



Bodemkwaliteitsverbetering met Waddenslib

Een her-analyse van de blokkenproef te Zeijen

Auteur: G.H. Ros



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Rapport WU 1589.24

Bodemkwaliteitsverbetering met Waddenslib

Een her-analyse van de blokkenproef te Zeijen

Gerard H. Ros

1 Earth Systems and Global Change Group, Wageningen Universiteit

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Universiteit en gefinancierd door provincie Groningen

Wageningen Universiteit,
Wageningen, April 2024

Gereviewd door:
Prof. Dr. Wim de Vries, Wageningen Universiteit

Akkoord voor publicatie:
Prof. Dr. Wim de Vries, Wageningen Universiteit

Rapport 1589.24

Een duurzaam beheerde en gezonde bodem is van onschatbare waarde. Het is daarom belangrijk om inzicht te hebben in zowel de huidige als de gewenste bodemkwaliteit én mogelijkheden om de bodemkwaliteit te verbeteren. Het hergebruik van baggerslib kan op gronden met beperkingen in chemische, fysische en biologische bodemfuncties mogelijk een rol spelen om de kwaliteit van de bodem te verbeteren. In deze studie worden de veranderingen in bodemkwaliteit in beeld gebracht voor een zandgrond in Zeijen waar in 2017 drie behandelingen zijn aangelegd variërend in de hoeveelheid slib dat is toegediend. Na één jaar bleek dit slib een positief effect te hebben op verschillende bodemfuncties en daaraan gekoppeld de gewasopbrengst. Na een her-bemonstering in 2023 bleek het slib positief bij te dragen aan vooral de chemische bodemvruchtbaarheid (in het bijzonder de pH en de beschikbaarheid van kalium). De effecten zijn echter beperkt.

Trefwoorden: bodemkwaliteit

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/657077>. Wageningen Universiteit verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2024 Wageningen Universiteit (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl. Wageningen Universiteit 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 Universiteit aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Universiteit Rapport 1589.24

Foto omslag: WUR

Inhoud

Samenvatting		4
1	Introductie	5
	1.1 Achtergrond	5
	1.2 Doelstelling	6
2	Werkwijze	7
	2.1 Blokkenproef	7
	2.2 Bodemkwaliteitsbeoordeling	8
3	Resultaten	9
	3.1 Resultaten proefjaar 2017-2018	9
	3.2 Resultaten proefjaar 2023	10
	3.3 Bijdrage aan bodemkwaliteit	12
4	Conclusies	15
Literatuur		16

Samenvatting

Een duurzaam beheerde en gezonde bodem is van onschatbare waarde. Het hergebruik van baggerslib kan op gronden met beperkingen in chemische, fysische en biologische bodemfuncties mogelijk een rol spelen om de kwaliteit van de bodem te verbeteren.

In deze studie worden de veranderingen in bodemkwaliteit in beeld gebracht voor een zandgrond in Zeijen waar in 2017 drie behandelingen zijn aangelegd variërend in de hoeveelheid slib dat is toegediend. Hierbij wordt specifiek gekeken naar de hoeveelheid en kwaliteit van organische stof, de pH, CEC en de bezetting ervan met calcium, kalium en natrium als ook de plant-beschikbare hoeveelheid van deze nutriënten. Ook wordt in kaart gebracht wat de effecten zijn op de hoeveelheid bacteriële biomassa, schimmelbiomassa, en de microbiële afbraak via een anaerobe incubatieproef (de PMN-methode). Na één jaar bleek dit slib een positief effect te hebben op de CEC, de bezetting van de CEC met kationen en de zuurgraad. en daaraan gekoppeld had de toediening van 30 tot 60 ton slib per hectare een positief effect op de gewasopbrengst. Er werd ook een sterke stijging in het plant-beschikbare hoeveelheid natrium waargenomen, met mogelijk negatieve effecten op de gewasopbrengst zodra meer dan 90 ton slib per hectare werd toegediend.

In 2023 is het proefveld opnieuw bemonsterd om te toetsen of de toegediende slib ook op langere termijn een positieve bijdrage heeft geleverd aan de kwaliteit van de bodem. Hieruit bleek dat er weinig tot geen meetbare effecten waarneembaar waren in het veld voor wat betreft de uitgevoerde bodemkwaliteitsmetingen: de verschillen binnen de aangelegde behandelingen was groter dan de verschillen tussen de behandelingen. Eventuele effecten van het slib zijn daarom beperkt.

Wanneer de impact van het slib wordt beoordeeld op 18 bodemfuncties die van invloed zijn op een duurzame teelt van suikerbieten (conform de systematiek van de Bodemindicatorenset Landbouwgronden Nederland), dan blijkt dat de toevoeging van slib een lichte verbetering realiseert in vooral de chemische bodemfuncties, in het bijzonder voor de pH, kalium en magnesium. Een kleine verandering in een set aan bodemparameters door de toevoeging van slib kan dus leiden tot een verbetering van de bodemkwaliteit. De effecten op de bodemstructuur waren vrijwel afwezig, op zowel korte als lange termijn. Opvallend is de negatieve impact op de onderzochte biologische functies, functies die sterk samenhangen met het gehalte organische stof en de microbiële activiteit. In deze studie zijn de mogelijke oorzaken hiervan niet verder onderzocht.

1 Introductie

1.1 Achtergrond

De bodem is de basis van een agrarisch bedrijf en de motor van een gezonde en productieve landbouw. Een duurzaam beheerde en gezonde bodem is daarom van grote waarde. Gezonde bodems leveren namelijk een groot aantal ecosysteemdiensten voor zowel agrariërs als waterbeheerders en andere landgebruikers. Zowel het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV, kamerbrief van mei 2018), als private partijen (in het Nationaal Programma Landbouwbodems, NPL) hebben als streefdoel aangegeven dat alle landbouwbodems in Nederland in 2030 daarom duurzaam worden beheerd. Om na te gaan of bodems duurzaam beheerd worden en daarmee de huidige goede bodemkwaliteit voor toekomstige generaties behouden blijft, is het nodig om eenduidig de huidige situatie als ook gewenste verbetering van de bodemkwaliteit vast te stellen. Dit inzicht is ook nodig om effectief te kunnen sturen op maatregelen om de bodemkwaliteit te verbeteren. Alleen op basis van betrouwbare en zinvolle metingen, en een deugdelijke interpretatie van deze metingen, kan beoordeeld worden wat de kwaliteit is en welke maatregelen nodig zijn om de bodemkwaliteit te behouden of te verbeteren. In de afgelopen jaren is daarvoor door kennisinstellingen een instrument ontwikkeld om de kwaliteit van landbouwbodems inzichtelijk te maken: de Bodemindicatoren-set Landbouwgronden Nederland (BLN), versie 2.0 (Ros et al., 2023).

Via deze systematiek kan de bijdrage van de bodem aan verschillende ecosysteemdiensten, zoals landbouwkundige gewasproductie, waterregulatie, koolstofopslag, recycling van nutriënten en het stimuleren van biodiversiteit, worden gekwantificeerd. Deze vijf ecosysteemdiensten worden in het vervolg van dit rapport als volgt benoemt:

1. Primaire productie (van landbouwgewassen): de capaciteit van een bodem om plantbiomassa te produceren voor humaan gebruik, en daarmee het leveren van voedsel, (dier)voer, vezels en brandstof binnen de grenzen van het natuurlijke of beheerde ecosysteem.
2. Waterregulatie en zelfreinigend vermogen: de capaciteit van een bodem om water te ontvangen, opslaan en geleiden voor later gebruik (en daarmee voorkomen van droogte, overstroming en erosie), en om schadelijke stoffen uit het water te verwijderen.
3. Koolstofvastlegging en klimaatregulatie: de capaciteit van een bodem om de negatieve impact van emissies van broeikasgassen (CO_2 , CH_4 en N_2O) op het klimaat te verminderen.
4. Faciliteren van de nutriëntenkringloop: de capaciteit van een bodem om nutriënten te ontvangen (in de vorm van (bij)producten), te leveren (uit intrinsieke bronnen) of te onderscheppen (uit lucht of water), en deze effectief over te brengen naar planten en te oogsten producten.
5. Bodembiodiversiteit en habitatvoorziening: de veelheid en verscheidenheid van bodemorganismen en -processen die interacteren in een ecosysteem, een significant onderdeel zijn van het natuurlijke kapitaal van een bodem, en een brede range aan culturele en onbekende diensten leveren aan de maatschappij.

Een goede bodemkwaliteit en bodemvruchtbaarheid is niet vanzelfsprekend (Ros, 2020abc). De huidige kwaliteit van onze landbouwbodems is het resultaat van het samenspel van natuurlijke geohydrologische factoren, het bodembeheer en bemesting van voorgaande jaren. Omdat er via afgevoerde gewassen nutriënten verdwijnen en natuurlijke processen de aanwezige koolstof afbreken en de bodem verzuren, is het belangrijk om de bodem in balans te brengen. Deze balans is niet alleen gericht op koolstof, stikstof of fosfaat, maar ook op de noodzakelijke bodemstructuur en de levende organismen in de bodem. Bodems zijn van nature geen oneindige bron van water en voedingsstoffen. Een landbouwbodem moet daarom beheerd worden. Dit vraagt om een ingewikkeld samenspel van bemesting, bouwplan, drainage en bodembeheer. Zonder mest wordt de bodem onvruchtbaar. Zonder drainage kan de bodem onbewerkbaar worden en kunnen gewassen niet groeien door waterstress. Zonder bekalking verzuurt de bodem. In deze interactie wordt dan ook het vakmanschap van de ondernemer zichtbaar.

Anno 2024 leven er ook zorgen rondom de bodemkwaliteit. Ondanks internationaal beleid en richtlijnen hebben veel bodems "last van verzuring, vermesting, verdroging, verdichting en een verhoogde kwetsbaarheid" aldus de Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur (Raad voor de leefomgeving en infrastructuur, 2020). Internationale doelen voor bodem, natuur, water en klimaat worden niet gehaald. Intensief gebruik en gevaarlijke stoffen zetten de vitaliteit onder druk. Met als gevolg lagere opbrengsten en een matig tot slechte kwaliteit van de beschermde natuur. Overmatige bemesting in het verleden heeft bijgedragen aan ongewenste verrijking van grond- en oppervlaktewater met stikstof en fosfaat; een situatie die niet in een handomdraai is te wijzigen. Een sterke uniformering van het landschap en gelijktijdigheid van agrarische activiteiten (zoals bemesten, maaien, bespuiten en ploegen) lijkt gekoppeld te zijn aan de sterke afname in boven- en ondergrondse biodiversiteit. Ook de waterkwaliteit voldoet niet aan de normen en bodems houden te weinig water vast en stoten te veel broeikasgassen uit. Hoewel het grootste deel van de landbouwbodems nog tot de meest vruchtbare bodems van Europa behoren, is er een groeiende vraag naar verbreding van de diensten die de bodems kunnen leveren aan de kwaliteit van de leefomgeving. Meer en meer maatschappelijke en economische opgaven worden dan ook vertaald in richtlijnen voor een duurzaam bodembeheer.

1.2 Doelstelling

Er zijn binnen Nederland verschillende initiatieven om te onderzoeken of de inzet van baggerslib als bodemverbeteraar gewenst is om de bodemkwaliteit waar nodig te verbeteren. In de Nederlandse akkerbouw is er namelijk behoefte aan een bron van stabiele organische stof die weinig tot geen N en P bevat (Van Dijk, 2011). Op de zandgronden kan slib naast organische stof ook een meerwaarde bieden als gevolg van de toegevoegde kleimineralen waarmee het bufferend vermogen van de bodem wordt versterkt. Daarnaast is er behoefte aan producten die problemen met bodemstructuur kunnen verhelpen, zoals stuifschade aan het gewas door winderosie. Anno 2024 is het gebruik van slib in de Nederlandse akkerbouw echter beperkt, en zijn mogelijke effecten op bodemkwaliteit onvoldoende in beeld. In 2017 is daarom in Zeijen een blokkenproef uitgevoerd om de mogelijke effecten van baggerslib afkomstig uit de Waddenzee te evalueren. In 2023 is binnen dezelfde blokkenproef opnieuw een bodemanalyse uitgevoerd om mogelijke lange-termijn effecten op de bodemkwaliteit in beeld te brengen. De voorliggende rapportage beschrijft de resultaten van deze heranalyse.

2 Werkwijze

2.1 Blokkenproef

Sinds 2015 wordt door Groningen Seaports, in samenwerking met praktijkbedrijven, gezocht naar toepassingen van (zout) waddenslib op zand- en dalgronden om de landbouwkundige kwaliteit van deze landbouwbodems in de Veenkoloniën te verbeteren. Gedurende de jaren 2015 – 2018 is veel ervaring opgedaan op logistiek gebied, en zijn veel waarnemingen gedaan die de toegedachte eigenschappen van slib bevestigen. Hierbij wordt een positief effect verwacht van de in het slib aanwezige organische stof en kleideeltjes. Het slib bevat daarnaast (veel) natrium en kan als zodanig een bemestende waarde in de bietenteelt hebben. Deelnemende telers kunnen zo besparen op een eventuele natriumbemesting. Het slib is steekvast (vochtgehalte 50%) en wordt bovengronds op het land verspreid.

Om dit ook daadwerkelijk in de praktijk te beproeven is in 2017 een blokkenproef aangelegd op het bedrijf "Op de Es" te Zeijen met als doel om vast te stellen of de toepassing van Waddenslib op dalgronden een positief effect kan hebben op de kwaliteit van de bodem (in het bijzonder in relatie tot het organische stofgehalte, het gehalte aan nutriënten, en het watervasthoudend vermogen) en de productie van landbouwgewassen.



Figuur 2.1 Proefopzet van de blokkenproef voor evaluatie van de werking van Waddenslib (De Vries et al., 2019).

De proef is gelegen aan de dr. Joh. Picardtweg te Zeijen. Er is een gebalanceerde blokproef aangelegd met vijf behandelingen en vier herhalingen (Figuur 2-1).

De behandelingen zijn:

- A. de referentiesituatie waarin de normale boerenpraktijk is gevolgd
- B. een situatie waarbij 150 kg kalisulfaat wordt gegeven
- C. een gift van 30 ton baggerslib per hectare
- D. een gift van 60 ton baggerslib per hectare
- E. een gift van 90 ton baggerslib per hectare

Bij de opzet van de proef werd aangenomen dat de stikstoflevering van het slib verwaarloosbaar is evenals de levering van fosfaat (De Vries, 2019). Bij een gift van 30 ton slib per hectare wordt er minimaal 20 kg SO₄ aangevoerd en 200 kg Na₂O.

In 2017 en 2018 als ook in 2023 zijn bodemmonsters genomen van de bovengrond (25 cm diepte) en geanalyseerd via een klassieke bodemvruchtbaarheidsanalyse van Eurofins (de BemestingsWijzer). In 2017 is daarnaast ook een Bodemconditiescore bepaald, het gehalte hot water carbon (HWC) en het voorkomen van aardappelcystenaaltjes. Voor een bespreking van de resultaten van deze analyse uit 2017 en 2018, verwijzen we u graag naar De Vries (2019).

Een analyse van de milieukundige impact van het slib (o.a. zware metalen) als ook de van toepassing zijnde wet- en regelgeving valt buiten de analyse in deze studie.

2.2 Bodemkwaliteitsbeoordeling

Om te kunnen beoordelen of de toevoeging van het Waddenslib de bodemkwaliteit verbeterd is het nodig om de gemeten verandering in bodemeigenschappen te interpreteren en te beoordelen. Voor deze studie wordt hiervoor gebruik gemaakt van de systematiek van de Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland. Deze systematiek geeft een beoordeling van de bodemkwaliteit in relatie tot de mogelijke ecosysteemdiensten die de bodem levert. Voor de huidige studie wordt hierbij gekeken naar de bijdrage die de bodem levert aan de ecosysteemdienst *primaire productie*.

De set Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland (BLN 2.0) is een wetenschappelijk verantwoorde indicatorset die de basis vormt om de kwaliteit van de Nederlandse landbouw bodems integraal (fysisch, chemisch, biologisch), voor verschillende ecosysteemdiensten, vast te stellen. Het bestaat uit een lijst met indicatoren die relatief goedkoop en eenvoudig zijn te bepalen. De streefwaardes zijn opgesteld voor de verschillende functies die de bodem levert (Ros et al., 2023). Omdat de gewenste kwaliteit van de landbouwbodem afhangt van de specifieke omstandigheden van de percelen, zoals landgebruik en bodemtype, zijn de streefwaardes op perceelniveau bepaald met inachtneming van deze factoren. Dit betekent ook dat de bodemkwaliteit in beeld wordt gebracht voor alle gewassen in het bouwplan, en dat deze vervolgens worden geaggregeerd tot één beoordeling per perceel.

Op basis van beschikbare bodem- en perceeleigenschappen wordt allereerst de landbouwkundige streefwaarde vastgesteld voor een serie aan chemische, fysische en biologische bodemfuncties. Daarna wordt inzicht gegeven in welke mate dit optimum wordt bereikt. Dit betekent concreet dat voor elke bodemfunctie een 'distance to target' wordt berekend, waarbij de afstand tot het optimum wordt uitgedrukt op een schaal van nul (slechte bodemkwaliteit) tot tien (goede bodemkwaliteit). Dit geeft een score voor elke bodemfunctie. Als het cijfer lager is dan een 5 dan is er sprake van een serieus knelpunt. Een cijfer rond de 7 geeft aan dat er aandacht nodig is om de bodemfunctie te verbeteren. Als er in dit rapport wordt gesproken over (bodemkwaliteit)scores dan betreft het dus deze "distance to target" waarbij een rapportcijfer 10 aangeeft dat de bodemkwaliteit optimaal is voor het te bereiken doel.

De bodemfuncties die in deze studie zijn geanalyseerd, focussen op de landbouwkundige functie in relatie tot het produceren van gewassen. De kernvraag hierbij is "zorgt de toevoeging van Waddenslib voor een verbetering van de bodemkwaliteit?". Deze vraag wordt beantwoord voor zeven chemische bodemfuncties waaronder het beschikbaar maken van stikstof, fosfaat, kalium, magnesium en zwavel als ook het bufferend vermogen van de bodem. Ook wordt onderzocht wat het effect is van de toegevoegde Waddenslib op verkruiembaarheid, verslemping, droogtestress, natschade, verstuiving, verdichting, de buffering van water (de pF curve), de aggregaatstabiliteit en de bewerkbaarheid van de bodem. Als laatste wordt onderzocht wat het effect is op de ziekteverendheid als ook de activiteit van het bodemleven. Voor elk van deze bodemfuncties wordt de uitgangssituatie als ook de situatie na toediening van het slib vergeleken met een streefwaarde.

3 Resultaten

Dit hoofdstuk bestaat uit drie secties. Allereerst wordt een beschrijving gegeven van de waargenomen veranderingen in de gemeten bodemeigenschappen in het eerste jaar na toediening (het jaar 2018). Hierbij ligt de focus op bodemeigenschappen die significant beïnvloedt werden door de toevoeging van het Waddenslib. Meetdata van alle bodemeigenschappen zijn opgenomen in Bijlage I. In sectie 3.2 wordt beschreven of deze veranderingen zes jaar na toediening (in 2023) nog meetbaar waren. Als laatste wordt in sectie 3.3 inzicht gegeven in de gevolgen van deze veranderingen op de verschillende bodemfuncties die de bodem levert ten behoeve van een duurzame gewasproductie.

3.1 Resultaten proefjaar 2017-2018

De opbrengsten op het gewas, de kwaliteit van de bodem, en het grondwater één jaar na toediening van het slib zijn gedetailleerd in beeld gebracht in de studie van De Vries (2019). In deze paragraaf worden alleen de belangrijkste resultaten opnieuw beschreven.

Het toevoegen van het baggerslib had in het eerste jaar na toediening een positief effect op de CEC (met een stijging van 9 tot 17 mmol+ kg⁻¹) en de pH (zie Tabel 1). De basenverzadiging werd significant verhoogd, waarbij de toename per element niet significant kon worden aangetoond, dat wil zeggen de bezetting van de CEC met calcium, magnesium en natrium toenam maar dat de variatie binnen de behandelingen groter was dan de veranderingen tussen de behandelingen. De totale bezetting met kationen nam toe met de hoogte van de gift. Als gevolg daarvan nam ook het gehalte plant-beschikbaar kalium licht toe ($P > 0.05$). Er werd een sterke stijging waargenomen voor het gehalte plant-beschikbaar natrium ($P < 0.001$) en een kleine stijging voor het totale zwavelgehalte en het gehalte borium. Het gehalte plant-beschikbaar zink daalde sterk. Het percentage organische stof was niet meetbaar verhoogd ($P > 0.05$).

Tabel 1 Effecten van Waddenslib op een aantal bodemeigenschappen één jaar na toediening, waarbij zowel de uitgangssituatie als ook de veranderingen per behandeling (controle, controle + KS, en toediening van 30, 60 en 90 ton slib per hectare). Het betreft hier bodemparameters waarbij een effect van het slib verwacht werd. Voor een overzicht van alle bodemparameters, zie Bijlage I.

	Uitgangs-situatie	Controle	Controle + KS	Slib (30 ton)	Slib (60 ton)	Slib (90 ton)
Organische stof (%)	4,0	0a*	0a	0,3a	0,3a	0,4a
pH (-)	5,1	0a	0,1a	0,3b	0,3ab	0,3b
CEC (mmol+ kg ⁻¹)	41,5	1a	5,5ab	8,8abc	13bc	16,8c
Basenverzadiging (%)	82	13a	11a	13a	27a	20a
Calcium (mmol+kg ⁻¹)	50	-0a	3a	12ab	18b	24b
Kalium (mmol+ kg ⁻¹)	2,6	-0,4a	-0,1a	0,5a	0,6a	0,2a
Magnesium (mmol+ kg ⁻¹)	3,5	-1,2a	0,2a	0,7a	0,2a	-0,1a
Natrium (mmol+ kg ⁻¹)	0,5	-0,2a	-0,1a	0,1a	0,1a	-0,1a
Zwavel (mg kg ⁻¹)	2,9	4,3a	3,9a	5,7a	9,4ab	13,7b
Kalium (mg kg ⁻¹)	70	1,5a	-6a	11a	6,8a	7,8a
Natrium (mg kg ⁻¹)	9	33a	25a	76b	104c	130d
Borium (ug kg ⁻¹)	98	4a	8ab	30ab	44bc	75c
Zink (ug kg ⁻¹)	1606	355c	78bc	-185b	-858a	-1032a

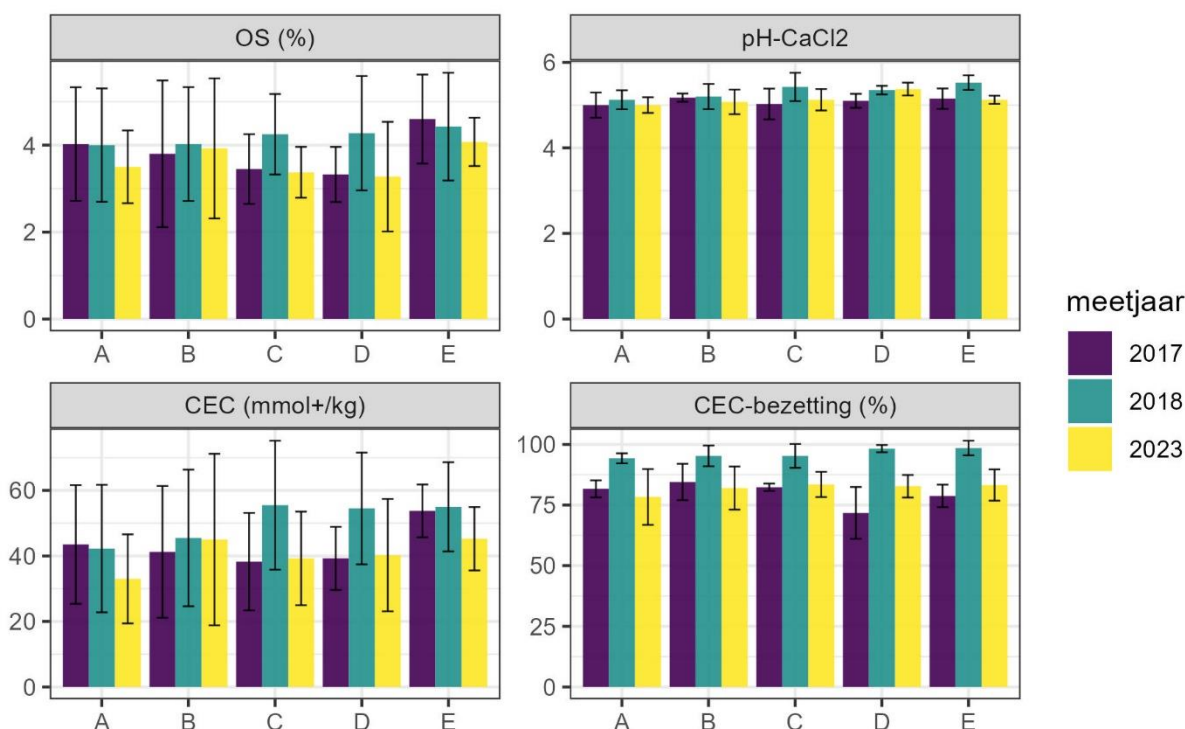
* significante verschillen tussen behandelingen en over de periode van 1 jaar zijn getoetst via ANOVA gecombineerd met post-hoc Tukey test.

Veranderingen die significant van elkaar verschillen hebben een andere letter.

De toediening van het slib resulteerde in een licht verhoogde opbrengst (voor suikerbieten) en een hoger suikergehalte (De Vries, 2019). De behandelingen met 60 ton slib hadden gemiddeld de hoogste opbrengst. Een hogere dosering van 90 ton slib per hectare zorgde voor een reductie in de gewasopbrengst, mogelijk door een te hoge natriumgehalte.

3.2 Resultaten proefjaar 2023

Zes jaar na toevoeging van de verschillende hoeveelheden slib was het effect op bodemkenmerken gering (Figuur 3-1) en de initiële effecten van het slib bij hogere doses (behandeling E) op het OS-gehalte en de bezetting van de CEC met calcium, kalium en magnesium zijn grotendeels weer verdwenen ($P > 0.05$).



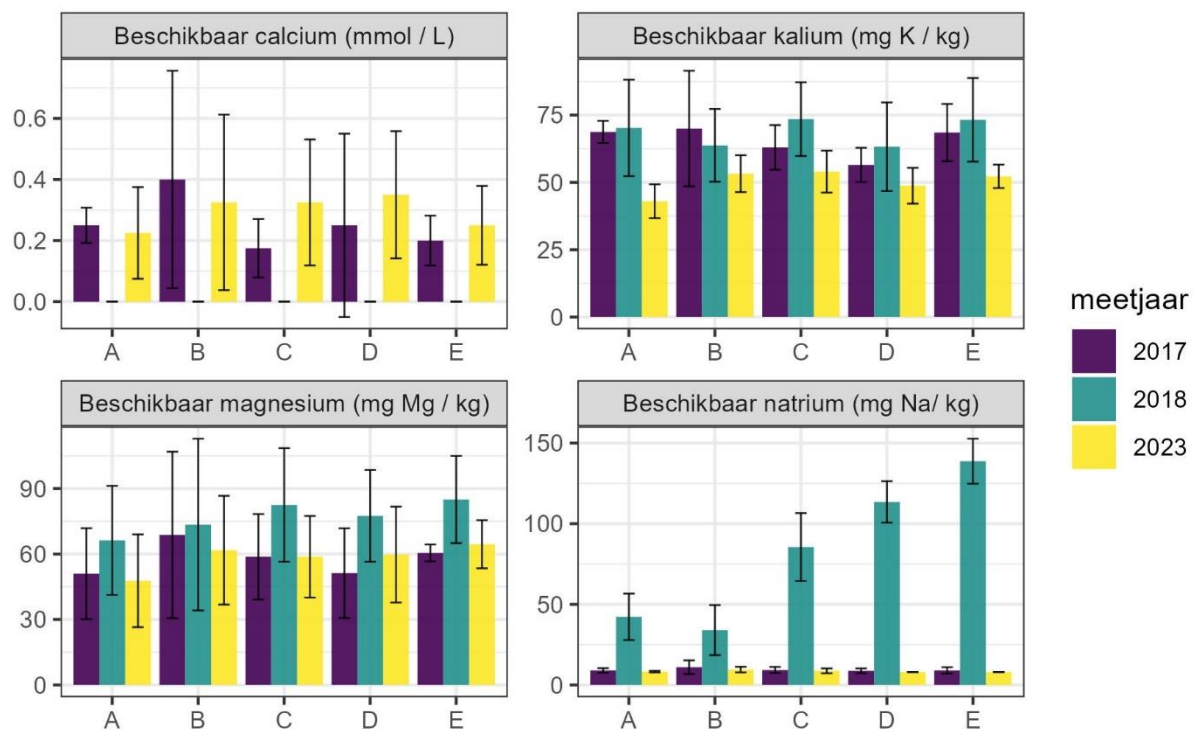
Figuur 3.1 Effecten van het toevoegen van slib op het OS-gehalte, de pH, de CEC en de CEC-bezetting voor de uitgangssituatie, en na één en zes jaar na aanleg van behandelingen A (controle), B (controle + KS), C (30 ton ha⁻¹), D (60 ton ha⁻¹) en E (90 ton ha⁻¹).

Het gemiddelde organische stofgehalte varieerde van 3,3% voor de behandeling met 30 ton slib per hectare tot 4,6% voor de behandeling met 90 ton slib per hectare. In de behandelingen zonder slib varieerde het gemiddelde organische stofgehalte tussen de 3,5 en 4,0%. Door de grote spreiding binnen de behandelingen is het effect van de toegevoegde slib niet waarneembaar voor zowel het effect van tijd ($P = 0.53$) als de behandeling ($P = 0.317$). De kleine daling in het OS-gehalte in de afgelopen tien jaar hangt mede samen met de natuurlijke bodemafbraak als ook de voorgeschiedenis qua bemesting en landgebruik. In de jaren na 2018 zijn er de volgende gewassen geteeld: granen, aardappel, en snijmais. De OS-aanvoer via gewasresten in de laatste drie jaren is hierdoor relatief beperkt, en zal na de teelt van granen en suikerbieten weer licht stijgen.

Vergelijkbare resultaten zijn zichtbaar voor de binding aan het kleihumuscomplex ($P > 0.5$). De CEC varieerde van 33 mmol kg⁻¹ in de controleplot en was maximaal 54 mmol kg⁻¹ in 2018 voor de behandeling met de hoogste aanvoer met slib. Dit betekent dat het toevoegen van slib tot een initiële verhoging leidde in het eerste jaar na toediening, maar dat effecten op het organische stofgehalte, pH, CEC en CEC-bezetting na zes jaren niet mee waarneembaar waren. De pH van de bodem is structureel met 0.1 tot 0.2 eenheden gestegen, al is dit effect door de variatie binnen de behandelingen niet significant.

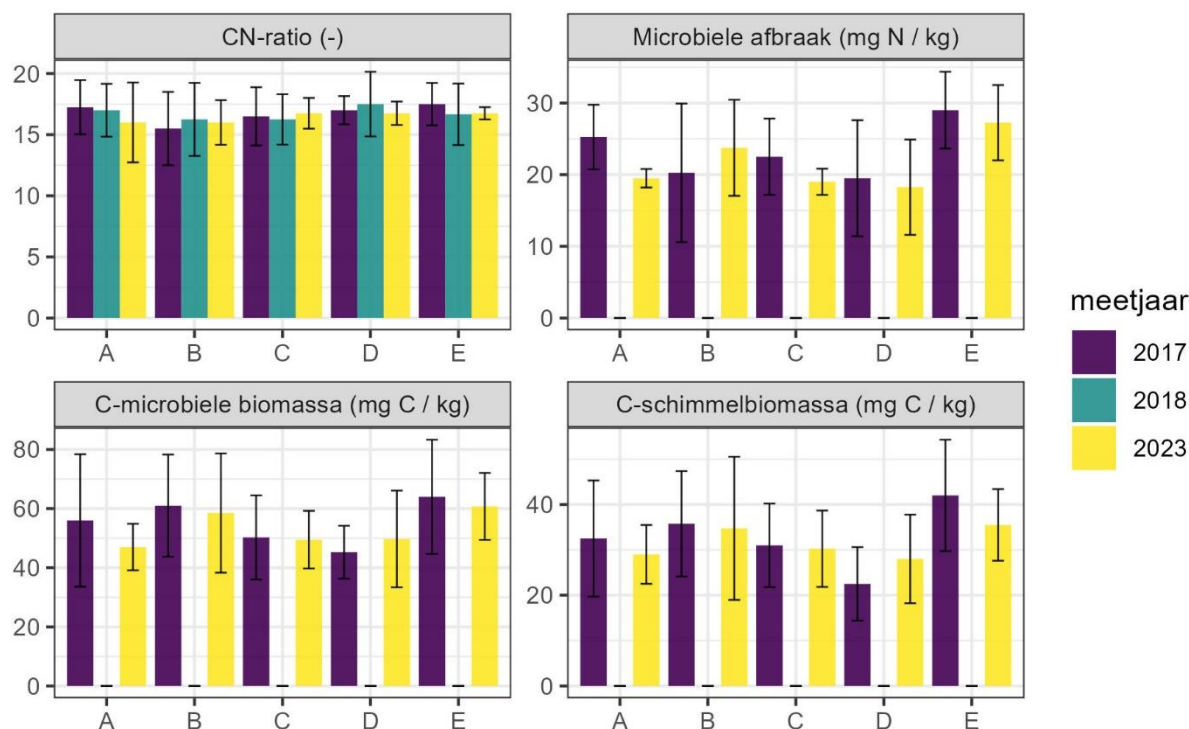
Op een vergelijkbare manier is de variatie in beeld gebracht voor het sterk gestegen natriumgehalte (als gevolg van de hoge natrium-aanvoer) en de drie andere kationen in de bodem: calcium, kalium en magnesium (Figuur 3-2). Na zes jaar is de calcium concentratie vergelijkbaar in alle behandelingen ($P > 0.05$). Het gehalte plant-beschikbaar kalium is in de afgelopen jaren blijkaar gedaald, wat betekent dat de aanvoer van kalium via drijfmest of kunstmest kleiner is geweest dan de totale afvoer via gewasopname en mogelijke uitspoeling. Er zijn in 2023 geen verschillen waarneembaar tussen de verschillende behandelingen. De initiële stijging van het magnesiumgehalte (hoewel niet significant) is grotendeels weer verdwenen, en ook hier zijn er geen verschillen

meetbaar tussen de behandelingen. Door de hoge natrium-aanvoer na toediening steeg de hoeveelheid beschikbaar natrium sterk in het eerste jaar ($P < 0.001$), maar ook dit effect is na een aantal jaren volledig verdwenen ($P > 0.05$).



Figuur 3.2 Effecten van het toevoegen van slib op het gehalte plant-beschikbaar calcium (gemeten in een water extract), kalium, magnesium en natrium (gemeten in 0.01M CaCl₂ extract) op drie tijdstippen en de behandelingen A (controle), B (controle + KS), C (30 ton ha⁻¹), D (60 ton ha⁻¹) en E (90 ton ha⁻¹).

Omdat de toevoeging van organische stof, metalen en nutriënten ook een invloed hebben op de diversiteit en activiteit van het bodemleven zijn in 2017 en 2023 ook diverse metingen uitgevoerd van biologische parameters. We illustreren de effecten van het toegediende Baggerslib op de CN-verhouding van de organische stof, de potentiële mineralisatie gemeten via een anaerobe mineralisatieproef (microbiële afbraak) en de hoeveelheid microbiële biomassa als ook de schimmelbiomassa. Voor al deze parameters heeft het gebruik van slib geen positief of negatief effect ($P > 0.05$), en effecten worden kleiner over de loop van de tijd.



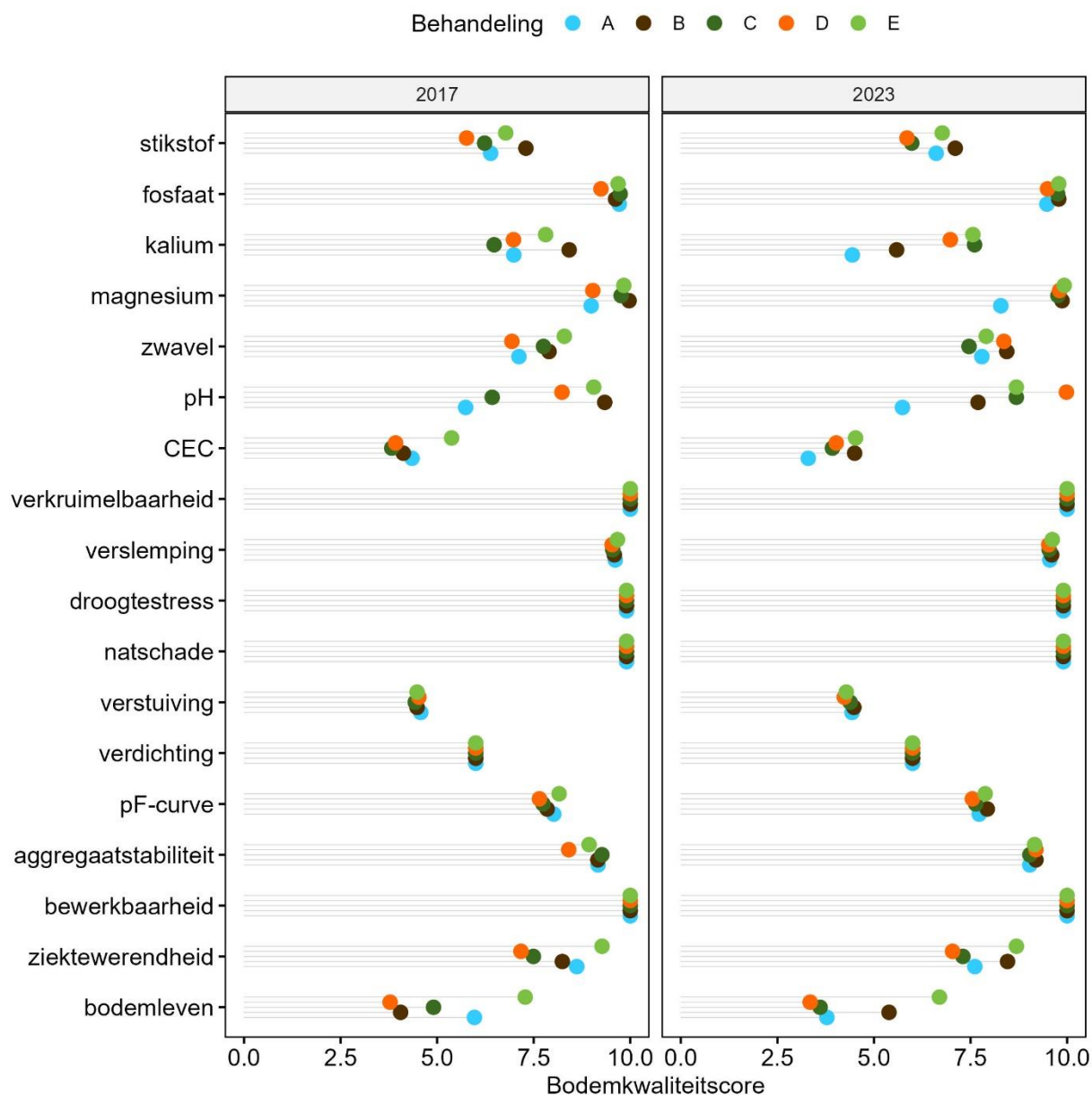
Figuur 3.3 Effecten van het toevoegen van slib op de CN-ratio, de microbiële afbraak, de microbiële biomassa en schimmelbiomassa op drie tijdstippen en de behandelingen A (controle), B (controle + KS), C (30 ton ha⁻¹), D (60 ton ha⁻¹) en E (90 ton ha⁻¹).

3.3 Bijdrage aan bodemkwaliteit

In aanvulling op de gemeten veranderingen in bodemanalyses (zie secties 3.1 en 3.2), is voor de verschillende behandelingen ook in kaart gebracht hoe de chemische, fysische en biologische functies van de bodem zijn beïnvloedt door de toediening van het baggerslib. Hierbij is gebruik gemaakt van de BLN-systematiek. De BLN is een beoordelingsinstrument waarmee de kwaliteit van de bodem kan worden weergegeven per bodemfunctie. Een lage waardering (de waarde 0) geeft aan dat er een serieus knelpunt ligt, en een hoge waardering (de waarde 10) geeft aan dat de kwaliteit optimaal is voor een goede, duurzame landbouwproductie. De totaalscore is opgebouwd uit de scores voor:

- Chemie en nutriënten. Het gaat hierbij om bodemfuncties gerelateerd aan het leveren (en bufferen) van nutriënten. Dit is gedaan voor de nutriënten stikstof, fosfaat, kalium, magnesium en zwavel als ook de invloed van de pH en de CEC.
- Fysica en bodemstructuur. Het gaat hierbij om bodemfuncties gerelateerd aan de bodemstructuur, zoals de verkruijmbaarheid, verslumping, verstuing, droogte- en natschade, aggregaatstabiliteit, bewerkbaarheid en het vochtleverend vermogen).
- Biologie en bodemleven. Het gaat hierbij om de microbiële activiteit als ook de ziekteverendheid van een bodem.

Voor dit experiment is voor bovengenoemde chemische, fysische en biologische functies in kaart gebracht of er knelpunten waren op dit perceel (een score kleiner dan vijf) en hoe deze scores per functie zijn gewijzigd als gevolg van de tijd en de verschillende behandelingen (Figuur 3-3).



Figuur 3.4 Effecten van het toevoegen van slib op verschillende chemische, fysische en biologische bodemfuncties, uitgesplitst per meetmoment (2017 en 2023) als ook de verschillende behandelingen A (controle), B (controle + KS), C (30 ton ha⁻¹), D (60 ton ha⁻¹) en E (90 ton ha⁻¹). Een score kleiner dan vijf betekent een serieus knelpunt. Een score van tien betekent dat de functie in de desbetreffende optimaal is voor het bouwplan. De inhoudelijke afleiding van de gebruikte bodemfuncties wordt toegelicht in Ros et al. (2023).

Uit deze analyse blijkt dat de meeste chemische functies redelijk op orde zijn met de hoogste kwaliteit voor fosfaat en magnesium. Er ligt een knelpunt voor het gewas bij een relatief lage pH. Door het toevoegen van slib gaat de pH in vrijwel alle situaties dichterbij de streefwaarde toe. Voor kalium en magnesium ligt het bufferend vermogen van de bodem ook na zes jaar structureel hoger dan de controle-behandeling. Dit laat zien dat ook kleine veranderingen in een bodemparameter (dat wil zeggen de uitgevoerde bodemanalyse) toch invloed kan hebben op de bodemkwaliteit. Het bindend vermogen van de bodem is en blijft laag in alle behandelingen. Op het perceel is het risico op droogte- en natschade beperkt en is de bodemstructuur relatief goed op orde. Aandachtspunten zijn er rondom het voorkomen van bodemverdichting en verstuiving. Het toedienen van slib heeft echter geen of weinig meerwaarde omdat de bodemkwaliteit voor deze functies vrijwel onveranderd blijft. Dit is zichtbaar in vrijwel alle bodem-fysische functies. Opvallend is wel de negatieve impact op de ziekteverendheid als ook de activiteit van het bodemleven. Door het toedienen van slib is dit in vrijwel de meeste behandelingen verlaagd.

De belangrijkste meerwaarde van het slib lijkt hiermee te liggen in de beïnvloeding van het gedrag van nutriënten in de bodem. Dit compliceert een eventuele afzet in de Nederlandse landbouw waarbij de markt voor bodemverbeteraars sterk wordt gedomineerd door dierlijke mest. Nieuwe meststoffen en bodemverbeteraars moeten een positie verwerven tussen bestaande producten. Voor nieuwe bodemverbeteraars zal daarbij moeten worden aangetoond dat zij een doeltreffende werking hebben en dat zij inpasbaar zijn in de bedrijfsvoering (Van Dijk, 2011). Aandachtspunt is dat in praktijk blijkt dat er in de akkerbouw weinig bereidheid is om te betalen voor bodemverbeteraars.

Bagger is geen 'hoog gewaardeerd' product, en als gevolg daarvan is er op dit moment nog geen duidelijke productketen voor het hoogwaardig hergebruik. Bagger wordt normaliter op aangrenzende percelen uitgespreid of naar verondiepingsputten gebracht. In het Besluit bodemkwaliteit staat beschreven wanneer bagger, waar toegepast mag worden. In het najaar van 2016 is in opdracht van Rijkswaterstaat WVL & Oost-Nederland een verkenning uitgevoerd naar de mogelijkheden om (rivier)bagger /waterbodembodem te benutten als grondstof voor bodemverbetering in de landbouw. Voor een verdere toetsing van de inzetbaarheid van het Waddenslib kan gebruik gemaakt worden van de door hen ontwikkelde "*Menukaart voor beoordeling hoogwaardig hergebruik grond en bagger*" (Lieten & van Schöll, 2019).

4 Conclusies

Het hergebruik van baggerslib kan op gronden met beperkingen in chemische, fysische en biologische bodemfuncties mogelijk een rol spelen om de kwaliteit van de bodem te verbeteren. In deze studie worden de veranderingen in bodemkwaliteit in beeld gebracht voor een zandgrond in Zeijen waar in 2017 drie behandelingen zijn aangelegd variërend in de hoeveelheid slib dat is toegediend. Na één jaar bleek dit slib een positief effect te hebben op de CEC, de bezetting van de CEC met kationen als ook de pH. Er werd ook een sterke stijging in het plant-beschikbare hoeveelheid natrium waargenomen, met mogelijk negatieve effecten op de gewasopbrengst zodra meer dan 90 ton slib per hectare werd toegediend. Deze bodemkwaliteitsverbetering leidde bij een gift van 30 á 60 ton per hectare in het eerste jaar na toediening voor een hogere gewasopbrengst van suikerbieten. Na een her-bemonstering in 2023 bleek dat er weinig tot geen meetbare effecten waarneembaar waren in het veld: de verschillen binnen de aangelegde behandelingen was groter dan de verschillen tussen de behandelingen. Eventuele effecten van de toegediende slib op de kwaliteit van de bodem zijn daarom beperkt.

Wanneer de verschillende bodemfuncties worden beoordeeld in het licht van de optimale streefwaarde voor de teelt van suikerbieten (Figuur 3-4), dan blijkt dat de toevoeging van slib een lichte verbetering realiseert in de chemische bodemfuncties, in het bijzonder voor de pH en kalium. Een kleine verandering in een set aan bodemparameters kan desondanks leiden tot een verbetering van de bodemkwaliteit. De effecten op de bodemstructuur waren vrijwel afwezig, op zowel korte als lange termijn na toediening. Opvallend is de negatieve impact op de onderzochte biologische functies die sterk samenhangen met het gehalte organische stof en de microbiële activiteit. In deze studie zijn de mogelijke oorzaken hiervan niet verder onderzocht.

De resultaten van deze studie zijn gebaseerd op één proef uitgevoerd op een dalgrond in Drenthe en geven daarmee een indicatie van mogelijke verbeteringen in bodemkwaliteit op dalgronden. Omdat de bodemkwaliteit sterk kan variëren in relatie tot de gevraagde ecosysteemdiensten, en samenhangt met de lokale situatie, is het raadzaam de conclusies van dit rapport niet te extrapoleren naar alle landbouwpercelen in Nederland. Dit omdat knelpunten in chemische bodemfuncties relatief beperkt voorkomen (Ros et al., 2022) en empirisch onderzoek op meerdere locaties nodig is om de meerwaarde van slib als breed inzetbare bodemverbeteraar te onderbouwen.

Literatuur

- De Haan, J.J., van den Elsen, E., Visser, S.M., 2021. Evaluatie van de Bodemindicatoren Voor Landbouwgronden in Nederland (BLN), Versie 1.0. Rapport WPR-883. Wageningen: Wageningen Research. <https://edepot.wur.nl/549973>.
- De Vries, H., 2019. Waddenslib voor zandgrondverbetering. Rapportage 2018. Delphy rapport, 26 pp.
- Lieten, S.H., Van Schöll, L., 2019. Menukaart voor beoordeling hoogwaardig hergebruik grond en bagger. Witteveen+Bos-rapport 100554/19-014.766, 65 pp.
- Raad voor de leefomgeving en infrastructuur, 2020. De bodem bereikt?!
- Ros, G.H., 2020a. De bodem bereikt! Hoe verder? 2020. <https://www.linkedin.com/pulse/de-bodem-bereikt-hoe-verder-gerard-ros/>.
- Ros, G.H., 2020b. Is de bodem echt bereikt? Deel 2. Mogelijke oorzaken van een negatieve blik op de landbouwbodem. 2020. <https://www.linkedin.com/pulse/de-bodem-echt-bereikt-deel-2-gerard-ros/>.
- Ros, G.H., 2020c. Is de bodem echt bereikt? Een (her)evaluatie van de kwaliteit van de Nederlandse landbouwbodem. 2020. <https://www.linkedin.com/pulse/de-bodem-echt-bereikt-gerard-ros/>.
- Ros, G.H., de Haan, J.J., Fuchs, L.M. Molendijk, L., 2023. Bodembeoordeling van landbouwgronden voor diverse ecosysteemdiensten; Ontwikkeling van de BLN, versie 2.0. Wageningen Research, Rapport WPR-OT 1030, 91 pp.
- Van Dijk, T., 2011. Welke mineralen passen bij de akkerbouw? Notitie NMI, 2011. <http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/document/welke-mineralen-passen-bij-de-akkerbouw>
- Ros, G.H., Verweij, S.E., Janssen, S.J.C., De Haan, J., Fujita, Y., 2022. An Open Soil Health Assessment Framework Facilitating Sustainable Soil Management. Environmental Science & Technology 56 (23): 17375–84.

Bijlage I. Meetresultaten

Tabel I.1. Meetresultaten per behandeling en tijdspad. Deel basis bodemkenmerken.

id	Behandeling	Jaar	OmMonster	klei	silt	zand	dichtheid	os	corg	c_os_fr	ph-cc	caco3	cec	cec-bezetting
				%	%	%	kg / m3	%	g/kg	-	-	%	mmol+/kg	%
1	B	2017	2017 Zeyen A-1 0 ton+kali	2	16	79	1485	2.9	1.46	0.5	5.3	0.2	36	81
2	D	2017	2017 A-2 60 ton	2	10	84	1433	4.1	2.29	0.56	4.9	0.2	49	81
3	E	2017	2017+A4:A21 A-3 90 ton	2	11	83	1455	3.4	1.91	0.56	5.3	0.2	45	73
4	C	2017	2017 A-4 30 ton	1	11	87	1516	2.3	1.19	0.52	4.5	0.2	16	
5	A	2017	2017 A-5 0 ton	1	13	84	1511	2.5	1.21	0.48	4.7	0.2	17	
6	C	2017	2017 B-1 30 ton	2	15	79	1439	4	2.08	0.52	5.2	0.2	47	81
7	E	2017	2017 B-2 90 ton	2	11	81	1375	5.4	3.19	0.59	4.9	0.3	59	83
8	A	2017	2017 B-3 0 ton	2	14	78	1342	5.6	3.39	0.61	4.9	0.4	58	85
9	D	2017	2017 B-4 60 ton	2	11	84	1465	3.1	1.66	0.54	5.1	0.4	30	71
10	B	2017	2017 B-5 0 ton +kali	1	9	88	1537	2	0.95	0.48	5.1	0.2	16	76
11	A	2017	2017 C-1 0 ton	2	12	81	1415	4.4	2.41	0.55	5	0.3	50	82
12	C	2017	2017 C-2 30 ton	2	15	79	1456	3.5	2.06	0.59	5.3	0.2	44	84
13	D	2017	2017 C-3 60 ton	2	16	79	1460	3.5	1.95	0.56	5.3	0.3	46	78
14	B	2017	2017 C-4 0 ton + kali	3	15	76	1346	5.8	3.35	0.58	5.1	0.4	63	93
15	E	2017	2017 C-5 90 ton	2	17	77	1422	4.1	2.35	0.57	5.4	0.3	49	77
16	E	2017	2017 D-1 90 ton	2	13	79	1361	5.5	3.18	0.58	5	0.4	62	82
17	B	2017	2017 D-2 0 ton + kali	2	12	81	1413	4.5	2.56	0.57	5.2	0.3	50	88
18	C	2017	2017 D-3 30 ton	1	12	83	1415	4	2.25	0.56	5.1	0.3	46	82
19	A	2017	2017 D-4 0 ton	2	16	78	1442	3.6	2.04	0.57	5.4	0.3	49	78
20	D	2017	2017 D-5 60 ton	2	16	79	1497	2.6	1.42	0.55	5.1	0.3	32	57
21	B	2023	2023 Zeyen A-1 0 ton+kali	2	14	81	1472	3.2	1.69	0.53	5.1	0.3	35	72
22	D	2023	2023 A-2 60 ton	1	10	84	1401	4.6	2.46	0.53	5.2	0.3	57	89
23	E	2023	2023+A4:A21 A-3 90 ton	2	11	83	1435	3.9	2.18	0.56	5.2	0.2	45	91
24	C	2023	2023 A-4 30 ton	1	10	87	1508	2.5	1.26	0.5	4.8	0.3	18	81
25	A	2023	2023 A-5 0 ton	1	12	84	1512	2.4	1.17	0.49	4.8	0.3	13	
26	C	2023	2023 B-1 30 ton	2	15	79	1450	3.6	1.93	0.54	5.4	0.4	49	78
27	E	2023	2023 B-2 90 ton	2	11	82	1396	4.9	2.67	0.54	5.1	0.3	59	86
28	A	2023	2023 B-3 0 ton	2	12	82	1414	4.1	2.39	0.58	5.1	0.3	42	90
29	D	2023	2023 B-4 60 ton	1	11	86	1514	2.3	1.24	0.54	5.3	0.2	24	78
30	B	2023	2023 B-5 0 ton + kali	1	12	86	1535	2	1.05	0.53	4.7	0.3	13	
31	A	2023	2023 C-1 0 ton	2	13	80	1415	4.2	2.29	0.55	4.9	0.4	41	78
32	C	2023	2023 C-2 30 ton	2	12	82	1444	3.7	2.11	0.57	5.2	0.3	45	90
33	D	2023	2023 C-3 60 ton	2	15	79	1429	4.1	2.34	0.57	5.5	0.2	53	83
34	B	2023	2023 C-4 0 ton + kali	2	16	76	1380	5.4	3.15	0.58	5.4	0.3	71	89
35	E	2023	2023 C-5 90 ton	2	15	79	1444	3.8	2.1	0.55	5.2	0.3	38	79
36	E	2023	2023 D-1 90 ton	2	11	83	1446	3.7	2.06	0.56	5	0.3	39	77
37	B	2023	2023 D-2 0 ton + kali	2	11	82	1374	5.1	2.92	0.57	5.1	0.3	61	85
38	C	2023	2023 D-3 30 ton	2	14	80	1428	3.7	2.06	0.56	5.1	0.3	45	85
39	A	2023	2023 D-4 0 ton	2	15	80	1468	3.3	1.78	0.54	5.2	0.3	36	67
40	D	2023	2023 D-5 60 ton	2	13	83	1522	2.1	1.22	0.58	5.5	0.3	27	81
41	B	2018	2018 Zeyen A-1 0 ton+kali	1	11	88		3.9			5.3	0.2	47	97
42	D	2018	2018 A-2 60 ton	2	15	83		5.4			5.3	0.2	70	97
43	E	2018	2018+A4:A21 A-3 90 ton	1	10	89		4.4			5.3	0.2	60	94
44	C	2018	2018 A-4 30 ton	1	13	86		2.9			5	0.2	26	91
45	A	2018	2018 A-5 0 ton	1	14	85		2.2			4.8	0.2	16	92
46	C	2018	2018 B-1 30 ton	1	11	88		4.4			5.5	0.2	65	99
47	E	2018	2018 B-2 90 ton	2	16	82		5.8			5.5	0.2	68	100
48	A	2018	2018 B-3 0 ton	1	12	87		4.8			5.2	0.2	56	93
49	D	2018	2018 B-4 60 ton	1	18	81		3.4			5.3	0.2	47	97
50	B	2018	2018 B-5 0 ton +kali	1	12	87		2.5			4.8	0.2	20	90
51	A	2018	2018 C-1 0 ton	2	13	85		5.1			5.2	0.2	58	96
52	C	2018	2018 C-2 30 ton	2	17	81		4.9			5.8	0.2	65	100
53	D	2018	2018 C-3 60 ton	2	15	83		5.4			5.5	0.2	67	100
54	B	2018	2018 C-4 0 ton + kali	1	15	84		4			5.2	0.2	44	94
55	E	2018	2018 C-5 90 ton	1	12	87		2.8			5.7	0.2	36	100
56	E	2018	2018 D-1 90 ton	2	14	84		4.7			5.6	0.2	56	100
57	B	2018	2018 D-2 0 ton + kali	1	13	86		5.7			5.5	0.2	71	100
58	C	2018	2018 D-3 30 ton	2	13	85		4.8			5.4	0.2	66	91
59	A	2018	2018 D-4 0 ton	2	11	87		3.9			5.3	0.2	39	96
60	D	2018	2018 D-5 60 ton	1	12	87		2.9			5.3	0.2	34	99

Tabel I.1. Meetresultaten per behandeling en tijdspad (vervolg). Deel nutriënten exclusief kationen.

id	Behandeling	Jaar	OmMonster	N-totaal	CN	NLV	S-totaal	D_SLV	S-CC	P-CC	P-WA	P-AL	B-CC	CU-CC	CO-CC	ZN-CC
				mg/kg	-	kg N/ha	mg/kg	kg S/ha	mg S/kg	mg P/kg	mg P2O5/L	mg P2O5/100g	ug /kg	ug /kg	ug/kg	ug/kg
1	B	2017	2017 Zeyen A-1 0 ton+kali	1150	13	65	160	6	3.1	3.5	59	71	101	21	5.2	1550
2	D	2017	2017 A-2 60 ton	1250	18	50	210	6	2.1	4.4	60	63	91	21	7.8	2010
3	E	2017	2017+A4:A21 A-3 90 ton	1130	17	50	150	2	3.5	3.2	53	63	116	23	9.1	2130
4	C	2017	2017 A-4 30 ton	850	14	45	150	7	3.3	3.8	61	72	83	39	4	2420
5	A	2017	2017 A-5 0 ton	810	15	40	150	7	4.3	4.6	65	70	76	50	7.1	2530
6	C	2017	2017 B-1 30 ton	1420	15	65	230	9	3.4	3.4	60	76	87	25	5.7	1460
7	E	2017	2017 B-2 90 ton	1560	20	50	240	3	6.5	2.5	52	71	79	21	13	1950
8	A	2017	2017 B-3 0 ton	1730	20	50	250	2	3.6	1.5	40	58	76	21	15	1980
9	D	2017	2017 B-4 60 ton	1070	16	50	150	4	3.9	1.2	37	54	76	22	11	2140
10	B	2017	2017 B-5 0 ton +kali	710	13	45	150	9	3.3	1.3	38	55	76	47	12	2930
11	A	2017	2017 C-1 0 ton	1520	16	65	210	5	3.4	2.7	55	74	110	21	6.2	1670
12	C	2017	2017 C-2 30 ton	1060	19	40	150	1	2.5	1.5	42	62	96	24	5.7	1190
13	D	2017	2017 C-3 60 ton	1070	18	45	150	2	3.1	1	34	51	105	21	11	1270
14	B	2017	2017 C-4 0 ton + kali	1720	19	60	260	3	3.3	1.2	41	65	138	21	12	1480
15	E	2017	2017 C-5 90 ton	1370	17	60	210	5	3.2	1.3	38	56	116	24	12	1790
16	E	2017	2017 D-1 90 ton	2000	16	85	335	11	2.7	2.4	47	61	80	21	5.3	1710
17	B	2017	2017 D-2 0 ton + kali	1530	17	60	220	5	2.6	1.8	46	66	108	21	3.9	1100
18	C	2017	2017 D-3 30 ton	1270	18	50	200	5	2.8	1	33	49	104	21	6.1	1150
19	A	2017	2017 D-4 0 ton	1120	18	45	160	2	2.9	1.2	33	45	96	20	7.3	1540
20	D	2017	2017 D-5 60 ton	870	16	40	150	6	2.6	1	31	44	80	22	3.9	2020
21	B	2023	2023 Zeyen A-1 0 ton+kali	1190	14	65	190	8	2.4	5.4	72	74	78	28	7	1830
22	D	2023	2023 A-2 60 ton	1520	16	70	240	7	2.6	4.9	70	77	79	21	18	1900
23	E	2023	2023+A4:A21 A-3 90 ton	1280	17	55	190	4	2.1	2.6	51	67	101	21	11	1450
24	C	2023	2023 A-4 30 ton	860	15	45	150	7	3	3.9	63	74	76	31	6.7	2240
25	A	2023	2023 A-5 0 ton	940	12	60	150	7	3	3.8	59	67	76	32	7.1	2350
26	C	2023	2023 B-1 30 ton	1160	17	50	180	5	4.9	3.3	58	73	76	21	8.1	1410
27	E	2023	2023 B-2 90 ton	1530	17	65	240	6	5.6	2.8	53	70	83	21	12	1660
28	A	2023	2023 B-3 0 ton	1170	20	40	210	5	5.2	1.5	35	47	83	21	18	2270
29	D	2023	2023 B-4 60 ton	710	17	30	150	7	2.8	1.3	38	54	76	21	11	1380
30	B	2023	2023 B-5 0 ton + kali	690	15	35	150	8	2.1	1.3	43	65	76	25	10	3440
31	A	2023	2023 C-1 0 ton	1430	16	65	200	4	2.1	2.2	47	64	93	21	6.7	2020
32	C	2023	2023 C-2 30 ton	1230	17	50	190	5	2.8	1.7	46	67	104	21	6.3	1200
33	D	2023	2023 C-3 60 ton	1280	18	50	210	5	2.1	1.1	34	50	91	21	7.9	880
34	B	2023	2023 C-4 0 ton + kali	1760	18	65	250	4	2.6	1	36	56	88	21	12	1480
35	E	2023	2023 C-5 90 ton	1290	16	60	210	7	2.2	3.3	48	51	89	31	11	1140
36	E	2023	2023 D-1 90 ton	1180	17	50	190	5	2.1	2.9	50	60	79	21	3.6	1520
37	B	2023	2023 D-2 0 ton + kali	1710	17	70	260	6	3.8	2.3	51	71	97	21	7.2	1340
38	C	2023	2023 D-3 30 ton	1170	18	45	180	4	2.2	0.9	31	44	88	25	6.5	1020
39	A	2023	2023 D-4 0 ton	1080	16	50	180	6	2.7	1	33	48	76	21	9.6	1560
40	D	2023	2023 D-5 60 ton	770	16	35	150	7	2.8	1.2	33	45	76	21	3.3	1150
41	B	2018	2018 Zeyen A-1 0 ton+kali		15	60		11		4.7	70	70	76	46	8.1	1250
42	D	2018	2018 A-2 60 ton		19	50		1		3.4	62	70	128	28	9.1	1160
43	E	2018	2018+A4:A21 A-3 90 ton		17	50		7		3.5	61	67	147	41	4.4	940
44	C	2018	2018 A-4 30 ton		15	45		8		3.1	64	76	76	47	3.4	1580
45	A	2018	2018 A-5 0 ton		15	35		7		4.6	69	69	76	58	9.8	2460
46	C	2018	2018 B-1 30 ton		14	75		11		3.1	65	79	104	58	16	1370
47	E	2018	2018 B-2 90 ton			70		5		1.8	51	67	210	26	7.3	1000
48	A	2018	2018 B-3 0 ton		20	40		2		1.1	36	50	76	36	13	2120
49	D	2018	2018 B-4 60 ton		17	40		10		1.2	44	62	121	42	7.9	960
50	B	2018	2018 B-5 0 ton +kali		13	55		8		1.8	43	55	76	59	15	2900
51	A	2018	2018 C-1 0 ton		17	65		9		2.3	53	66	110	33	5.1	1570
52	C	2018	2018 C-2 30 ton		18	55		6		2	55	72	158	43	4	810
53	D	2018	2018 C-3 60 ton		20	45		2		1.1	38	53	199	29	4.8	640
54	B	2018	2018 C-4 0 ton + kali		17	55		2		1.3	39	52	124	32	7.8	1580
55	E	2018	2018 C-5 90 ton		14	55		9		2.1	44	53	179	55	4.6	600
56	E	2018	2018 D-1 90 ton		19	50		9		1.7	48	63	177	30	2.6	490
57	B	2018	2018 D-2 0 ton + kali		20	50		15		2.4	54	66	154	25	2.6	820
58	C	2018	2018 D-3 30 ton		18	55		10		1	34	47	154	28	3.3	790
59	A	2018	2018 D-4 0 ton		16	60		8		1	36	51	136	36	6.2	1830
60	D	2018	2018 D-5 60 ton		14	50		9		1	35	48	124	31	2.6	680

Tabel I.1. Meetresultaten per behandeling en tijdspad (vervolg). Deel kationen.

id	Behandeling	Jaar	OmMonster	CA-CO	CA-CEC	CA-WA	K-CO	K-CEC	K-CC	MG-CO	MG-CEC	MG-CC	NA-CO	NA-CEC	NA-CC
				mmol+/kg	%	mmol/L	mmol+/kg	%	mg/kg	mmol+/kg	%	mg/kg	mmol+/kg	%	mg/kg
1	B	2017	2017 Zeyen A-1 0 ton+kali	25	66	0.8	2.2	6.1	74	2.9	8.1	55	0.3	0.8	8
2	D	2017	2017 A-2 60 ton	38	68	0.1	2.6	5.3	54	3.6	7.3	63	0.4	0.8	8
3	E	2017	2017+A4:A21 A-3 90 ton	30	64	0.2	1.8	4	81	2.4	5.3	55	0.4	0.1	8
4	C	2017	2017 A-4 30 ton	11		0.2	1.3		59	1.5		33	0.4		8
5	A	2017	2017 A-5 0 ton	11		0.3	1.6		70	1.4		21	0.4		8
6	C	2017	2017 B-1 30 ton	34	68	0.3	2.1	4.5	73	3.8	8.1	56	0.4	0.1	8
7	E	2017	2017 B-2 90 ton	46	69	0.3	2.5	4.2	57	5	8.5	64	0.6	1	8
8	A	2017	2017 B-3 0 ton	45	68	0.2	3.6	6.2	65	6	10	67	0.6	1	11
9	D	2017	2017 B-4 60 ton	19	58	0.1	1.5	5	57	2.1	7	37	0.3	1	8
10	B	2017	2017 B-5 0 ton +kali	11	63	0.1	1.3	8.1	40	1.1	0.1	22	0.8	5	8
11	A	2017	2017 C-1 0 ton	38	68	0.2	3	6	74	4	8	63	0.4	0.1	8
12	C	2017	2017 C-2 30 ton	33	72	0.1	2.4	5.5	54	3	6.8	67	0.4	0.1	9
13	D	2017	2017 C-3 60 ton	33	69	0.1	2	4.3	65	2.3	5	74	0.4	0.1	11
14	B	2017	2017 C-4 0 ton + kali	52	76	0.1	3.8	6	91	6.5	10	108	0.7	1.1	17
15	E	2017	2017 C-5 90 ton	33	66	0.1	2.3	4.7	63	3.1	6.3	62	0.4	0.1	12
16	E	2017	2017 D-1 90 ton	47	68	0.2	3.4	5.5	73	5	8.1	61	0.5	0.8	8
17	B	2017	2017 D-2 0 ton + kali	40	75	0.6	2.3	4.6	75	3.7	7.4	90	0.4	0.8	11
18	C	2017	2017 D-3 30 ton	35	70	0.1	3	6.5	66	2.4	5.2	79	0.3	0.7	12
19	A	2017	2017 D-4 0 ton	34	68	0.3	2.2	4.5	66	2.6	5.3	53	0.4	0.1	9
20	D	2017	2017 D-5 60 ton	16	46	0.7	1.7	5.3	50	1.4	4.4	31	0.5	1.6	8
21	B	2023	2023 Zeyen A-1 0 ton+kali	22	58	0.4	1.8	5.1	61	3.1	8.9	53	0.4	0.1	8
22	D	2023	2023 A-2 60 ton	46	76	0.1	3.3	5.8	47	3.8	6.7	82	0.4	0.7	8
23	E	2023	2023+A4:A21 A-3 90 ton	37	77	0.3	2.4	5.3	58	4.1	9.1	71	0.4	0.1	8
24	C	2023	2023 A-4 30 ton	13	62	0.3	1.6	8.9	50	1.8	10	39	0.4	0.1	8
25	A	2023	2023 A-5 0 ton	11		0.3	1.3		35	1.1		17	0.4		8
26	C	2023	2023 B-1 30 ton	33	66	0.6	2.1	4.3	45	3.8	7.8	47	0.4	0.1	8
27	E	2023	2023 B-2 90 ton	47	73	0.2	2.7	4.6	48	4.8	8.1	70	0.4	0.7	8
28	A	2023	2023 B-3 0 ton	35	77	0.1	2	4.8	42	3	7.1	54	0.3	0.7	9
29	D	2023	2023 B-4 60 ton	17	68	0.4	1.3	5.4	41	1.1	4.6	44	0.4	0.1	8
30	B	2023	2023 B-5 0 ton + kali	11		0.7	0.9		45	1.1		31	0.3		8
31	A	2023	2023 C-1 0 ton	30	64	0.1	2.7	6.6	45	3.1	7.6	66	0.4	0.1	8
32	C	2023	2023 C-2 30 ton	36	75	0.1	2.4	5.3	61	3.9	8.7	78	0.4	0.9	11
33	D	2023	2023 C-3 60 ton	38	71	0.3	2.4	4.5	57	3.5	6.6	75	0.5	0.9	8
34	B	2023	2023 C-4 0 ton + kali	55	76	0.1	3	4.2	56	5.8	8.2	76	0.5	0.7	11
35	E	2023	2023 C-5 90 ton	26	64	0.4	2.3	6.1	50	2.8	7.4	48	0.4	1.1	8
36	E	2023	2023 D-1 90 ton	28	65	0.1	2.6	6.7	53	1.9	4.9	69	0.4	0.1	8
37	B	2023	2023 D-2 0 ton + kali	47	71	0.1	2.9	4.8	51	5.1	8.4	87	0.6	1	11
38	C	2023	2023 D-3 30 ton	34	70	0.3	2.4	5.3	60	4.1	9.1	71	0.4	0.9	8
39	A	2023	2023 D-4 0 ton	22	57	0.4	1.4	3.9	50	1.9	5.3	54	0.3	0.8	8
40	D	2023	2023 D-5 60 ton	18	66	0.6	1.5	5.6	50	1.8	6.7	38	0.7	2.6	8
41	B	2018	2018 Zeyen A-1 0 ton+kali			0	2.5		78			65			29
42	D	2018	2018 A-2 60 ton			0	2.8		45			89			112
43	E	2018	2018+A4:A21 A-3 90 ton			0	3.6		96			77			130
44	C	2018	2018 A-4 30 ton			0	1.9		54			45			59
45	A	2018	2018 A-5 0 ton			0	1.8		51			31			22
46	C	2018	2018 B-1 30 ton			0	3		78			88			81
47	E	2018	2018 B-2 90 ton			0	2.3		65			110			157
48	A	2018	2018 B-3 0 ton			0	2.3		65			73			42
49	D	2018	2018 B-4 60 ton			0	2.5		71			64			117
50	B	2018	2018 B-5 0 ton +kali			0	2		49			34			18
51	A	2018	2018 C-1 0 ton			0	2.6		94			90			53
52	C	2018	2018 C-2 30 ton			0	3		86			105			109
53	D	2018	2018 C-3 60 ton			0	2.5		82			101			128
54	B	2018	2018 C-4 0 ton + kali			0	2.4		56			67			34
55	E	2018	2018 C-5 90 ton			0	2		62			63			126
56	E	2018	2018 D-1 90 ton			0	2.8		70			90			142
57	B	2018	2018 D-2 0 ton + kali			0	2.2		72			128			55
58	C	2018	2018 D-3 30 ton			0	2.7		76			92			93
59	A	2018	2018 D-4 0 ton			0	2.3		71			71			52
60	D	2018	2018 D-5 60 ton			0	2.5		55			56			97

Tabel I.1. Meetresultaten per behandeling en tijdspad (vervolg). Deel microbiologie plus overig.

id	Behandeling	Jaar	OmMonster	micro.biomass	A_C_BM	A_C_FM	A_N_PMN	A_MN_CC	A_H_CO	A_AL_CO	A_SE_CC	A_MO_CC	A_FE_CC
				mg/kg	mg C/kg	mg C/kg	mg N/kg	ug/kg	mmol/kg	mmol/kg	ug/kg	ug/kg	ug/kg
1	B	2017	2017 Zeyen A-1 0 ton+kali	153	59	36	17	1510	0.3	0.1	2.1	4	2010
2	D	2017	2017 A-2 60 ton	130	55	34	31	2870	0.2	0.2	2.1	4	2010
3	E	2017	2017+A4:A21 A-3 90 ton	114	44	37	26	3570	0.2	0.1	2.1	4	2010
4	C	2017	2017 A-4 30 ton	99	36	26	26	3550			2.1	4	2010
5	A	2017	2017 A-5 0 ton	135	45	27	25	4250			2.1	4	2010
6	C	2017	2017 B-1 30 ton	182	70	43	28	1720	0.2	0.1	2.1	4	2010
7	E	2017	2017 B-2 90 ton	195	79	53	26	3010	0.2	0.2	2.1	4	2020
8	A	2017	2017 B-3 0 ton	213	78	49	31	3360	0.2	0.2	2.1	4	2020
9	D	2017	2017 B-4 60 ton	121	43	15	12	2070	0.3	0.1	2.1	4	2010
10	B	2017	2017 B-5 0 ton +kali	108	42	29	8	3280	0.6	0.1	2.1	4	2010
11	A	2017	2017 C-1 0 ton	171	71	35	25	2760	0.2	0.1	2.1	4	2010
12	C	2017	2017 C-2 30 ton	107	47	22	19	1650	0.2	0.1	2.1	4	2010
13	D	2017	2017 C-3 60 ton	73	34	21	17	2620	0.2	0.1	2.1	4	2010
14	B	2017	2017 C-4 0 ton + kali	206	84	52	28	3510	0.2	0.1	2.1	4	2020
15	E	2017	2017 C-5 90 ton	134	51	27	27	2900	0.1	0.1	2.1	4	2010
16	E	2017	2017 D-1 90 ton	214	82	51	37	3690	0.2	0.1	2.1	4	2020
17	B	2017	2017 D-2 0 ton + kali	150	59	26	28	2720	0.2	0.1	2.1	4	2010
18	C	2017	2017 D-3 30 ton	110	48	33	17	3490	0.2	0.1	2.1	4	2010
19	A	2017	2017 D-4 0 ton	81	30	19	20	3740	0.1	0.1	2.1	4	2010
20	D	2017	2017 D-5 60 ton	145	49	20	18	3190	0.3	0.1	2.1	4	2010
21	B	2023	2023 Zeyen A-1 0 ton+kali	141	54	39	25	2790	0.3	0.1	2.1	4	2030
22	D	2023	2023 A-2 60 ton	160	71	41	24	8010	0.2	0.1	2.1	4	2010
23	E	2023	2023+A4:A21 A-3 90 ton	139	55	33	24	4750	0.2	0.1	2.1	4	2010
24	C	2023	2023 A-4 30 ton	101	38	22	21	5040	1.1	0.8	2.1	4	2010
25	A	2023	2023 A-5 0 ton	144	51	27	18	3490			2.1	4	2190
26	C	2023	2023 B-1 30 ton	169	59	42	20	2490	0.1	0.1	2.1	4	2010
27	E	2023	2023 B-2 90 ton	164	73	47	35	3540	0.2	0.1	2.1	4	2020
28	A	2023	2023 B-3 0 ton	101	39	32	21	3460	0.2	0.1	2.1	4	2010
29	D	2023	2023 B-4 60 ton	88	33	18	12	2070	0.4	0.1	2.1	4	2010
30	B	2023	2023 B-5 0 ton + kali	91	32	14	14	2900			2.1	4	2010
31	A	2023	2023 C-1 0 ton	121	56	36	20	3220	0.2	0.2	2.1	4	2020
32	C	2023	2023 C-2 30 ton	140	56	28	18	2090	0.2	0.1	2.1	4	2010
33	D	2023	2023 C-3 60 ton	139	42	29	24	1950	0.1	0.1	2.1	4	2010
34	B	2023	2023 C-4 0 ton + kali	178	71	34	29	3010	0.1	0.1	2.1	4	2020
35	E	2023	2023 C-5 90 ton	181	67	33	24	2670	0.3	0.1	2.1	4	2920
36	E	2023	2023 D-1 90 ton	102	48	29	26	2330	0.3	0.1	2.1	4	2010
37	B	2023	2023 D-2 0 ton + kali	199	77	52	27	4370	0.2	0.1	2.1	4	2020
38	C	2023	2023 D-3 30 ton	114	45	29	17	3440	0.2	0.1	2.1	4	2010
39	A	2023	2023 D-4 0 ton	130	42	21	19	4820	0.3	0.1	2.1	4	2010
40	D	2023	2023 D-5 60 ton	139	53	24	13	1810	0.1	0.1	2.1	4	2010
41	B	2018	2018 Zeyen A-1 0 ton+kali		0	0	0	1300			2.1	4	
42	D	2018	2018 A-2 60 ton		0	0	0	1470			2.1	4	
43	E	2018	2018+A4:A21 A-3 90 ton		0	0	0	1950			2.1	4	
44	C	2018	2018 A-4 30 ton		0	0	0	2670			2.5	4	
45	A	2018	2018 A-5 0 ton		0	0	0	3960			2.1	4	
46	C	2018	2018 B-1 30 ton		0	0	0	1270			2.9	4	
47	E	2018	2018 B-2 90 ton		0	0	0	1390			2.1	4	
48	A	2018	2018 B-3 0 ton		0	0	0	2010			2.1	4	
49	D	2018	2018 B-4 60 ton		0	0	0	1550			2.1	4	
50	B	2018	2018 B-5 0 ton +kali		0	0	0	3090			2.1	4	
51	A	2018	2018 C-1 0 ton		0	0	0	2430			2.4	4	
52	C	2018	2018 C-2 30 ton		0	0	0	1210			2.1	4	
53	D	2018	2018 C-3 60 ton		0	0	0	1470			2.1	4	
54	B	2018	2018 C-4 0 ton + kali		0	0	0	2000			2.1	4	
55	E	2018	2018 C-5 90 ton		0	0	0	1110			2.3	4	
56	E	2018	2018 D-1 90 ton		0	0	0	1360			2.4	4	
57	B	2018	2018 D-2 0 ton + kali		0	0	0	1950			2.1	4	
58	C	2018	2018 D-3 30 ton		0	0	0	1720			2.1	4	
59	A	2018	2018 D-4 0 ton		0	0	0	2250			2.1	4	
60	D	2018	2018 D-5 60 ton		0	0	0	1570			2	4	

Wageningen Universiteit
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl

Wageningen Universiteit
Rapport 1589.24
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, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers 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.
