nederland-dekkende modeldata van de bodemkoolstofvoorraad.

In de eerste helft van 2023 worden tevens de koolstofvoorraden van een controlegroep berekend aan de hand van bodemmonsters, en met een herhalingstijd van drie jaar worden vervolgmetingen uitgevoerd om de verandering in koolstofvoorraad te monitoren. Met deze aanpak wordt inzichtelijk wat de effecten zijn van het Beter Voor programma op koolstofvastlegging in grasland. Daarnaast is er een programma opgezet voor het monitoren van de naleving van maatregelen. De methodes die worden gebruikt voor het monitoren van koolstofvastlegging in de bodem en het monitoren van de naleving van maatregelen worden beschreven in een separaat methode document, opgeleverd voor eind 2022. Hierin komen de volgende aspecten aanbod: het uitleggen van de aanpak, verzameling en analyse van data, het benoemen van onzekerheden, keuzes en randvoorwaarden en het benoemen van de rolverdeling van de verschillende partijen. Een aantal aspecten uit het methodedocument zijn opgenomen in dit rapport om de resultaten te kunnen duiden.

2 METHODE SAMENVATTING

Voor het bepalen van de koolstofvoorraad zijn in dit stadium bij 235 deelnemende bedrijven 1658 bodemmonsters gestoken en geanalyseerd door Eurofins. De 980 bemonsterde percelen zijn door Aequator geselecteerd om een representatief beeld te krijgen van de koolstofvoorraad. Daarbij is de variabiliteit in bodemtype (klei, veen, zand) en grondwatertoestand (droog, nat, gemiddeld) meegenomen (Bijlage A). Verder is er onderscheid gemaakt tussen de bodemlagen 0-30 centimeter (de bovengrond) en 30-60 centimeter (de ondergrond).

Voor de berekening van koolstofvoorraden is er onder andere gebruik gemaakt van twee parameters die door het Eurofins laboratorium zijn verkregen: de bepaling van organische stof gehalten, en bulkdichtheidsbepaling. De organische stof gehalten zijn geanalyseerd met een gloeiverlies methode (GLV) en een NIR (near infrared) methode (Eurofins 2022). De bulkdichtheid wordt berekend met behulp van de NIR methode. Voor het omrekenen van organische stof gehalten naar organische koolstof gehalten is een omrekenfactor van 0.5 gebruikt (Tol-Leenders et al. 2019).

De data verkregen uit de bemonstering en lab analyse is gebruikt om voor ieder geanalyseerd monster de hoeveelheid koolstof (Cbodem) in gewicht per oppervlak (ton C/ha) te berekenen in de bovenste 60 cm van de bodem:

Vergelijking 1

$$C=C*Bd*D*O$$

Hierbij is Cperc het percentage organische stof uit de OS en C-org analyses (%), Bd de bulkdichtheid van de bodem (gewicht per volume, in kg/m3), D de dikte van de bodemlaag (in meters) en O het oppervlak (in m2).

Om inzichtelijk te maken welk effect de meetonzekerheid van Cperc en Bd heeft op de berekening van Cbodem is voor ieder monster een gemiddelde Cbodem bepaald door de bovenstaande berekening 10.000 keer te herhalen (Monte Carlo simulatie) met in acht neming van de onzekerheid van iedere term. Aan de hand van die simulatie kan per bodemtype en grondwatertoestand de standaardafwijking worden bepaald van de berekende koolstofvoorraad.

Voor het berekenen van de totale koolstofvoorraad is Cbodem per perceel vermenigvuldigd met het oppervlak van het perceel, en deze voorraden zijn bij elkaar opgeteld. Deze totale voorraad is uitgesplitst voor bodemtype en grondwatertoestand. Daarbij is de standaardfout (SE) gerapporteerd bij de voorraden met het ± symbool. De standaardfout geeft een indicatie van de spreiding van de data achter een berekende voorraad, in relatie tot de omvang van een populatie:

$$SE=\frac{1}{\sqrt{n}}$$

Hierbij is in het aantal monsters in populatie X en de standaardafwijking van populatie X. Voor de bodemlagen, de bodemtypen en de grondwatertoestand is Cbodem getoetst op significante verschillen tussen de gemiddelden van groepen met behulp van bootstrapping. Hierbij is de nul hypothese dat twee groepen (A en B) hetzelfde gemiddelde hebben. Uit de populatie A+B wordt herhaaldelijk een steekproef genomen waarvan het verschil in gemiddelden wordt bepaald (10.000 keer). Vervolgens wordt de verdeling van de verschillen in gemiddelden vergeleken met de verdeling van de nulhypothese (waarbij de verdeling rond 0 centreert omdat voor de nulhypothese wordt aangenomen dat er geen verschil in is gemiddelden tussen de groepen). De gerapporteerde p-waarde is vervolgens verkregen met behulp van een “betrouwbaarheidsinterval-inversie” (12.1 in Thulin, 2021). Bij $p<0.05$ wordt een verschil als significant beschouwd.

De velddata uit dit onderzoek is vergeleken met een berekening van landelijke koolstofvoorraden (Tol-Leenders et al. 2019) en landsdekkende modeldata (Lesschen et al. 2012; Natuurlijk Kapitaal, 2014). Voor beide

bronnen is data voor de bovengrond vergeleken. De vergelijking met Tol-Leenders et al. (2019) geeft een indruk hoe de koolstofvoorraden van het Beter Voor-programma zich verhouden tot de landelijk gemiddelden. De berekening van koolstofvoorraden van Tol-Leenders et al. (2014) vergelijkt koolstofvoorraden uit 1998 en 2018. De vergelijking van de velddata met de gegevens van Tol-Leenders et al. (2019) maakt onder andere onderscheid in minerale gronden en veen- en moerige gronden (veen in de laag 0-30 cm). Tabel 5 in Tol-Leenders et al. (2019) suggereert dat zowel voor de minerale gronden het grootste aandeel (gemiddeld 49%) van de deelgebieden bestaat uit grasland, als voor de moerige gronden (69%). Uit Figuur 6 in Tol-Leenders et al. (2019) valt op te maken dat grasland voor minerale bodemtypes vergelijkbare koolstofvoorraden in de bovengrond heeft ten opzichte van de andere deelgebied types (akkerland, bos of natuur), met uitzondering van de hoge koolstofvoorraad van bos op kleigronden. De vergelijking van de velddata met Natuurlijk Kapitaal (2014) geeft inzicht in de verschillen per perceel tussen de velddata en de modeldata. Beide studies zijn gebaseerd op een combinatie van de landelijke steekproef kartering (LSK), de landgebruikkaart van Nederland (Basiskaart Natuur 2004) en de bodemkaart van Nederland (Lesschen et al. 2012). Bij de LSK zijn op 1.500 locaties bodemprofielen bemonsterd en geanalyseerd op een reeks bodemeigenschappen, waaronder koolstofvoorraden. Deze voorraden zijn gemiddeld per hoofdbodemgroep en landgebruikstype en gekoppeld aan de bodem- en landgebruikkaart om tot een vlakdekkende kaart te komen.

3 RESULTATEN

3.1 Koolstofvoorraad

De totale huidige koolstofvoorraad van de 980 geselecteerde percelen is vastgesteld op 1.249.367 (±16) ton C. Hiervan is twee derde, 814.297 (±21) ton C toe te kennen aan koolstofvoorraad in de bovengrond en 435.070 (± 25) ton C aan de ondergrond (Tabel 1). In de bovengrond is het grootste aandeel, 28%, afkomstig van (natte) veengronden. Zandgronden met een gemiddelde grondwatertoestand representeren zowel in de bovengrond als de ondergrond een groot aandeel (26% en 31%) van de koolstofvoorraad.

Tabel 1 Koolstofvoorraden in de boven- en ondergrond van de geselecteerde percelen in ton C met tussenhaakjes de standaardfout.

Bodemlaag	Bodemtype	Droog	Gemiddeld	Nat	Totaal
Bovengrond	Klei	3.083 (40)	146.731 (41)	42.393 (41)	192.207 (32)
Bovengrond	Veen	-	112.740 (109)	231.927 (55)	344.667 (51)
Bovengrond	Zand	16.160 (79)	208.333 (26)	52.929 (57)	277.422 (23)
Totaal		19.243 (61)	467.804 (27)	327.250 (38)	814.297 (21)
Ondergrond	Klei	1.091 (31)	76.362 (54)	17.710 (64)	95.163 (44)
Ondergrond	Veen	-	71.945 (109)	91.718 (93)	163.663 (71)
Ondergrond	Zand	10.402 (59)	135.510 (28)	30.332 (49)	176.244 (23)
Totaal		11.493 (49)	283.817 (29)	139.760 (55)	435.070 (25)

De totale voorraden zijn het resultaat van de bepaalde koolstofvoorraad in ton C per hectare (Cbodem) en het oppervlak van de percelen (Tabel B1; Bijlage B). Tabel 2 laat zien dat de hierboven genoemde hoge totale koolstofvoorraden in de percelen met natte veengronden overeenkomen met een hoge gemiddelde koolstofvoorraad (318 ton C/ha) ten opzichte van de gemiddelde koolstofvoorraden in natte zand- en kleigronden (165 ton C/ha en 169 ton C/ha). Daarnaast is op te maken uit Tabel 2 dat binnen ieder bodemtype een significant verschil is tussen de grondwatertoestanden, omdat alle p-waarden kleiner zijn dan 0.05. Dit onderschrijft dat het onderscheiden van bodemtypen en grondwatertoestanden een belangrijk aspect is bij het interpreteren van de bovenstaande voorraden. In Figuur B1 (Bijlage B) zijn details over de groepsgrootte en verdeling van de berekende koolstofvoorraden per groep te vinden.

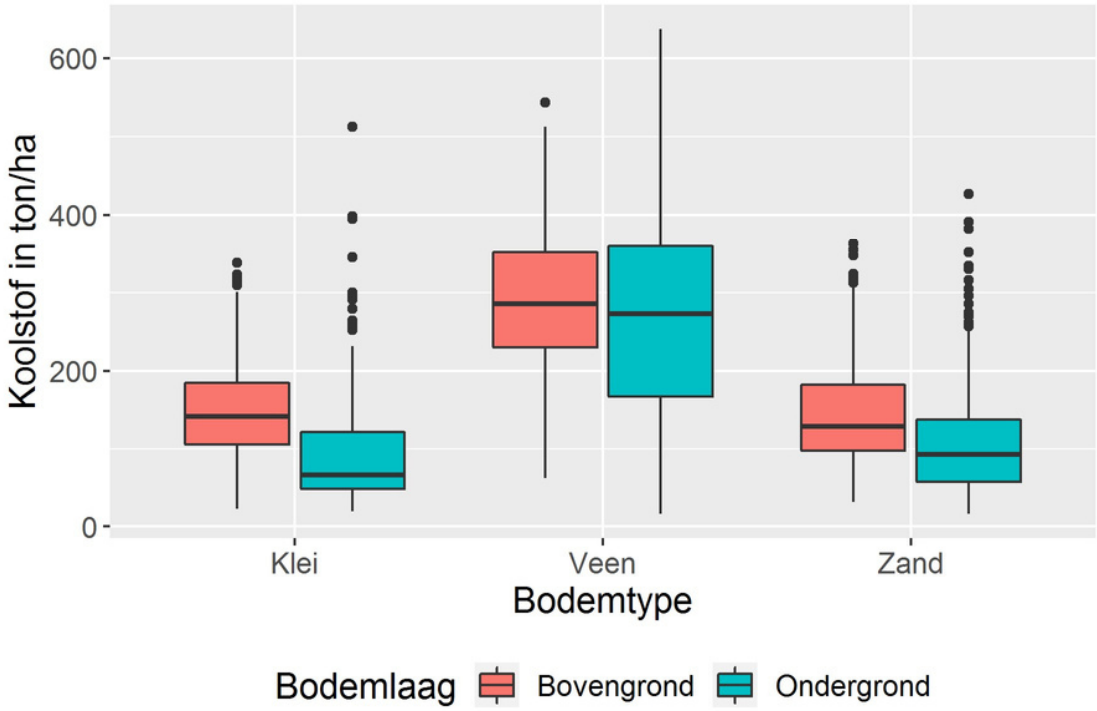
Tabel 2 Gemiddelde koolstofvoorraad in ton C/ha over de gehele monsteringsdiepte van 0 tot 60 cm voor de verschillende bodemtypen en grondwatertoestanden.

Bodemtype	Groep_A	Groep_B	Gemiddelde_A	Gemiddelde_B	p-waarde
Klei	Gemiddeld	Droog	123	61	0,0001
Klei	Nat	Droog	169	61	0,0001
Klei	Nat	Gemiddeld	169	123	0,0001
Veen	Gemiddeld	Droog	225	-	-
Veen	Nat	Droog	318	-	-
Veen	Nat	Gemiddeld	318	225	0,0001
Zand	Gemiddeld	Droog	124	98	0,0081
Zand	Nat	Droog	165	98	0,0001
Zand	Nat	Gemiddeld	165	124	0,0001

3.1.1 Koolstofvoorraad per bodemtype

De Cbodem is in de percelen met veengronden het hoogst (Figuur 1). De bovengrond heeft gemiddeld 290 ton C/ha en de ondergrond 271 ton C/ha. De p-waarde is 0.1058, wat betekent dat er geen significant verschil is tussen de twee bodemlagen. Voor klei is de gemiddelde Cbodem 152 ton C/ha in de bovengrond en 99 ton C/ha in de ondergrond. Dit verschil is significant ($p < 0.0001$). Ook voor zand is er een significant verschil tussen de twee bodemlagen ($p < 0.0001$), waarbij de bovengrond 145 ton C/ha bevat en de ondergrond 110 ton C/ha.

De Cbodem kan ook tussen de bodemtypen vergeleken worden per bodemlaag. In de bovengrond is er een significant verschil ($p = 0.0001$) tussen klei (152 ton C/ha) en veen (290 ton C/ha), en tussen veen en zand (145 ton C/ha). Er is geen significant verschil ($p = 0.1395$) in de bovengrond van de groepen zand (145 ton C/ha) en klei (152 ton C/ha)/ Voor de ondergrond is Cbodem op klei (99 ton C/ha) en veen (271 ton C/ha) significant verschillend ($p = 0.0001$). Tevens voor zand (110 ton C/ha) en veen (271 ton C/ha) is in de ondergrond een significant verschil ($p <0.0001$).



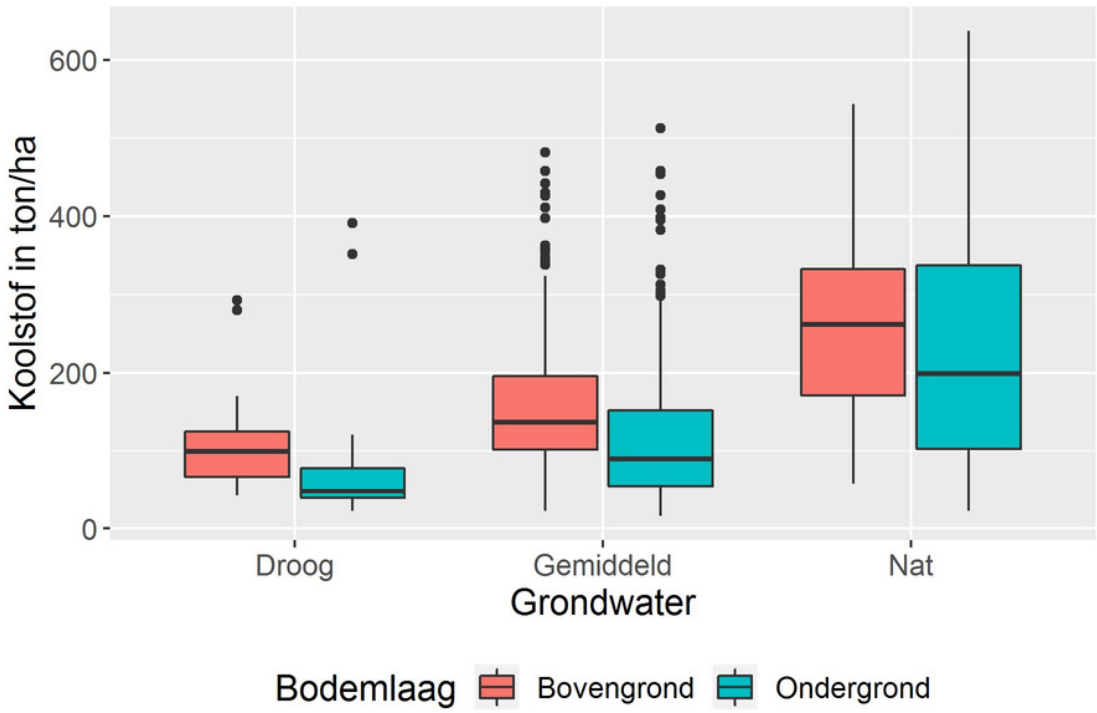
Figuur 1: Verdeling van gemiddelde koolstofvoorraad per bodemtype in ton C/ha

3.1.2 Koolstofvoorraad per grondwatertoestand

De Cbodem is voor percelen met een natte grondwatertoestand het hoogst (Figuur 2), met in de bovengrond gemiddeld 258 ton C/ha en in de ondergrond 228 ton C/ha. Het verschil tussen deze twee bodemlagen is significant ($p =0.0116$). De percelen met een gemiddelde grondwatertoestand hebben in de bovengrond gemiddeld 156 ton C/ha en 116 ton C/ha in de ondergrond. Dit is een significant verschil ($p<0.0001$). Voor de percelen met een droge grondwater toestand is de koolstofvoorraad het laagst. Met gemiddeld 105 ton C/ha in de bovengrond en 74 ton C/ha in de ondergrond. Ook dit is een significant verschil ($p = 0.0338$).

De grondwatertoestanden kunnen ook onderling worden vergeleken per bodemlaag. Voor alle onderlinge vergelijkingen geldt dat er een significant verschil is ($p<0.0019$). Voor de bovengrond hebben percelen met een droge grondwatertoestand gemiddeld 105 ton C/ha en een gemiddelde grondwatertoestand (156 ton C/ha). De natte percelen hebben gemiddeld 258 ton C/ha. Voor de ondergrond is voor de droge percelen de

gemiddelde koolstofvoorraad 74 ton C/ha. Voor de percelen met gemiddelde grondwatertoestand of natte grondwatertoestand zijn de ondergrond voorraden 116 en 227 ton C/ha.



Figuur 2: Verdeling van gemiddelde koolstofvoorraad per grondwatertoestand in ton C/ha

3.2 Betrouwbaarheid

De bovenstaande koolstofvoorraden zijn berekend aan de hand van de organische stof gehalten en bulk-dichtheid, per bodemtype en grondwatertoestand. De betrouwbaarheid van deze voorraden hangt af van de groepsomvang en de meetonzekerheden van de laboratorium bepalingen.

3.2.1 Groepsomvang

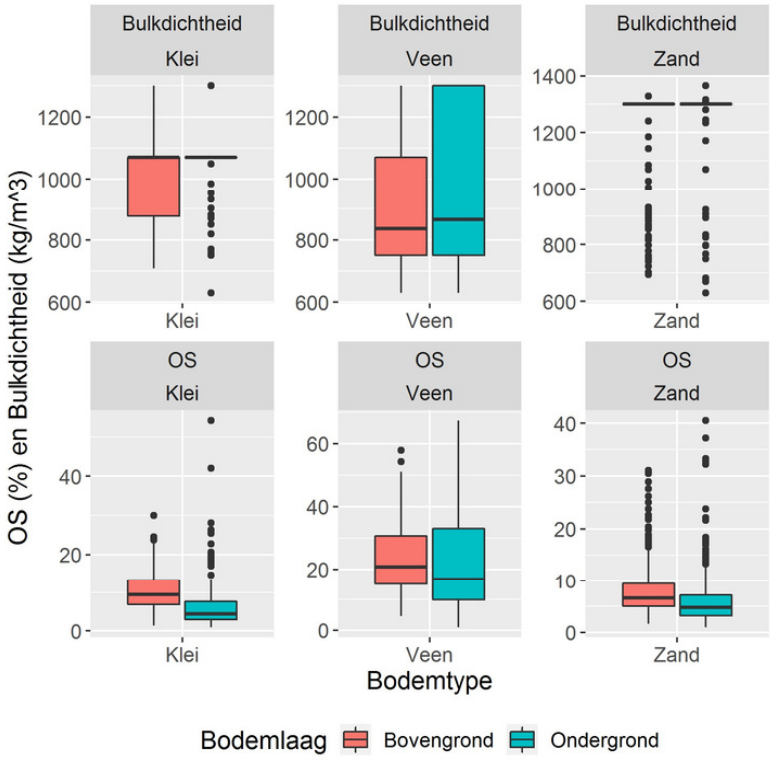
Met name voor het toetsten van de significantie van verschillen tussen groepen is de groepsomvang van belang. Tabel 3 geeft weer hoeveel monsters per bodemtype, grondwatertoestand en grondlaag voorkomen in de huidige dataset. In totaal zijn er 977 bovengrond- en 681 ondergrondmonsters. Er zijn voornamelijk monsters van zandgronden (434 monsters van de bovengrond en 362 monsters van de ondergrond). Klei en veengronden hebben vergelijkbare groepsgrootten (Tabel 3). De groepsgrootte van de droge percelen is relatief klein ten opzichte van de gemiddelde en natte percelen, met totaal 84 bodemmonsters. Er zijn geen monsters van veengronden met grondwatertoestand droog. Voor klei- en zandgronden vallen de meeste percelen in de grondwater categorie “gemiddeld”. Dit is de grootste groep voor de grondwatertoestanden (598 bovengrondmonsters en 479 ondergrondmonsters). De bodemmonsters van percelen met natte grond-watertoestand zijn voornamelijk gecategoriseerd als veengronden.

Tabel 3: aantal monsters per bodemtype en grondwatertoestand.

Bodemlaag	Bodemtype	Droog	Gemiddeld	Nat	Totaal
Bovengrond	Klei	11	187	63	261
Bovengrond	Veen	-	87	195	282
Bovengrond	Zand	32	324	78	434
Totaal		43	598	336	977
Ondergrond	Klei	8	141	31	180
Ondergrond	Veen	-	66	73	139
Ondergrond	Zand	33	272	57	362
Totaal		41	479	161	681

3.2.2 Meetonzekerheden

Voor de bovenstaande monsters zijn de parameters bulkdichtheid (Bd) en organische stof percentage (OS) bepaald. De bulkdichtheid van kleigrond-monsters is gemiddeld 1003 kg/m³ en van zandgrond-monsters gemiddeld 1254 kg/m³. Veen heeft een lagere bulkdichtheid, van gemiddeld 905 kg/m³. De boxplots in Figuur 3 geven weer dat er meer spreiding is in de bulkdichtheid van veengrondmonsters ten opzichte van de zand- en kleimonsters. De gemiddelde organische stof gehalten in de bovengrond voor klei (10,5%), veen (23,3%) en zand(8,0%) zijn hoger dan de gehalten in de ondergrond (klei 6,8%, veen 21,4 %, zand 6,1%).



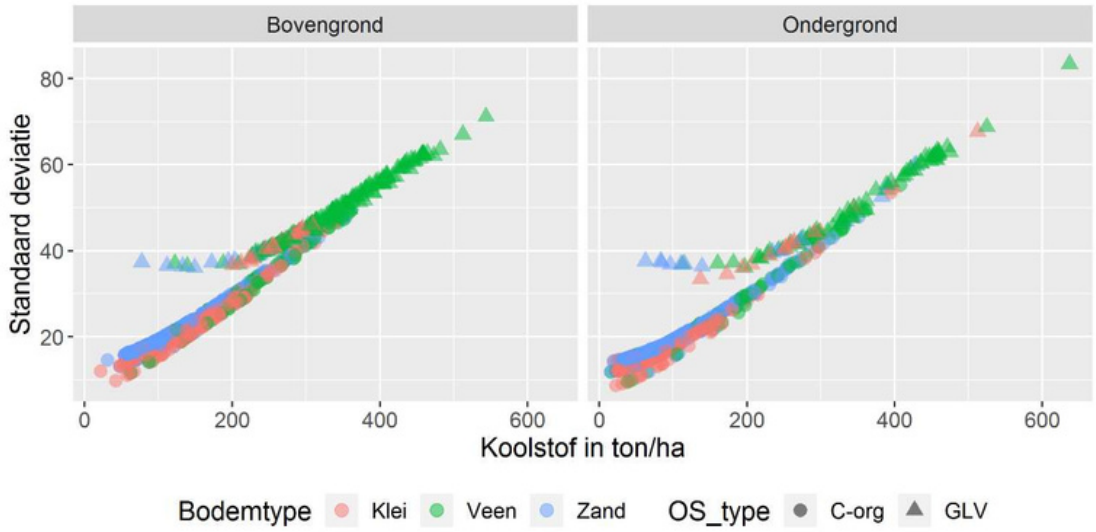
Figuur 3: Bulkdichtheden en organische stof gehalten per bodemtype en bodemlaag.

De bovenstaande variabiliteit in bulkdichtheid en organische stof gehalten (OS) gaat gepaard met meetonzekerheden die grotendeels afhankelijk zijn van de ordegrootte van de waarde die in het laboratorium wordt bepaald. De bulkdichtheid bepalingen hebben een onzekerheid van 13%. OS bepalingen hebben een meetonzekerheid tussen de 0.36 en 1.79%. De bijbehorende relatieve onzekerheden zijn aan de hand van de Monte Carlo simulatie inzichtelijk gemaakt per groep (Tabel 4). De relatieve standaarddeviatie varieert tussen de groepen binnen de 14.7% en 37% met de hoogste waardes voor ondergrond monsters die gestoken

zijn op minerale gronden met een droge grondwatertoestand. Per monster is daarnaast de standaard deviatie uitgezet tegen de berekende koolstofvoorraad: deze neemt toe met hogere koolstofvoorraden (Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.). Uit Fout! Verwijzingsbron niet gevonden. blijkt dat de monsters die geanalyseerd zijn met het gloeiverlies (GLV) methode in het domein tot 300 ton C/ha een hogere standaard deviatie hebben ten opzichte van monsters met een “C-org” bepaling.

Tabel 4 Relatieve standaard deviatie per groep in percentage

Bodemlaag	Bodemtype	Droog	Gemiddeld	Nat
Bovengrond	Klei	21,8	16,5	14,9
Bovengrond	Veen	-	15,4	14,5
Bovengrond	Zand	19,4	18,2	16,4
Ondergrond	Klei	37	24	19,9
Ondergrond	Veen	-	17,5	14,7
Ondergrond	Zand	29,3	23,4	19,2



Figuur 4: Standaarddeviatie ten opzichte van de koolstofvoorraad in ton C/ha

3.3 Vergelijking met landelijke data

3.3.1 Tol-Leenders et al. 2019

De koolstofvoorraad van bovengrond monsters zijn vergeleken met de landelijke waarden op basis van de studie Tol-Leenders et al. (2019). De ligging van de Beter-Voor percelen op minerale gronden is vergelijkbaar met het minerale deelgebied in Tol-Leenders et al. (2019) (bijlage B, Figuur B2).Uit Tabel 5 kan worden opgemaakt dat voor de percelen op minerale gronden (zand en klei) de koolstofvoorraad van het Beter Voor programma (148 ton C/ha) tweemaal hoger is dan de koolstofvoorraad van 2018 op basis van Tol-Leenders et al. (2019) (74 ton C/ha). Het organische stof gehalte van de Beter Voor percelen met minerale gronden zijn tevens een factor 2,18 hoger. De bulkdichtheid van de minerale gronden is lager voor de Beter Voor percelen (1,16 g/cm³) ten opzichte van de landelijk gemiddelde bulkdichtheid voor 2018 (1,27 g/cm³).

Tabel 5 Berekende voorraad koolstof voor minerale gronden, gemiddeld gehalte aan organische stof en bulkdichtheid van de bovengrond (0-30 cm) in het Beter Voor programma en landelijke waarden op basis van tabel 9 in Tol-Leenders et al. 2019. Landelijke waarden zijn gecorrigeerd voor 50% koolstof in organische stof. Standaardfouten tussenhaakjes, waarbij de gerapporteerde standaardfout uit Tol-Leenders et al. 2019 evenredig is gecorrigeerd voor de berekening van voorraad koolstof

Grootheid	Landelijk gemiddelde op basis van Tol-Leenders et al. 2019	Beter Voor programma
Jaar 1998 2018 2022		
Voorraad koolstof (ton C/ha) 80,55 (1,91)	74,29 (1,77) 147,74 (2,43)	
Gemiddeld gehalte organische stof (%) 4,01 (0,11)	4,11 (0,13) 8,96 (0,19)	
Gemiddelde bulkdichtheid (g/cm3) 1,39 (0,01)	1,27 (0,02) 1,16 (0,007)	

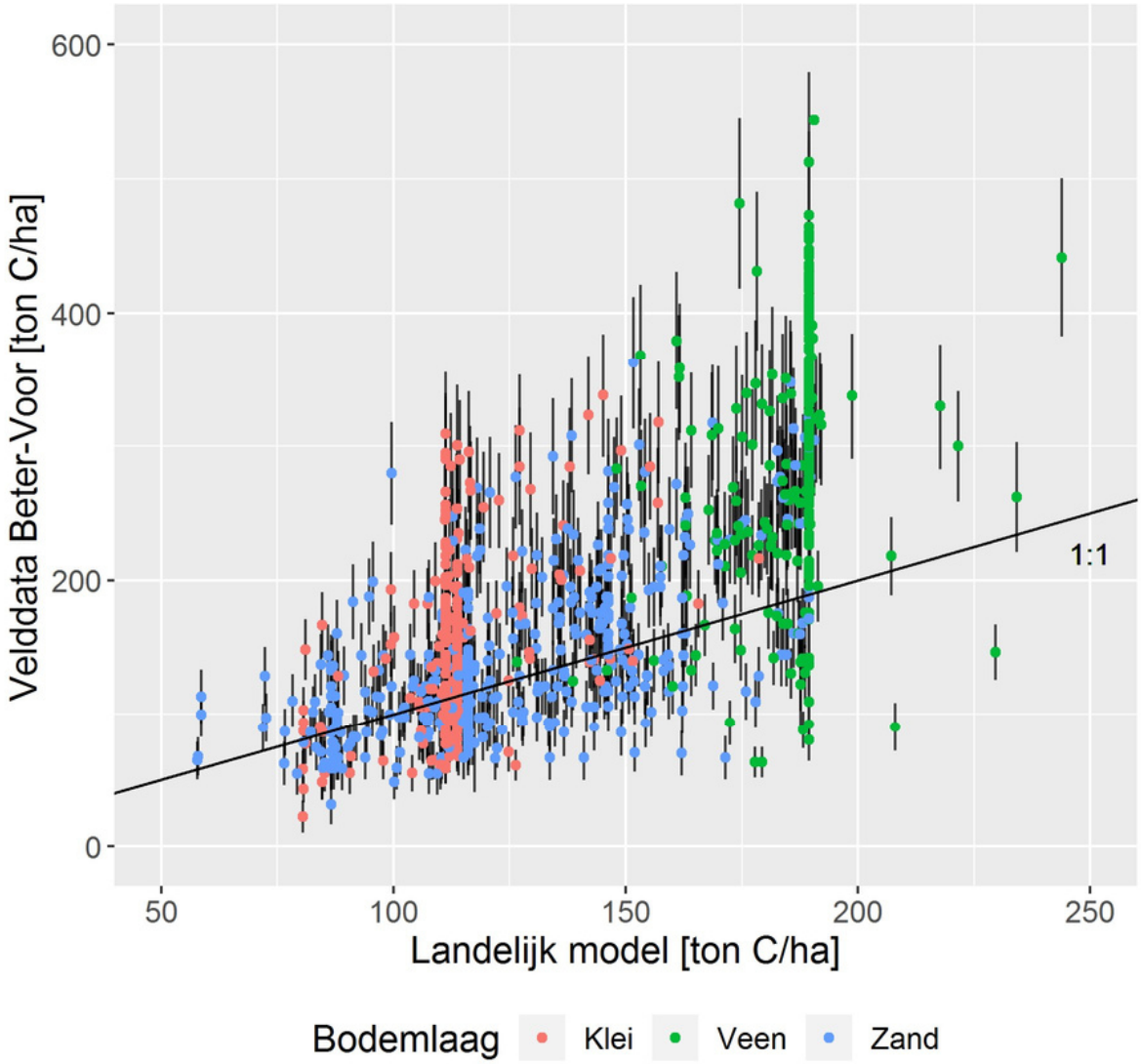
Voor de Beter-Voor percelen met veengrond is de koolstofvoorraad (290 ton C/ha) 1.8 maal hoger dan de landelijk gemiddelde koolstofvoorraad in veengronden (163 ton C/ha) (Tabel 6). Het gemiddelde organische stof gehalte is 1.44 maal hoger. De bulkdichtheid is vergelijkbaar (0,88 en 0,91 g/cm³): het verschil valt binnen het bereik van de aangegeven standaardfout van beide waarden (0,02 en 0,01).

Tabel 6 Berekende voorraad koolstof voor veen- en moerige gronden, gemiddeld gehalte aan organische stof en bulkdichtheid van de bovengrond (0-30 cm) in het Beter Voor programma en landelijke waarden op basis van tabel 11 in Tol-Leenders et al. 2019. Landelijke waarden zijn gecorrigeerd voor 50% koolstof in organische stof. Standaardfouten tussenhaakjes, waarbij de gerapporteerde standaardfout uit Tol-Leenders et al. 2019 evenredig is gecorrigeerd voor de berekening van voorraad koolstof

Grootheid	Landelijk gemiddelde op basis van Tol-Leenders et al. 2019		Beter Voor programma
Jaar	1998	2018	2022
Voorraad koolstof (ton C/ha)	157,94 (5,72)	162,84 (4,28)	290,35 (5,56)
Gemiddeld gehalte organische stof (%)	17,65 (1,13)	16,09 (0,79)	23,31 (0,65)
Gemiddelde bulkdichtheid (g/cm3)	0,95 (0,03)	0,88 (0,02)	0,91 (0,01)

3.3.2 Natuurlijk Kapitaal 2014

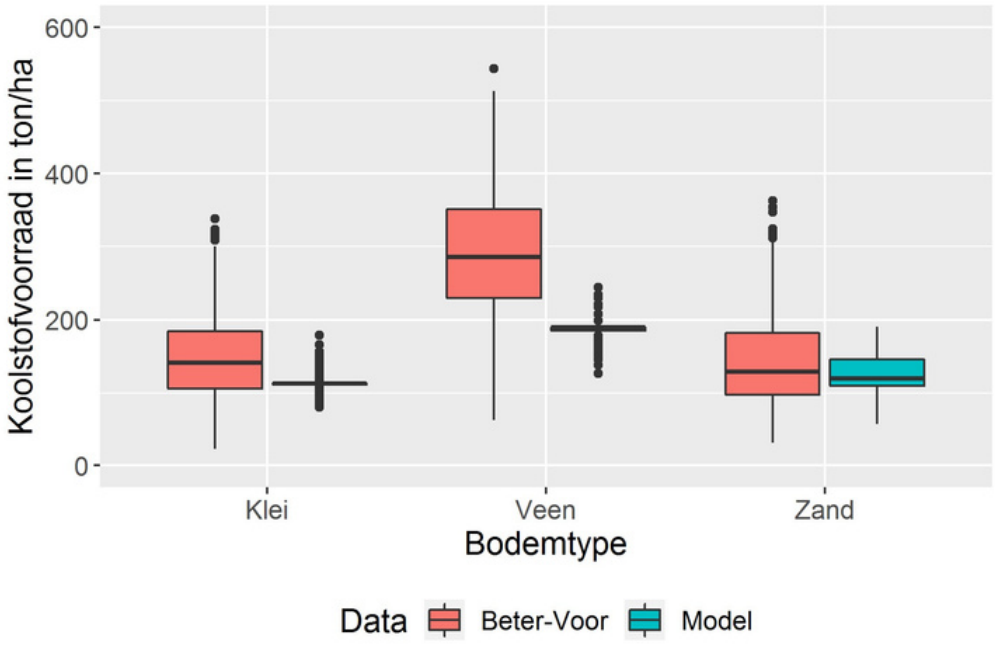
Voor de bovengrond monsters zijn de berekende gemiddelde koolstofvoorraden van de Beter Voor percelen vergeleken met de gemodelleerde koolstofvoorraad voor het betreffend perceel (Figuur 5). De punten die boven de 1:1 lijn vallen geven aan dat voor die percelen een hogere koolstofvoorraad is vastgesteld in het veld ten opzichte van de gemodelleerde koolstofvoorraad. Voor de Beter Voor percelen kan worden gesteld dat de totale koolstofvoorraad op basis van de bodemmonsters 1.32 maal groter is dan de koolstofvoorraad bepaald met het model: de berekende koolstofvoorraad betreft 617.577 ton op basis van het landelijke model, terwijl de koolstofvoorraad op basis van de veldmonsters uit dit onderzoek neerkomt op 814.297 ton (Tabel 1). Met name de gemiddelde koolstofvoorraden van klei- en veenmonsters op basis van het model bevinden zich een smal domein tussen de 100-125 ton C/ha en 175-200 ton C/ha, terwijl de veld data een domein beslaat van 0-350 ton C/ha voor kleimonsters, en 50-550 ton C/ha voor veenmonsters.



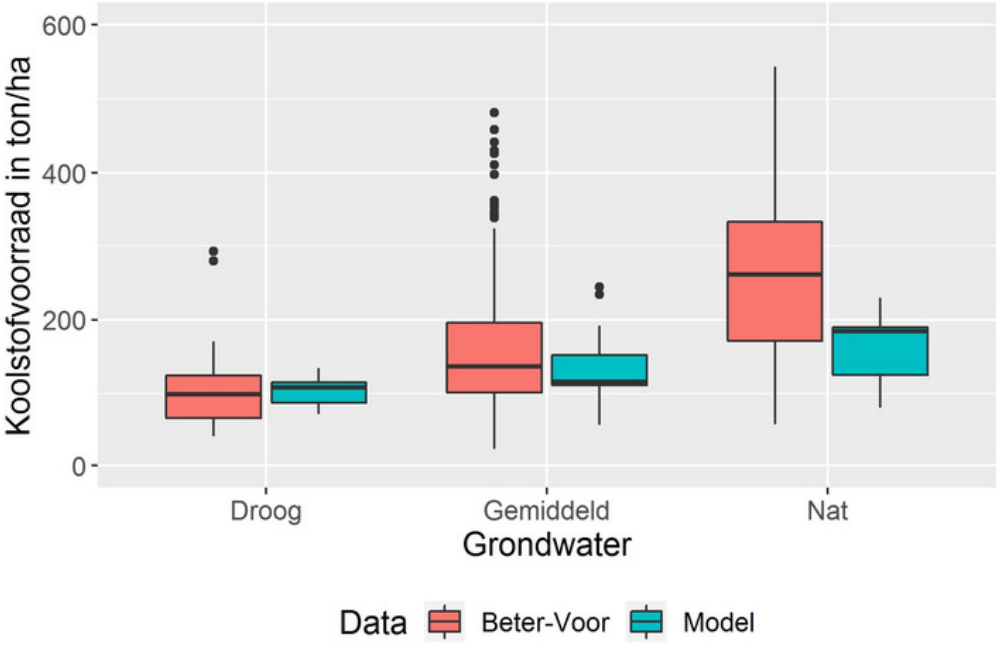
Figuur 5: Velddata van de Beter Voor deelnemers. De verticale zwarte lijnen geven de standaard deviatie weer van de monsters

Uit Figuur 6 kan worden opgemaakt dat gemiddeld het model data voor klei en veen percelen lager uitvalt dan de velddata van het Beter Voor programma. Het model heeft een gemiddelde koolstofvoorraad van 113 ton C/ha voor klei percelen en 186 ton C/ha voor veen percelen, en heeft daarbij een bijzonder kleine spreiding. De Beter Voor data heeft een gemiddelde koolstofvoorraad van 152 ton C/ha voor klei en 290 ton C/ha

voor veen. Voor zand is het verschil in de gemiddelde koolstofvoorraden van de veld- en modeldata kleiner, 128 ton C/ha volgens het model en 145 ton C/ha in de Beter Voor data. Alle verschillen tussen de gemiddelde voorraden zijn significant (p<0.0001). Figuur 7 laat zien dat de gemiddelde koolstofvoorraad van percelen met de grondwater klasse droog of gemiddeld vergelijkbaar is tussen velddata en modeldata. In de groep natte percelen is de koolstofvoorraad gemiddeld hoger in de velddata dan de modeldata.



Figuur 6: Vergelijking per bodemtype van de koolstofvoorraad van Beter Voor velddata en modeldata van Natuurlijk Kapitaal.



Figuur 7: Vergelijking per grondwatertoestand van de koolstofvoorraad van Beter Voor velddata en modeldata van Natuurlijk Kapitaal.

4 CONCLUSIE

De bovenstaande resultaten geven inzicht in de huidige koolstofvoorraad in de bodem van deelnemende percelen in het Beter Voor programma. De koolstofvoorraad fungeert, samen met een controlegroep, als nulmeting om over drie jaar (en later) het effect van het Beter Voor programma te kunnen bepalen. De huidige koolstofvoorraden van de deelnemers zijn vastgesteld op 814.297 (±) ton C in de bovengrond en 435.070 (± 25) ton C in de ondergrond. Totaal komt dit neer op 1.249.367 (±16) ton C.

De bovengrondvoorraden zijn vergeleken met landelijke cijfers, en daaruit blijkt dat deze 2 tot 1.32 maal hoger zijn op basis van dit onderzoek ten opzichte van landelijke model data. Voor de minerale gronden is het organische stof gehalte gemiddeld 8,96 (±0,19) %, wat ten opzichte van een landelijk gemiddelde van 4,11 (±0,13) % meer dan tweemaal zo hoog is. Op basis van deze gegevens kan worden gesteld dat er relatief veel koolstof opgeslagen is in de bodems van de deelnemers van het Beter Voor programma. De metingen van de controlegroep en de herhalingsmetingen over drie jaar zullen uitwijzen hoe deze voorraad verandert over de tijd en welk effect het Beter Voor programma heeft op de bodemkoolstofvoorraad. Daarnaast geven de resultaten van dit rapport weer hoe bodemtype en grondwatertoestand de variatie in koolstofvoorraad beïnvloeden, wat de betrouwbaarheid is van de gegevens en hoe deze zich verhouden tot landelijke cijfers.

5 DISCUSSIE

5.1 Koolstofvoorraad

De totale voorraad van 1.249.367 (±16) ton C is voornamelijk (40%) toe te schrijven aan koolstofvoorraden in percelen met veengronden, terwijl deze percelen 27% van het areaal beslaan (1.198 hectare van de 4.436 hectare). De bovengrond van veengronden met natte grondwatertoestand bevat de grootste totale koolstofvoorraad (231.927 ±55 ton). Veen bestaat per definitie grotendeels uit organische stof, en verteert minder snel onder natte omstandigheden. De maatregel van het Beter Voor programma om de bovengrond van deze natte veenpercelen niet te ploegen is daarom erg waardevol, omdat zo de huidige koolstofvoorraad (318 ton C/ha) wordt beschermd tegen verstoring. De gemiddelde koolstofvoorraad van veenpercelen met gemiddelde grondwatertoestand is 225 ton C/ha. Mogelijkerwijs kan door het niet ploegen van het grasland van de veenpercelen met gemiddelde grondwatertoestand een bijkomend voordeel worden behaald als deze percelen tevens worden vernat. Veengronden zijn in het algemeen moeilijk om koolstofvoorraad bepalingen op uit te voeren en om over de tijd verschillen in koolstofvoorraden te kwantificeren: de samenstelling van veengronden kan sterk wisselen (Figuur 3) en over de tijd kan bodemdaling en veenoxidatie een belangrijke rol spelen in de verandering van de koolstofvoorraad.
Met 43% zijn de percelen op zandgrond het grootste areaal en maken voor 36% deel uit van de totale koolstofvoorraad (bovengrond:145 ton C/ha, ondergrond:110 ton C/ha). De zandgronden met een gemiddelde grondwatertoestand zijn de grootste groep (324 monsters). Voor deze groep zijn de omstandigheden gunstig om koolstofvoorraad in de ondergrond te bevorderen door niet te ploegen: door de lage kleifractie is de grond goed doorwortelbaar, en tevens is de grondwaterstand niet te hoog wat de diepte van de doorworteling doorgaans beperkt (Iwema 2019). 30% van de percelen liggen op kleigronden. Binnen deze groep is de meeste koolstofvoorraad opgeslagen in de bovengrond percelen met een gemiddelde grondwatertoestand. In de bovengrond van klei percelen is significant meer (152 ton C/ha) opgeslagen ten opzichte van de ondergrond (99 ton/C ha).

5.2 Betrouwbaarheid

De betrouwbaarheid van de berekende koolstofvoorraden is geduid met standaardfouten, groepsomvang en een Monte-Carlo simulatie. De standaardfout van de totale koolstofvoorraden geeft de spreiding binnen de groepen weer. Met name voor de veengronden is deze hoog ten opzichte van de klei en zandgronden (Tabel 1). Dit geeft vooral aan dat er grote spreiding is binnen deze groep, en daarnaast is de ordegrootte van de berekende totale koolstofvoorraad ook het hoogst. De omvang van de verschillende groepen is van belang voor de representativiteit van het onderzoek, de standaardfout en voor de toetsing van significantie. De groepen zijn niet gelijkmatig verdeeld tussen bodemtypen en grondwatertoestanden. Veengronden ontstaan op natte plekken in het landschap, en zandgronden hebben doorgaans een goede doorlatendheid. De groepen met droge grondwatertoestand zijn klein.

Doordat de bemonstering plaatsvond in de zomer, was een groot deel van de percelen met een droge bodemtoestand niet te bemonsteren. Deze percelen worden eind 2022, begin 2023 opnieuw bemonsterd. Zodoende is het aannemelijk dat in de volledige nulmeting het aandeel droge percelen groter is.

Naast de groepsgrootte is de meetonzekerheid van de laboratorium analyses van belang voor de betrouwbaarheid van de berekende koolstofvoorraden. De 13% onzekerheid op de bulkdichtheidsbepaling is hoog ten opzichte van de bepaling van organische stof (0.36-1.79%). Met name voor bovengrond monsters van veenpercelen, met een relatief lage bulkdichtheid en hoge organische stof gehalte, is de absolute onzekerheid hoog. Hoe hoger de berekende koolstofvoorraad, hoe hoger de onzekerheid. Uitgedrukt in relatieve percentages, valt op dat vooral de groepen met droge grondwatertoestand veel worden beïnvloed door de meetonzekerheden (19 tot 37%).

5.3 Landelijke vergelijking

De koolstofvoorraad in de bovengrond is op basis van dit veldonderzoek 2 tot 1.32 maal hoger ten opzichte van de gemodelleerde landelijke koolstofvoorraad. Hierbij is het grootste verschil vastgesteld bij de vergelijking van klei en zand percelen met het deelgebied minerale gronden van Tol-Leenders et al. (2019). Uit Figuur B2 valt op te maken dat de percelen van dit onderzoek grotendeels in het deelgebied vallen van Tol-Leenders et al. (2019), maar dat tevens een deel van de percelen in gebieden met veenrijke bodems liggen. Daarnaast valt binnen het minerale deelgebied ook gebieden met bos en natuur. Verder zijn de Beter-Voor percelen geclassificeerd op de meest voorkomende bodemcategorie (op basis van Tabel A1) wat mogelijkerwijs er voor kan zorgen dat percelen zijn benoemd als mineraal terwijl een deel van het perceel mogelijk ook uit veengrond bestaat. Verder valt op de maken uit Tabel 5 en Tabel dat de verhouding tussen de gemiddelde organische stof gehalten en gemiddelde koolstofvoorraden varieert tussen de onderzoeken. Hierdoor is het niet inzichtelijk of een perceel met hoge organische stof gehalten gepaard gaat met lage of hoge bulkdichtheid, wat uiteindelijk de voorraad van ieder perceel bepaalt. Uit Figuur 3 is in ieder geval te herleiden dat met name voor veenpercelen er een grote spreiding is tussen de bulkdichtheid van de bodem en de organische stof gehalten. De vergelijk van dit veldonderzoek met de gegevens van Natuurlijk Kapitaal (2014) geeft meer inzicht in de variabiliteit in koolstofvoorraden op perceelniveau (Figuur 5). Hieruit blijkt dat met name voor klei (1.35 maal) en veen (1.56 maal) de velddata hoger uitvallen dan de gemodelleerde koolstofvoorraad. Zowel het model als de veldtoestand kunnen dit mogelijk verklaren. De bijzonder kleine spreiding van de model data, met name voor klei en veen doen vermoeden dat het model beperkt is in het representeren van de processen die koolstofvoorraden beïnvloeden in klei en veengronden. Daarnaast zijn de modelgegevens gemiddeld over de percelen, en is variatie binnen de percelen niet weergegeven in deze modeldata. Tevens is het model gebaseerd op data van voor 2012, en is er mogelijk tussentijds koolstofvoorraad opgebouwd in de bodem van de betreffende percelen.

6 LITERATUURLIJST

AH 2020a https://static.ah.nl/binaries/ah/content/assets/ah-nl/core/about/duurzaamheid/handleiding-certif- icering-van-Beter Voor-koe-natuur-boer-zuivel-voor-be--en-verwerkende-locaties_albert-heijn.pdf

AH 2020b: https://nieuws.ah.nl/albert-heijn-streeft-naar-klimaatneutrale-melk-van-de-boerderij-in-2021

AH 2021: https://missieverslag.ah.nl/media/udhmcusy/missieverslag_2021_albert_heijn.pdf

Allen, D. E., Pringle, M. J., Page, K. L., & Dalal, R. C. (2010). A review of sampling designs for the measurement of soil organic carbon in Australian grazing lands. The Rangeland Journal, 32(2), 227-246

Anderson G.M. (1976) Error propagation by the Monte Carlo method in geochemical calculations, Geochimica et Cosmochimica Acta, Volume 40, Issue 12, 1533-1538

CBS 2022: https://www.cbs.nl/nl-nl/maatschappij/natuur-en-milieu/groene-groei/milieu-efficientie/indicatoren/koolstofvoetafdruk

De Wit, J. v. (2018). Opbouw organische stof met blijvend grasland. Focus, 32-34.

De Willigen, P., Janssen, B. H., Heesmans, H. I. M., Conijn, J. G., Velthof, G. L., & Chardon, W. J. (2008). Decomposition and accumulation of organic matter in soil; comparison of some models (No. 1726). Alterra.

Dick, W. A. (2004). Developing and maintaining soil organic matter levels. Managing soil quality: Challenges in modern agriculture 103, 120.

Eurofins webpagina 2022-10-26: https://www.eurofins-agro.com/nl-nl/eehnc/articles-videos/what-is-nirs

Iepema, G. H. (2022). Extending grassland age for climate change mitigation and adaptation on clay soils. European Journal of Soil Science, 73.

Iewema J, Sloot P, Pleijter M, 2019 Milieu: Koolstofvastlegging, nr. 5

Lesschen, J. P., Vellinga, T., Dekker, S., & Schils, R. (2020). Possibilities for monitoring CO2 sequestration and decomposition of soil organic matter on dairy farms.

Lesschen, J. P., Heesmans, H. I. M., Mol-Dijkstra, J. P., van Doorn, A. M., Verkaik, E., van den Wyngaert, I. J. J., & Kuikman, P. J. (2012). Mogelijkheden voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw en na- tuur (No. 2396). Alterra.

Natuurlijk Kapitaal, 2014: https://nationaalgeoregister.nl/geonetwork/srv/dut/catalog.search#/metadata/c207ab90-f6a0-4f70-85ca-1eb1961080d5?tab=general

Ruyssenaars P.G., Coenen P.W.H.G.,Rienstra J.D., Zijlema P.J.,Arets E.J.M.M., Baas K, Dröge R., Geilenkirchen G. 't Hoen M., Honig E., van Huet B., van Huis E.P., Koch W.W.R., Lagerwerf L.A., te Molder R.M., Montfoort J.A., Vonk J., van Zanten M.C. (2020) Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990–2018 National Inventory Report 2020, RIVM

Staps S., Rougoor C., Lesschen J.P., Cozijnsen J., 2021: Methode voor vaststelling van CO2-vastlegging in de bodem, Stichting Nationale Koolstofmarkt, kenmerk: SNK-CO2-vastlegging in de bodem-001

Thulin M (2021). Modern Statistics with R. Eos Chasma Press, Uppsala. ISBN 9789152701515, http://www.modernstatisticswithr.com/.

Tol-Leenders, D. van, M. Knotters, W. de Groot, P. Gerritsen, A. Reijneveld, F. van Egmond, H. Wösten, P. Kuikman, 2019. Koolstofvoorraad in de bodem van Nederland (1998-2018); CC-NL. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2974. 84 blz.; 54 fig.; 18 tab.; 11 ref. https://edepot.wur.nl/509781

7 BIJLAGE(S)

A – Bodemtype en Grondwatertoestand

Voor het indelen van de geselecteerde percelen in de klassen van de factor bodemtype is gebruikt gemaakt van de bodemkaart van Nederland 1:50000, opgesteld door WENR (https://www.wur.nl/nl/nieuws/alle-bodemgegevens-van-nederland-gratis-als-open-data-beschikbaar.htm), en is beschikbaar via pdok (https://www.pdok.nl/-/de-bodemkaart-van-nederland-beschikbaar-bij-pdok). De klassen van deze factor zijn ingedeeld op basis van moedermateriaal (klei, zand, veen) en worden toegekend aan de hand van de bodemcode van desbetreffend perceel (Tabel A1). Indien het perceel meerdere bodemkaart vlakken besloeg is ervoor gekozen het bodemtype met de grootste oppervlakte als representatief te beschouwen. Indeling in klassen is noodzakelijk omdat er wezenlijke verschillen zijn in de opbouw van organische stof in verschillende bodemtypen. Veen bestaat uit (gedeeltelijk) afgebroken plantenresten en daardoor uit zichzelf al een hoog gehalte organische koolstof heeft, in tegenstelling tot minerale gronden. Voor minerale gronden is onderscheid gemaakt tussen zand- en kleigrond omdat kleideeltjes invloed hebben op de bewortelingsmogelijkheden, en daarmee op koolstofopslag (Iwema et al. 2019).

Voor het indelen van de geselecteerde percelen in de klassen van de factor grondwatertoestand is gebruik gemaakt van de Grondwatertrappenkaart, opgesteld door WENR (https://edepot.wur.nl/26169, https://edepot.wur.nl/339780). Daarbij zijn de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) gemiddeld per perceel, waarna een grondwatertoestand (nat, gemiddeld, droog) is toegekend (Tabel A2). Onder (erg) natte of droge omstandigheden is het potentieel voor duurzaam verhogen van de organische koolstofvoorraad lager dan onder gemiddelde omstandigheden (Iwema et al. 2019). Natte omstandigheden zorgen namelijk voor beperktere wortelgroei en minder goede omzetting van organisch materiaal naar stabiele organische stof, door zuurstofgebrek voor bodemleven. Droge omstandigheden kunnen zorgen voor verminderde aanvoer van gewasresten en voor afwezigheid van bodemleven.

Tabel A1 Indeling van bodems in de bodemtype groepen. NA staat voor “not applicable”. Deze codes worden niet meegenomen. Löss gronden komen niet voor in de studie.

Bodem	Bodemtype
|a GROEVE	NA
|b AF-GRAV	NA
|c OP-HOOG	NA
|d EGAL	NA
|e VER-WERK	NA
|f TERP	NA
|g MOE-RAS	NA
|g WATER	NA
|h BE-BOUW	NA
|h DIJK	NA
|i BO-VLAND	NA
|j MYNSTRT	NA
AAK	Klei
AAP	Veen
ABk	Klei
ABl	Löss
ABv	Veen
ABz	Zand
AD	Zand
AEk9	Klei
AEm5	Klei
AEm8	Klei
AEm9	Klei
AEm9A	Klei
AEp6A	Klei
AEp7A	Klei
AFk	Klei
AFz	Zand
AGm9C	Klei
AHa	Klei
AHc	Löss
AHk	NA
AHl	Löss
AHs	NA
AHt	Zand
AHv	NA
AHz	Löss
AK	Klei
ALu	Klei
AM	NA
AMm	Zand
AO	NA
AP	Veen
AQ	NA
AR	NA
AS	Zand
aVc	Veen
AVk	Veen
AVo	Veen
aVp	Veen
aVs	Veen
aVz	Veen
AWg	Klei
AWo	Klei

AWv	Veen
AZ1	Zand
AZW0A	Klei
AZW1A	Klei
AZW5A	Klei
AZW6A	Klei
AZW7A	Klei
AZW8A	Klei
bEZ21	Zand
bEZ23	Zand
bEZ30	Zand
BKd25	Zand
BKd26	Zand
BKh25	Zand
BKh26	Zand
BLb6	Zand
BLd5	Zand
BLd6	Zand
BLh5	Zand
BLh6	Zand
BLn5	Zand
BLn6	Zand
bRn46C	Klei
BZd23	Zand
BZd24	Zand
cHd21	Zand
cHd23	Zand
cHd30	Zand
cHn21	Zand
cHn23	Zand
cHn30	Zand
cY21	Zand
cY23	Zand
cY30	Zand
cZd21	Zand
cZd23	Zand
cZd30	Zand
EK19	Zand
EK76	Zand
EK79	Zand
EL5	Zand
EZ50A	Zand
EZg21	Zand
EZg23	Zand
EZg30	Zand
FG	Zand
FK	Klei

gMn15C	Klei
gMn25C	Klei
gMn52C	Klei
gMn53C	Klei
gMn58C	Klei
gMn82C	Klei
gMn83C	Klei
gMn85C	Klei
gMn88C	Klei
Hd21	Zand
Hd23	Zand
Hd30	Zand
hEV	Veen
Hn21	Zand
Hn23	Zand
Hn30	Zand
hVb	Veen
hVc	Veen
hVd	Veen
hVk	Veen
hVr	Veen
hVs	Veen
hVz	Veen
iVc	Veen
iVp	Veen
iVs	Veen
iVz	Veen
iWp	Zand
iWz	Zand
KK	NA
KM	NA
kMn43C	Klei
kMn48C	Klei
kMn63C	Klei
kMn68C	Klei
KRd1	Klei
KRd7	Klei
KRn1	Klei
KRn2	Klei
KRn8	Klei
KS	NA
KT	Klei
kVb	Veen
kVc	Veen
kVd	Veen
kVk	Veen
kVr	Veen

kVs	Veen
kVz	Veen
kWp	Zand
kWz	Zand
KX	Klei
Ld5	Zand
Ld6	Zand
Ldd5	Zand
Ldd6	Zand
Ldh5	Zand
Ldh6	Zand
Lh5	Zand
Lh6	Zand
Ln5	Zand
Ln6	Zand
Lnd5	Zand
Lnd6	Zand
Lnh6	Zand
MA	Klei
MK	Klei
Mn12A	Klei
Mn15A	Klei
Mn15C	Klei
Mn22A	Klei
Mn25A	Klei
Mn25C	Klei
Mn35A	Klei
Mn45A	Klei
Mn52C	Klei
Mn56A	Klei
Mn56C	Klei
Mn82A	Klei
Mn82C	Klei
Mn85C	Klei
Mn86A	Klei
Mn86C	Klei
Mo10A	Klei
Mo20A	Klei
Mo50C	Klei
Mo80A	Klei
Mo80C	Klei
MOb12	Klei
MOb15	Klei
MOb72	Klei
MOb75	Klei
MOo02	Klei
MOo05	Klei

Mv41C	Klei
Mv51A	Klei
Mv61C	Klei
Mv81A	Klei
MZk	Zand
MZz	Zand
pKRn1	Klei
pKRn2	Klei
pLn5	Zand
pMn52A	Klei
pMn52C	Klei
pMn55A	Klei
pMn55C	Klei
pMn56C	Klei
pMn82A	Klei
pMn82C	Klei
pMn85A	Klei
pMn85C	Klei
pMn86C	Klei
pMo50	Klei
pMo80	Klei
pMv51	Klei
pMv81	Klei
pRn56	Klei
pRn59	Klei
pRn86	Klei
pRn89	Klei
pRv81	Klei
pVb	Veen
pVc	Veen
pVd	Veen
pVk	Veen
pVr	Veen
pVs	Veen
pVz	Veen
pZg20A	Zand
pZg21	Zand
pZg23	Zand
pZg30	Zand
pZn21	Zand
pZn23	Zand
pZn30	Zand
Rd10A	Klei
Rd10C	Klei
Rd90A	Klei
Rd90C	Klei
Rn14C	Klei

Rn15A	Klei
Rn15C	Klei
Rn42C	Klei
Rn44C	Klei
Rn45A	Klei
Rn45C	Klei
Rn46A	Klei
Rn47C	Klei
Rn52A	Klei
Rn62C	Klei
Rn66A	Klei
Rn67C	Klei
Rn82A	Klei
Rn94C	Klei
Rn95A	Klei
Rn95C	Klei
Ro40A	Klei
Ro40C	Klei
Ro60A	Klei
Ro60C	Klei
ROb72	Klei
ROb75	Klei
Rv01A	Klei
Rv01C	Klei
Sn13A	Zand
Sn14A	Zand
tZd21	Zand
tZd23	Zand
tZd30	Zand
uWz	Zand
Vb	Veen
Vc	Veen
Vd	Veen
Vk	Veen
Vo	Veen
Vp	Veen
Vr	Veen
Vs	Veen
vWp	Zand
vWz	Zand
Vz	Veen
Wg	Klei
Wo	Klei
Y21	Zand
Y23	Zand
Y23b	Zand
Y30	Zand

Zb20A	Zand
Zb21	Zand
Zb23	Zand
Zb30	Zand
Zb30A	Zand
Zd20A	Zand
Zd20Ab	Zand
Zd21	Zand
Zd23	Zand
Zd30	Zand
Zd30A	Zand
zEZ21	Zand
zEZ23	Zand
zEZ30	Zand
Zn10A	Zand
Zn21	Zand
Zn23	Zand
Zn30	Zand
Zn30A	Zand
Zn30Ab	Zand
Zn40A	Zand
Zn50A	Zand
Zn50Ab	Zand
zVc	Veen
zVp	Veen
zVs	Veen
zVz	Veen
zWp	Zand
zWz	Zand

Tabel A2: Indeling van de groepen grondwatertoestand. De GHG en GLG zijn in cm uitgedrukt. Grondwater trappen zijn aangeven ter indicatie.

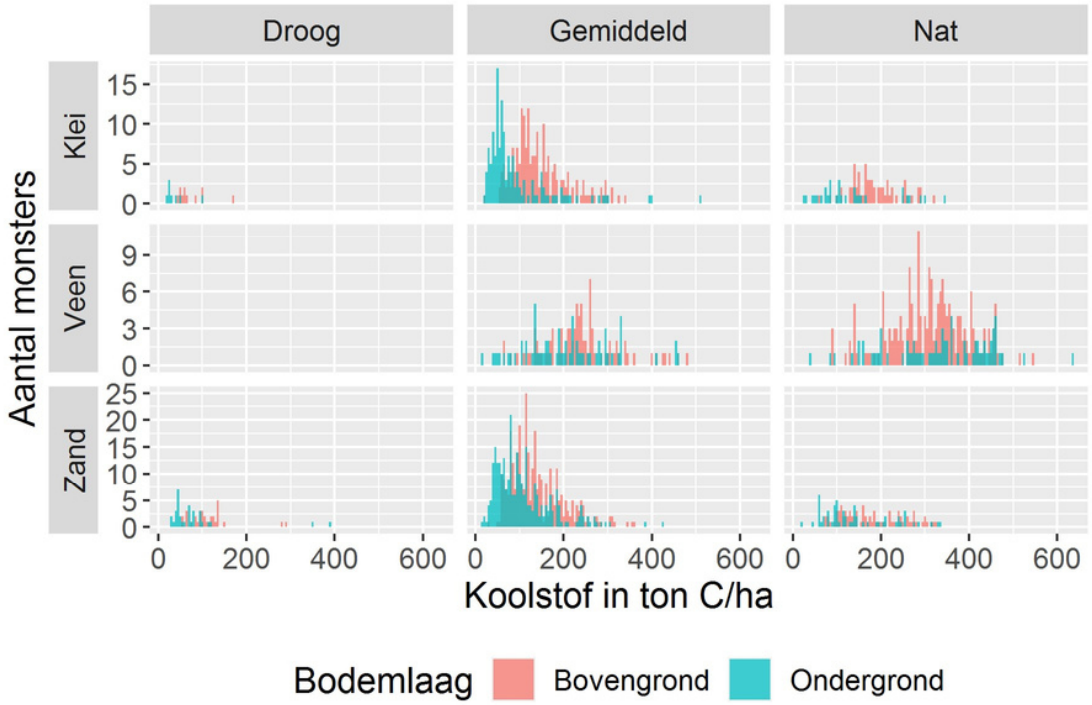
Grondwatertrap	GHGmin	GHGmax	GLGmin	GLGmax	Grondwatertoestand
Ia	0	25	0	50	Nat
Ic	25	50	25	50	Nat
IIa	0	25	50	80	Nat
IIb	25	40	50	80	Nat
IIc	40	80	50	80	Nat
IIIa	0	25	80	120	Nat
IIIb	25	40	80	120	Gemiddeld
IVc	80	120	80	120	Gemiddeld
IVu	40	80	80	120	Gemiddeld
Vad	0	25	180	9999	Nat
Vao	0	25	120	180	Nat
Vbd	25	40	180	9999	Gemiddeld
Vbo	25	40	120	180	Gemiddeld
VId	40	80	180	9999	Gemiddeld
VIo	40	80	120	180	Gemiddeld
VIId	80	140	180	9999	Droog
VIIo	80	140	120	180	Droog
VIIId	140	9999	180	9999	Droog
VIIIo	140	180	140	180	Droog
onbekend					onbekend

B – Aanvullende tabellen en figuren

Bodemtype	Droog	Gemiddeld	Nat	Totaal
Klei	43	1053	239	1335
Veen	-	456	742	1198
Zand	137	1468	300	1905
Totaal	180	2977	1281	4438

Tabel B1: Overzicht van perceeloppervlakte per bodemtype in ha

Verdeling groepsgrootte en koolstofvoorraad



Figuur B1: Histogrammen van gemiddelde koolstofvoorraad per groep. De bins van de histogrammen zijn 5 ton C/ha.

Zand en klei percelen	Figuur 25 Tol-Leenders et al (2019)
Veen percelen	Figuur 26 Tol-Leenders et al (2019)

Figuur B2 Overzichtskaarten van Beter-Voor percelen voor zand en klei, en veen (links) en rechts Figuur 25 en 26 uit Tol-Leenders et al.(2019). Figuren 25 en 26 geven de deelgebieden voor minerale en moerige gronden (veen in 0-30 cm laag) weer waarop de schattingen van koolstofvoorraden zijn gebaseerd in tabellen 5 en 6 in dit rapport (welke overeenkomen met tabellen 9 en 11 in Tol-Leenders et al. (2019)).