



---

# Trends in organische stof

Resultaten van het Bedrijven Netwerk Bodemmetingen

Auteurs | Wieke Vervuurt<sup>1</sup>, Marjoleine Hanegraaf<sup>1</sup>, Albert Jan Olijve<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Wageningen University & Research

<sup>2</sup> Van Tafel naar Kavel

Rapport WPR 881



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---

---

# Trends in organische stof

Resultaten van het Bedrijven Netwerk Bodemmetingen

Wieke Vervuurt<sup>1</sup>, Marjoleine Hanegraaf<sup>1</sup> en Albert Jan Olijve<sup>2</sup>

1 Wageningen University & Research

2 Van Tafel naar Kavel

Dit project ontvangt financiële steun van de Topsector Agri & Food. Binnen de Topsector werken bedrijfsleven, kennisinstellingen en de overheid samen aan innovaties voor veilig en gezond voedsel voor 9 miljard mensen in een veerkrachtige wereld.

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Wageningen, oktober 2021



Rapport WPR-881



Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/546380>

In dit rapport worden de resultaten van 32 percelen van het Bedrijvennetwerk Bodemmetingen gepresenteerd met de focus op de ontwikkeling in bodem organische stof en bedrijfsvoering.

Trefwoorden: organische stof, bedrijfsvoering, akkerbouw, BedrijvenNetWerk, RothC-model

© 2021 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten, Postbus 430, 8200 AK Lelystad; T 0320 29 11 11; [www.wur.nl/plant-research](http://www.wur.nl/plant-research)

KvK: 09098104 te Arnhem  
VAT NL no. 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Rapport WPR-881



<b>Woord vooraf</b>	<b>7</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>9</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>11</b>
1.1 Aanleiding en doelstelling	11
1.2 Literatuuronderzoek	13
1.2.1 Regionale verschillen in organische stof trend	13
1.2.2 Mogelijk verklarende factoren	16
<b>2 Materiaal &amp; Methode</b>	<b>21</b>
2.1 Primaire dataverzameling en gegevensverwerking	21
2.1.1 Het BedrijvenNetWerk	21
2.1.2 Dataselectie koolstof- en organische stofgehalten	22
2.1.3 Opstellen OS-balans	22
2.1.4 Modelberekeningen met RothC	23
2.2 Teeltregistratie	24
2.3 Regionale en/of nationale dataverzameling	26
2.3.1 Aandeel granen	26
2.3.2 Beschikbaarheid van mest	26
2.4 Kwalitatieve beoordeling	26
<b>3 Resultaten</b>	<b>29</b>
3.1 Trends in organisch stof	29
3.1.1 Gehalten en trends op basis van meetwaarden	29
3.1.2 Trends op basis van organische stofbalansen	30
3.1.3 Trends op basis van gemodelleerde waarden	33
3.2 Trends in mogelijk verklarende factoren binnen het BNW	36
3.2.1 Trends in bodemfactoren	36
3.2.2 Bedrijfs- en perceelsmanagement	37
3.2.3 Trends in weersomstandigheden	39
3.2.4 Discussie	41
<b>4 Beantwoording kennisvragen</b>	<b>45</b>
4.1 Vergelijking trend in organische stof van het BNW met statistische trendanalyses en LTE	45
4.2 Vergelijking OS-balans van het BNW met regionale modelberekeningen	48
4.3 Aanzet regionale referentiewaarden organische stof	50
4.3.1 Regionale indeling	50
4.3.1 Verschillen tussen regio's	53
<b>5 Conclusies en Aanbevelingen</b>	<b>59</b>
<b>Literatuur</b>	<b>61</b>
<b>Bijlage 1 Waarderingstabellen bodem- en managementfactoren</b>	<b>65</b>
<b>Bijlage 2 Statistische kengetallen bodem- en managementfactoren</b>	<b>67</b>
<b>Bijlage 3 Verloop bodemorganische stof en cumulatieve organische stofbalans</b>	<b>69</b>
<b>Bijlage 4 Verloop bodem organisch stofgehalte gemodelleerd met RothC</b>	<b>75</b>



---

# Woord vooraf

In dit rapport wordt een analyse gepresenteerd van de ontwikkelingen in de bodem organische stof in relatie tot de bedrijfsvoering van de 32 percelen van het Bedrijvennetwerk Bodemmetingen, over de periode 2010-2019. In eerste instantie was het de bedoeling om de analyse te beperken tot registraties en meetgegevens, om tot een completer beeld te komen zijn hier modelberekeningen aan toegevoegd.

Hierbij willen we iedereen bedanken die deze studie mede mogelijk hebben gemaakt. Veel dank aan alle 16 ondernemers uit het Bedrijvennetwerk Bodemmetingen die bereid zijn geweest hun gegevens te delen en hun percelen beschikbaar te stellen voor bodemmetingen en de resultaten te bespreken. Ook bedanken we Daniël Simonse voor zijn aandeel in de kwaliteitscheck van de teeltregistratie. Voorts bedanken we Isabella Selin Norén, Derk van Balen en Jan Rinze van der Schoot voor het meedenken bij deelonderwerpen. Tot slot willen we de reviewers van het rapport bedanken: Janjo De Haan, Hein ten Berge, Conno van Dam en Petra van Vliet. Jullie uitgebreide commentaar heeft beslist bijgedragen aan het rapport.

De auteurs





---

# Samenvatting

Bodem organische stof is een belangrijke indicator van de bodemvruchtbaarheid, en staat zowel in de belangstelling bij boeren als in de beleids- en wetenschappelijke wereld. In de afgelopen decennia zijn diverse studies uitgevoerd naar de ontwikkeling in het bodem organische stof gehalte, zowel op landelijk als op regionaal niveau. Over de ontwikkeling van het bodem organisch stof gehalte bestaan tegenstrijdige inzichten, onder andere als gevolg van schaalniveau, landgebruikstype en/of bodemtype. Een duidelijke verklaring voor de ontwikkeling van het bodem organisch stof gehalte en gesignaleerde regionale verschillen ontbreekt vooralsnog.

Dit rapport is een verkennende analyse van verklarende factoren met betrekking tot de ontwikkeling van de bodem organische stof, op basis van een gedetailleerde historische teeltregistratie en meetgegevens van 32 percelen van 16 akkerbouwbedrijven op minerale gronden verspreid door heel Nederland. De ontwikkelingen in het bodem organisch stof gehalte zijn bekeken in het licht van ontwikkelingen in mogelijk verklarende factoren. Kernvraag was of er aanleiding is voor het opstellen van regionale referentiewaarden voor (de opbouw van) bodem organische stof. Om deze vraag te beantwoorden zijn de resultaten van de perceelgerichte analyse gebruikt voor een verkenning op regionaal schaalniveau. Uit de literatuur zijn factoren geselecteerd die mogelijk een effect hebben op het bodem organisch stof gehalte, te weten management factoren (aanvoer van organische stof, intensiteit van de bodembewerking en het bouwplan), klimaat factoren (neerslag en temperatuur), en bodem factoren (pH, het organische stof percentage en lutum). Op basis van de historische teeltregistratie (2010-2019) zijn organische stofbalansen opgesteld (jaarbasis en cumulatief). Ook zijn de gegevens gebruikt voor modelberekeningen met het ROTHC model over de langere termijn.

Uit het gemiddelde bodem organisch stof gehalte op de klei- en lössgronden kon geen toe- of afname worden opgemaakt in de periode 2010-2019. Daarentegen nam het bodem organisch stof gehalte van de dekzand- en dalgronden in bijna alle percelen af. De organische stof balans van de percelen in de periode 2010-2019 was gemiddelde genomen negatief. Dit lag niet aan een verminderde totale EOS-aanvoer, want de aanvoer van effectief organische stof nam in de periode 2010-2019 over het algemeen juist toe. In 2019 waren de organische stof balansen in vrijwel alle percelen zelfs positief. Voorts bleek uit de cumulatieve balansen dat met deze benadering schommelingen in de EOS-aanvoer kunnen worden opgevangen waarmee een beter beeld wordt verkregen van de trend in de tijd. Aanvullend inzicht werd verkregen met het ROTHC-model over een periode van 100 jaar. Voor 26 van de 32 percelen werd een dalende trend geschat. Hierbij bleek onder meer het belang van kleine maar consequente veranderingen in temperatuur en/of EOS-aanvoer.

Wat betreft de ontwikkeling in de geselecteerde verklarende factoren bleek voor de weersgegevens dat het de afgelopen 10 jaar warmer is geworden en dat het neerslagoverschot is afgenomen, en dat de verandering in de klimaataspecten per regio kan verschillen. De intensiteit van de bodembewerkingen nam af in de periode 2010-2019; er werd voornamelijk minder vaak geploegd. In de zuurgraad en in de verhouding koolstof / lutum was de ontwikkeling niet eenduidig. Veranderingen met een positief effect op de opbouw van organische stof werden afgewisseld met veranderingen met een negatief effect.

Om het perspectief van een regionale indeling voor trends in organische stof te verkennen zijn de BNW-percelen in 7 gebieden ingedeeld. Met behulp van CBS- en KNMI data zijn de belangrijkste factoren uit de gedetailleerde analyse (beschikbaarheid van mest, aandeel graan in het gebied en het weer) in beeld gebracht. Het bleek dat de BNW-bedrijven op deze punten over het algemeen een goede afspiegeling vormden van de regio's. Daarom kon worden aangenomen dat de inzichten uit de organische stofbalansen van de BNW-percelen mogen worden doorgetrokken naar de betrokken regio. Hieruit bleek dat uiteindelijk in vrijwel alle gebieden een gemiddeld gehalte zal resteren van ca. 2,5% organische stof, met uitzondering van het Zuidwestelijk kleigebied, waar de hoge EOS-aanvoer voor een stijgende trend zorgt.

---

Uit deze verkennende studie blijkt dat naast bodemindicatoren ook indicatoren voor management (EOS-aanvoer en BVI) en het weer (temperatuur en neerslag) regionaal kunnen verschillen. Voor het afleiden van regionale referentiewaarden wordt aanbevolen om gebruik te maken van een statistisch verantwoorde steekproef van percelen/bedrijven per regio, in combinatie met regionale scenario-analyses met het ROTHC-model.

---

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en doelstelling

Boeren zijn bezorgd over de bodemvruchtbaarheid, deels door de afvlakking in de ontwikkeling van de gewasopbrengsten en deels door regelgeving waardoor beperkte hoeveelheden mest aangevoerd mogen worden. Doelstelling van het landbouwbeleid is dat alle landbouwgronden in 2030 duurzaam worden beheerd (Schouten, 2018). Bodemorganische stof is een belangrijke indicator voor bodemvruchtbaarheid. Bodemorganische stof speelt een belangrijke rol in de levering van nutriënten, de vocht- en luchthuishouding en de bodemstructuur. Over de ontwikkeling van bodem organische (kool-) stof in de tijd bestaan tegenstrijdige berichten en de diversiteit tussen regio's is groot (Koopmans en Van Opheusden, 2019). Een aantal studies vindt geen (aantoonbare) verandering in het bodem organisch stof percentage (e.g. Hendriks, 2011; Van Tol-Leenders et al., 2019). Anderen vinden een significante stijging voor akkerbouw op zand en rivierklei (Brolsma et al., 2017). Ook Reijneveld et al. (2009) vinden een lichte stijging voor bouwland. In de studie van Schils et al. (2012) wordt in bouwland op zand een dalend organische stof gehalte gevonden.

Een duidelijke verklaring voor vastgestelde dalende of stijgende trends ontbreekt vooralsnog. In de genoemde studies en andere literatuur worden als mogelijke verklarende factoren genoemd de bodemkwaliteit (met name van de organische stof zelf), het bedrijfsmanagement (teelthandelingen, bemesting, bouwplan en bodembewerking) en het klimaat (temperatuur en neerslag). Gegevens hierover voor de akkerbouw in Nederland zijn niet landsdekkend geanalyseerd en kwantitatieve relaties tussen factor en trend zijn niet afdoende beschikbaar. Voor een goede interpretatie van de trend op bedrijfs- en perceelsniveau en het afleiden van mogelijke maatregelen is het gewenst dat hierover meer kennis beschikbaar komt. Deze studie beoogt voor een deel in deze kennislacune te voorzien.

Beoogd resultaat is om met behulp van bedrijfsspecifieke gegevens en regionale data een bijdrage te leveren aan de kennis over verklarende factoren met betrekking tot trends in bodemorganische stof. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van gegevens van akkerbouwbedrijven van het bedrijvennetwerk (BNW) van de PPS Beter bodembeheer. Het BNW omvat 16 akkerbouwbedrijven op minerale gronden (klei, zand en/of löss) die elk met 2 percelen participeren. Het netwerk beslaat verschillende regio's, grondsoorten en bouwplannen en betreft bedrijven met overwegend gangbaar bedrijfsmanagement. Als zodanig kan het een generiek kenmerkend beeld geven van de Nederlandse akkerbouw op minerale gronden. Het netwerk is opgezet om op basis van een uitgebreide meetronde van indicatoren voor bodemkwaliteit en bedrijfsspecifieke en teeltgegevens nieuwe kennis te ontwikkelen (De Haan et al., 2021a). Aanvullend zijn bij de telers historische gegevens opgevraagd. Deze studie maakt als eerste gebruik van de historische (2010–2019) teeltregistratie van deze bedrijven.

De doelstelling van deze studie is het maken van een verkennende analyse van de trends in organische stof en mogelijke verklarende factoren van deelnemende bedrijven/percelen in het BNW. Hiertoe wordt de trend in bodem organische stof op verschillende manieren vastgesteld en besproken in het licht van de ontwikkeling in bedrijf- en perceelmanagement en weersgegevens. Belangrijke kennisvragen zijn:

1. Hoe is de ontwikkeling geweest in het bodem organisch stof gehalte van de BNW-percelen?
  - Komt het beeld uit de gedetailleerde trendanalyse van organische stof overeen met het beeld uit formele statistische trendanalyses?
2. Welke factoren zijn van invloed op de ontwikkeling van het bodem organisch stof gehalte?
  - Hoe is de ontwikkeling geweest in mogelijk verklarende factoren?
  - Is er reden om te veronderstellen dat deze ontwikkeling van invloed is geweest op de trend in de bodem organische stof van de BNW-percelen?
  - Wat is het relatieve belang van deze factoren?
3. Zijn er regionale verschillen in relevante aspecten van de organische stof balans, met name:
  - de bodem organische stof percentages
  - de opbouw van bodem organische stof

- 
- het bedrijfsmanagement
  - neerslag en temperatuur

Uit de resultaten worden aanbevelingen afgeleid voor vervolgonderzoek en/of afleiding van regionale referentiewaarden voor gehalten organische (kool-)stof en/of verklarende factoren. Indien relevant worden hierbij resultaten uit andere projecten met een regionale benadering op organische stof betrokken, o.a. Slim Landgebruik.

#### *Leeswijzer*

In het vervolg van dit eerste hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste bevindingen uit de literatuur wat betreft regionale trends in bodem organische stof en mogelijke verklarende factoren daarvan. Hoofdstuk 2 beschrijft de aanpak die in deze studie is gevolgd wat betreft dataverzameling (bodemdata, teeltregistratie, aanvullende informatie) en gegevensverwerking, waarbij ook de systematiek wordt besproken om trends in te delen naar mogelijk verklarende factoren. In Hoofdstuk 3 worden de resultaten van de berekeningen gepresenteerd en wordt vervolgens de systematiek toegepast. In hoofdstuk 4 worden bovengenoemde kennisvragen beantwoord. Tot slot worden in hoofdstuk 5 conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

---

## 1.2 Literatuuronderzoek

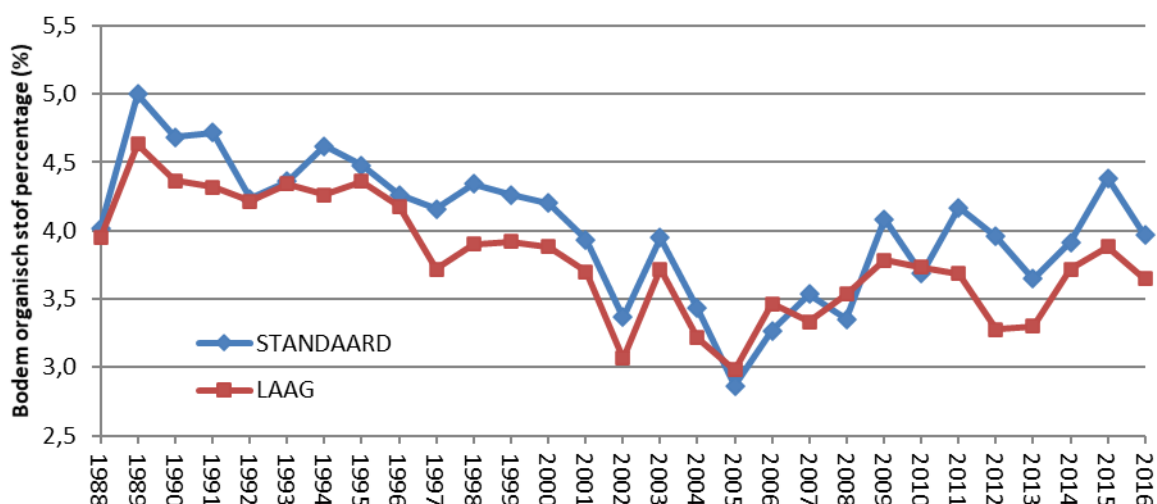
### 1.2.1 Regionale verschillen in organische stof trend

#### *Organische stofgehalten*

Uit een overzicht van recente studies naar het verloop in organische stofgehalten in Nederland komt een divers beeld naar voren (zie Tabel 1-1). Koopmans en Van Opheusden (2019) geven in hun literatuurstudie aan dat er een grote variatie bestaat in de bodem organische stof gehalten tussen regio's en landgebruik. Zo is in grasland een significante daling gevonden in kleigronden in Noord-Nederland en een significante toename in het rivierkleigebied in Midden-Nederland en voor de zand en lössgronden in Zuid-Nederland. Brolsma et al. (2017) vonden een significante stijging van het bodem organisch stof gehalte voor akkerbouw op zand en rivierklei. Reijneveld et al. (2009) keken naar het bodem organisch koolstof gehalte, en vonden ook een lichte stijging voor bouwland, met grote verschillen tussen regio's. Voor akkerbouwpercelen op centrale zeeklei was de toename in het koolstofgehalte het grootst, gevolgd door Noordoost Nederland, Zuidwestelijke rivierklei, het löss-gebied en het Zuidelijk zandgebied; bij percelen in de Noordelijke zeeklei daalde het koolstofgehalte lichtelijk. In Zeeland vond Maljaars (2017) gemiddeld gezien een stijging in het bodem organisch stof gehalte, al liet het merendeel van de percelen een dalende trend zien. Van Tol-Leenders et al. (2019) vonden veel variatie tussen percelen; hierdoor kon geen aantoonbare stijgende of dalende trend worden vastgesteld. Ook Hanegraaf et al. (2006, 2009) vonden dat er geen eenduidige trend bestond in de bodem organische stof gehalten van gras- en maïsland op dekzandgronden in 4 provincies. Wel vonden zij een noord-zuid gradiënt in de gehalten, die in het noorden ca. 2x zo hoog bleken ten zijn als in het zuiden. Opgemerkt zij dat bemonsteringsprotocol en toegepaste meetmethode van de verschillende onderzoeken kan verschillen (koolstofgehalte, organische stofgehalte, klassieke methode of NIRS, al dan niet meenemen van bulkdichtheid) en dat dit de uitkomsten kan hebben beïnvloed.

#### *Systeemexperimenten*

In verschillende regio's in Nederland zijn lange termijn experimenten (LTE) aangelegd. Een overzicht van de trend in organische stof in enkele LTE's is weergegeven in Tabel 1-2. Op het langjarig proefveld in Vredepeel (zandgrond) vonden van Geel en De Haan (2007) een afname in het bodem organisch stof gehalte in de periode 1998-2005, zowel bij een 'hoge' EOS aanvoer ( $\sim 2005 \text{ kg EOS ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ ) als bij een 'lage' EOS aanvoer ( $\sim 930 \text{ kg EOS ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ ), zie Figuur 1-1. Zowel de 'lage' als 'hoge' aanvoer van EOS bleek onvoldoende om het bodem organische stof percentage op peil te houden, welke is bepaald door soms de gloeiverlies- en soms de NIRS methode. Volgens berekeningen is er tussen de 2750 en 4830  $\text{kg EOS ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  nodig (bij een afbraak van 2% en 3,5% respectievelijk) om het bodem organisch stof gehalte op peil te houden op de zandgrond in Vredepeel (van Geel en De Haan, 2007). Vanaf 2011 is de lage EOS aanvoer verhoogd naar  $1009 \text{ kg EOS ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  en werd er bij de hoge EOS aanvoer (vanaf 2011 'standaard' genoemd) nog steeds gestuurd op  $2000 \text{ kg EOS ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  (uiteindelijk bleek dit gemiddeld  $1920 \text{ kg EOS ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  te zijn). Het bodem organisch stof gehalte daalde niet verder, maar door grote fluctuaties tussen de verschillende jaren is er evenmin sprake van een duidelijke toenemende trend.



**Figuur 1-1** Verloop van bodem organisch stof gehalte in de periode 1988-2019 voor de objecten 'STANDAARD' en 'LAAG' op Vredepeel uit de Haan et al. (2017a).

Op het proefveld 'Mest Als Kans' (lichte zavelgrond) is onder andere het effect van acht verschillende mestsoorten op het verloop van het bodem organisch stof gehalte onderzocht. In de periode 1999-2006 nam het bodem organisch stof gehalte toe bij de toediening van natuurcompost en verse potstalmest. Bij dunne rundveemest daalde het bodem organisch stof gehalte iets, bij de overige mestsoorten werd geen verandering vastgesteld (Bokhorst et al., 2008).

In de praktijk is een veelgebruikte manier om veranderende gehalten bodem organische stof tijdig in zicht te krijgen het opstellen van een organische stofbalans, waarin de aanvoer van organische stof wordt verrekend met de afbraak. Deze methode is handig omdat het bodem organische stof gehalte traag verandert door de tijd en pas laat tot uiting kan komen in meetresultaten. In situaties waarin weinig meetgegevens voorhanden zijn komt de methode ook van pas, maar ook in situaties waarin veel aanvullende informatie bekend is. Op het proefveld in Valthermond (dalgrond) zijn de organische stof balansen van de vijf aangelegde maatregelen (o.a. tagetes en compost) doorgerekend. Omdat het dalgrond betreft is hierbij gerekend met verschillende afbraakpercentages van de organische stof. De benadering waarbij de totale hoeveelheid organische stof werd opgedeeld in een actieve en een stabiele fractie gaf de beste resultaten (De Haan et al., 2020). Van de 5 maatregelen was alleen bij het toedienen van compost sprake van een positieve balans. Het onderzoek betrof een relatief korte periode van enkele jaren.

In 2008 zijn er in Lelystad op kleigrond verschillende grondbewerkingen aangelegd, zowel in een gangbaar als biologisch systeem (BASIS). Crittenden (2015) concludeert op basis van vier proefjaren dat het bodem organisch stof gehalte in de laag 0-10 cm voor beide systemen hoger is bij niet kerende grondbewerking (NKG) dan bij ploegen. In de laag 10-20 cm was het bodem organisch stof gehalte bij NKG significant hoger bij twee van de drie bemonsterde proefvelden. Hoek et al. (2019) beschrijven de resultaten van 2013 tot 2016, waaruit blijkt dat het bodem organisch stof gehalte voor de drie typen grondbewerking (standaard<sup>1</sup>, tussenvorm<sup>2</sup>, minimaal<sup>3</sup>) in 2016 hoger zijn dan in 2013, al is dit verschil alleen bij de tussenvorm en minimale grondbewerking significant. In het rapport van Koopmans et al. (2019) wordt er op basis van data uit de proefvelden BASIS in Lelystad, BKZ in Vredepeel en BKV in Valthermond geconcludeerd dat gereduceerde grondbewerking geen eenduidig effect had op het bodem organisch koolstofgehalte. Al met al laten de verschillende uitwerkingen van deze proef zien dat het effect van grondbewerking op het bodemorganische stofgehalte niet eenduidig is.

<sup>1</sup> Ploegen.

<sup>2</sup> Niet kerende grondbewerking, woelen op 18-20 cm.

<sup>3</sup> Niet kerende grondbewerking zonder woelen, enkel ondiep ploegen op 15 cm voor de uien en peen en na de grasklaver.

**Tabel 1-1** Gesignaleerde OS ontwikkelingen op basis van trend-analyses.

Conclusie/observatie	Regio-indeling	Periode	Diepte (cm)	Brondata	Bron
Grote diversiteit tussen regio's	11 hoofdbodemtypen	1990-2001	0-30	LSK	Conijn en Lesschen (2015)
Geen (aantoonbare) verandering in OS% bij akkerbouwpercelen op zand, klei, leem en moerige gronden	Grondsoort	1998-2018	0-30	LSK en aanvullende meetcampagne	Van Tol-Leenders et al. (2019)
Significante stijging voor akkerbouw op zand en rivierklei	Postcode	1984 - 2004	0-20	BLGG (nu: Eurofins)	Brolsma et al. (2017)
Verschillen tussen regio's, gemiddeld genomen een lichte stijging voor bouwland		1993-2003			Reijneveld et al. (2009)
Hoeveelheid organische stof is niet veranderd voor akkerbouw op zand en zeeklei	7 regio's	1998-2017	0-20	Unitip van Suikerunie	De Jong en van der Hoek (2009)
In 4 van de 7 regio's is in 2016-2017 een lager organisch stof gehalte gemeten dan in 1998-2007*		Zeeland			1984-2017
De gemiddelde trend was langzaam stijgend	Provincies (DR, OV, GLD, NBR)	1984 - 2004	0-20	BLGG (nu: Eurofins)	Maljaars (2017)
Geen eenduidig beeld in bouwland op zand					

\* Geen sprake van een statistische analyse.

**Tabel 1-2** Trends in het bodem organisch stof gehalte in lange termijn experimenten.

Conclusie/Observatie	Locatie	Periode	Diepte (cm)	Brondata	Bron
Afname in het bodem organisch stof gehalte.	Proefbedrijf Vredepeel	1994-2004	0-30	Meetwaarden	van Geel en De Haan (2007)
Bij de aanvoer van 1920 kg EOS ha <sup>-1</sup> jr <sup>-1</sup> is het bodem organisch stofgehalte gemiddeld genomen 0,4% hoger dan bij de aanvoer van 1009 kg EOS ha <sup>-1</sup> jr <sup>-1</sup> .*	Proefbedrijf Vredepeel	2011-2016	0-30	Meetwaarden	De Haan et al. (2017a)
Een afname in het bodem organisch stof gehalte in de periode 1988-2005 en een toename in de periode 2005-2016.	Proefbedrijf Vredepeel	2000-2016	0-30	Meetwaarden	De Haan et al. (2017b)
Het bodem organisch stof gehalte in de laag 0-10 cm was in het gangbare en biologische systeem hoger bij NKG dan bij ploegen.	BASIS, Lelystad	2008-2012	0-20	Meetwaarden	Crittenden (2015)
Het bodem organisch stof gehalte was in 2016 significant hoger dan in 2013 bij twee van de drie bodemwerkingen.	BASIS, Lelystad	2013-2016	0-15 15-30	Meetwaarden	Hoek et al. (2019)
Het bodem organisch stof gehalte steeg bij de toediening van natuurcompost en verse potstalmest, en daalde bij dunne rundveemest.	Mest Als Kans,	1999-2006	0-30	Meetwaarden	Bokhorst et al. (2008)

\* Het is mogelijk dat het verschil veroorzaakt wordt door de verschillen in EOS-aanvoer, dit is echter lastig met metingen aan te tonen (De Haan et al., 2017a).



---

## 1.2.2 Mogelijk verklarende factoren

In de literatuur over trends in bodem organische stof in Nederland wordt een drietal typen factoren genoemd die van invloed kunnen zijn op de trend. Dit zijn bodemkwaliteits-, management- en klimaatfactoren (zie Tabel 1-3).

### *Bodemfactoren*

Een eerste aandachtspunt bij het opstellen en interpreteren van een trendanalyse organische stof is de eenduidigheid in meting van het organische stofgehalte in de bodem. Er zijn voor het meten van organische stof- en koolstofgehalten in de bodem verschillende meetmethoden beschikbaar. Naast het meten van organische stof en/of koolstof is ook een meting van de bulkdichtheid nodig om vast te stellen dat deze onveranderd is, en dus percentages kunnen worden vergeleken, en/of om veranderingen in de bodemvoorraad te berekenen. Vanwege de kleine veranderingen in organische stof en/of koolstof is een hoge nauwkeurigheid en betrouwbaarheid in het laboratorium een vereiste. Daarnaast zijn effectieve en gestandaardiseerde veldprotocollen nodig die het evalueren van bijvoorbeeld effecten van maatregelen mogelijk maken. Volgens Koopmans en Van Opheusden (2019) zijn de huidige meetmethoden en protocollen voor organische stof niet voldoende.

Verschillende bodemfactoren zijn van invloed op het bodem organisch stof gehalte. Het initiële bodem organische stof gehalte speelt een rol bij het afbraakpercentage (Janssen, 1984; Wadman & De Haan, 1997) en dit is tegenwoordig onderdeel van de meeste afbraakmodellen. De praktijk maakt overigens vaak nog gebruik van de 2%-vuistregel van Kortleven (1963). Het initiële bodem organisch stof gehalte in combinatie met het afbraakpercentage is van belang omdat deze mede bepalen hoeveel EOS er aangevoerd dient te worden om het bodem organisch stof percentage te handhaven. Voor combinaties van initiële SOC-waarden en organische stof balansen hebben Conijn en Lesschen (2015) een classificering voor risicogebieden opgesteld. Op grond hiervan werden de Veenkoloniën en Noord-Holland aangemerkt als hoog risico gebieden.

Het afbraakpercentage wordt voor deel bepaald door bodemkenmerken. Algemeen wordt gesteld dat de pH een belangrijke factor is bij de afbraak van organische stof (Hendriks, 2011). Ondanks dat Wadman en De Haan (1997) in een niet-beteelde potproef een beperkt effect vinden van de pH op de bodemorganische stof, wordt pH in het algemeen beschouwd als een belangrijke versnellende factor in de afbraak van organische stof (Hendriks, 2011). Bij een neutrale pH verloopt de afbraak sneller dan bij een zure toestand.

Daarnaast wordt het lutumgehalte in de bodem in verband gebracht met het bodem organisch stof gehalte, waarbij een hoger lutumgehalte gepaard gaat met een hoger bodem organisch stof gehalte (Hassink et al., 1997). Als algemene regel wordt gesteld dat het bodem organisch stof percentage met  $1 \text{ g kg}^{-1}$  toeneemt per procent van de toename van het kleigehalte (De Willigen et al., 2008). Uit onderzoek van Prout et al. (2020) bleek dat het kleigehalte en neerslag samen ca. 25% van de variatie van de bodem organische koolstof kon verklaren (gebaseerd op 3809 percelen in Engeland). De koolstof/lutum ratio werd voorgesteld als indicator voor het bodem organisch stofgehalte, gecorrigeerd voor het bodemtype. Daarnaast bleek de koolstof/lutum ratio een goede indicator te zijn voor de bodemstructuur (Prout et al., 2020).

Voorts speelt de kwaliteit van de bodem organische stof een rol. Bekend voorbeeld hiervan is de C/N ratio van de bodem, die een significant effect bleek te hebben op de organische stof afbraak (Hanegraaf et al., 2019b). Een hogere C/N ratio gaat gepaard met een vertraagde afbraak van het bodem organisch stof gehalte, een lage C/N ratio met een vluigere afbraak van organische stof. Ook het percentage koolstof in bodem organische stof (afgekort tot CINOS) wordt in verband gebracht met de kwaliteit of stabiliteit van organische stof. In theorie zou een hogere CINOS gepaard gaan met een lagere afbraaksnelheid (De Haan et al., 2021a). Omdat er over CINOS weinig data beschikbaar zijn, is deze factor niet meegenomen in deze studie.

Bodemverdichting kan leiden tot een schijnbaar hoger gehalte (meer C per volume-eenheid) maar ook tot minder afbraak en dus reëel hogere gehalten. Op voorhand is bekend dat over de ontwikkeling van

de bulk dichtheid in het BNW geen gegevens bekend zijn; deze factor kon daarom niet worden meegenomen in de analyse.

### Management factoren

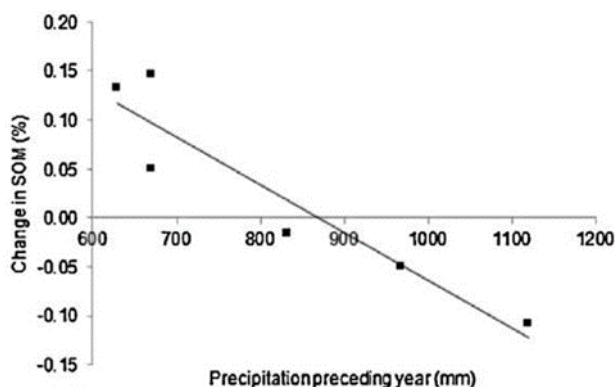
De meest bekende managementfactor voor de organische stofbalans is de aanvoer van effectieve organische stof uit organische meststoffen, gewasresten en/of groenbemesters. Uit de studie van Koopmans et al. (2019) bleek dat de toegevoegde organische stof in de bemesting een duidelijke correlatie vertoonde met de bodemkoolstof, al was alleen de C-verhoging door vaste mest significant. Kengetallen voor de EOS-aanvoer zijn beschikbaar uit het Handboek Bodem en Bemesting.

De intensiteit van bouwplannen wordt ook wel genoemd als maat voor de te verwachten trend in organische stof (Hendriks, 2011). Echter Koopmans et al. (2019) concluderen op basis van lange termijn experimenten dat een extensiever bouwplan in enkele gevallen leidde tot extra C-vastlegging en in andere gevallen tot minder C-vastlegging. Het effect bleek sterk afhankelijk van de aanpassingen in het bouwplan, en ook van het specifieke gewas dat geteeld werd in het jaar dat gemeten is (Koopmans et al., 2019). Kortom, er is geen eenduidig effect van een extensiever bouwplan op het verloop van het bodemorganisch stof gehalte.

Ook wordt de intensiteit van de bodembewerking in verband gebracht met het bodem organisch (kool)stofgehalte (Bloem et al., 2017; Koopmans et al., 2020). Bij een intensieve bewerking zou de bodem organische stof sneller afbreken en het bodemleven veranderen. Koopmans et al. (2019) vinden echter geen significante verschillen tussen het toepassen van niet-kerende grondbewerking en ploegen. Na 8 jaar niet ploegen werd er bij een gereduceerde grondbewerking een hoger organisch stof gehalte gevonden in de laag 0-30 cm (Van Balen & Haagsma, 2017). Daarentegen worden in de studie van Koopmans et al. (2020) op basis van hetzelfde experiment geen significante verschillen in het koolstofgehalte in de bovenlaag (0-30 cm) gevonden. De studies hadden betrekking op andere bemonsterde percelen en meetprotocollen, wat waarschijnlijk het verschil in uitkomsten verklaart.

### Klimaatfactoren

Over het algemeen wordt aangenomen dat weersomstandigheden een effect hebben op de opbouw van organische stof (Lantinga et al., 2013; Conijn en Lesschen, 2015). Eerstgenoemden vonden een negatief verband tussen neerslag in het voorgaande jaar en de opbouw van bodem organische stof, voor een perceel in Oostelijk Flevoland (zie Figuur 1-2). Het betrof een meerjarige proef op één perceel met gelijkblijvend management, waarbij het OS% werd berekend uit Ckurmies en uitgaande van 58% C. Uit de gegevens werd vastgesteld dat er sprake was van een 'tipping point' bij 870 mm. De gegeven verklaring was dat een grotere hoeveelheid neerslag leidde tot een versnelde afbraak en daardoor een afname van het bodem organisch stof gehalte.



**Figuur 1-2** Het verband tussen neerslag en de verandering in het bodem organisch stof gehalte, uit Lantinga et al. (2013).

Er is sprake van een negatieve relatie tussen temperatuur en de opbouw van bodem organische stof. Een hogere temperatuur leidt tot een actiever bodemleven en daarmee versnelde afbraak (Conijn &

---

Lesschen, 2015). Een temperatuurstijging van 2°C zou een extra aanvoer van 600 kg EOS ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> vereisen (Conijn & Lesschen, 2015). De Willigen et al. (2008) gaven aan dat het afbraakpercentage exponentieel toenam met een hogere bodemtemperatuur. Vermeulen en Hendriks (1996) constateerden op basis van incubatieproeven dat temperatuurverschillen een groter effect hebben op het afbraakpercentage bij lage dan bij hogere temperaturen (in het traject van 0-30 °C). Schils (2012) gaf aan dat het effect van temperatuur op het bodem organisch stof gehalte complex is. Het netto-effect van een hogere temperatuur op het bodem organisch stof gehalte is niet eenvoudig te becijferen, aangezien een hogere temperatuur invloed heeft op de gewasproductie en daarmee de aanvoer van organische stof uit gewasresten en eventueel uit groenbemesters (Schils, 2012). Bovendien bestaat er een gecombineerd effect van neerslag en temperatuur. Het temperatuureffect is sterker onder vochtige dan onder droge omstandigheden.

#### *Samenvattende tussenconclusie*

Uit de huidige trendanalyses organische stof in de akkerbouw op minerale gronden in Nederland komt een divers beeld naar voren. De belangrijkste verklarende factoren en het effect dat ze mogelijk hebben op trends in organische stof die uit de literatuur naar voren komen zijn samengevat in Tabel 1-3. Er is geen of onvoldoende kwantitatieve informatie gevonden om het relatieve belang van elke factor aan te geven. Elk van de opgenomen trendanalyses geeft een deelverklaring bij de gevonden trend. Een brede analyse die alle mogelijke verklarende factoren en de verschillende akkerbouwregio's meeneemt ontbreekt. Een dergelijke multivariate analyse zou een grote dataset vragen met gegevens over de belangrijkste (combinaties van) factoren. Een alternatief is het maken van een gedetailleerde studie van een selectie van bedrijven en percelen die bij elkaar een beeld geven van de Nederlandse akkerbouw, en het opschalen van de gevonden inzichten.

**Tabel 1-3** Mogelijk verklarende factoren en hun effect op de trend in organische stof

Factor	Maatregel/ eigenschap	Verhoging leidt tot	Bron
<i>Bedrijfs- en/of teelt management</i>			
Bemesting	Gebruik organische mest	Verhoogde EOS-aanvoer	Koopmans et al. (2019); Conijn & Lesschen (2015)
	Gebruik kalkmeststoffen	Versnelde afbraaksnelheid	Hendriks (2011)
Bouwplan	Aandeel granen	Verhoogde EOS-aanvoer	Conijn & Lesschen (2015)
	Aandeel rooigewassen	Verhoogde bodemverstoring	Koopmans & Van Opheusden (2019)
	Teelt groenbemesters	Verhoogde EOS-aanvoer	Koopmans & Van Opheusden (2019)
Bodembewerking	NKG	Theorie: vertraagde afbraaksnelheid en/of ophoping	Crittenden (2015); Bloem et al. (2017)
	Ploegen	Theorie: versnelde afbraaksnelheid en/of verdunning	Crittenden (2015); Bloem et al. (2017)
<i>Klimaat/weer</i>			
Neerslag	Jaar- en maand gemiddelde	Verhoogde afbraaksnelheid, extremen vertragen afbraaksnelheid	Lantinga et al. (2013)
	Frequentie	Versnelde afbraaksnelheid*	
	Overschot	In ROTHC: Extremen vertragen afbraaksnelheid via rate modifying factor	Coleman & Jenkinson (2014)
	Grondwatertrap (GWT)	Extremen verkleinen het volume grond waarin afbraak plaatsvindt en mogelijk ook de snelheid	
Temperatuur	Jaar- en maand gemiddelde	Versnelde afbraaksnelheid	Conijn & Lesschen, 2015) De Willigen et al. (2008); Schils (2012)
		In ROTHC: versnelling en vertraging via rate modifying factor	Coleman & Jenkinson (2014)
<i>Bodemkwaliteit</i>			
Zuurgraad	pH	Versnelde afbraaksnelheid	Hendriks (2011); Hanegraaf et al. (2019b)
Textuur	Lutum	2 richtingen mogelijk: vertraging en versnelling	Hassink (1997); Hanegraaf et al. (2019b)
Aerob bodemleven	Aantal, activiteit	Verhoogde afbraaksnelheid	
Bodem organische stof	Initieel OS%	Verlaagde afbraaksnelheid (in absolute zin meer afbraak)	
	Stikstofgehalte	Verhoogde afbraaksnelheid	Hanegraaf et al. (2019b)
	C/N-ratio	Verlaagde afbraaksnelheid	Hanegraaf et al. (2019b)

\* Bij het ontstaan van anaerobe condities door extreme neerslag kan dit leiden tot verminderde afbraak.



---

## 2 Materiaal & Methode

### 2.1 Primaire dataverzameling en gegevensverwerking

#### 2.1.1 Het BedrijvenNetWerk

Het BedrijvenNetWerk (BNW) is opgezet binnen de kaders van de PPS Beter Bodem Beheer (De Haan et al., 2021a). Hiervoor zijn 16 akkerbouwbedrijven geselecteerd, voornamelijk op basis van de individuele motivatie van de telers om te participeren in het netwerk en van een gezamenlijke dekking van landbouwgebieden in Nederland. De ruimtelijke spreiding van de bedrijven is weergegeven in Figuur 2-1.



**Figuur 2-1** Overzicht BNW-percelen in Nederland.

Het betreft percelen op de grondsoorten klei, zand en löss (Tabel 2-1).

**Tabel 2-1** Grondsoort van percelen van elk BNW-bedrijf

Bedrijf	Grondsoort	Bedrijf	Grondsoort
FR01	Klei	ZE01	Klei
GR01	Klei	BR01	Klei & zand
GR02	Klei	LI01	Klei & zand
GE01	Klei	GR03	Zand
FL01	Klei	DR01	Zand
FL02	Klei	GE02	Zand
NH01	Klei	BR02	Zand
ZH01	Klei	LI02	Zand

Om organische stof trends op te kunnen stellen en te begrijpen, is het essentieel om data te verzamelen over een meerjarige periode. Voor deze studie is gekozen voor een periode van 10 jaar (2010–2019) omdat hiervoor naar verwachting voldoende gegevens beschikbaar zijn en in deze periode, uitgaande van 2 percelen per bedrijf, het gehele bouwplan aan bod komt.

### 2.1.2 Dataselectie koolstof- en organische stofgehalten

Over de periode 2010-2019 zijn twee databronnen beschikbaar die bodem organische (kool)stof gegevens van de BNW-percelen bevatten. De eerste dataset (BNW-O) bestaat uit 38 historische bodemanalyses die zijn aangeleverd door de deelnemers aan het BNW. De monsters zijn genomen in de laag 0-25 cm. Het organisch stof gehalte is bepaald door middel van de gloeiverlies of NIRS methode. Het koolstofgehalte door de NIRS methode. Niet voor alle percelen zijn data van alle jaren beschikbaar.

De tweede dataset (BNW-N) omvat monsters die zijn genomen in het najaar van 2019 in het kader van het BNW. Al deze monsters zijn onder andere op het bodem organisch stof gehalte geanalyseerd door middel van de NIRS- en gloeiverlies methode en op bodem organische koolstof door de Kurmies- en NIRS- methode. Er bleken grote verschillen te zijn in het organisch stof gehalte bepaald door de gloeiverlies of NIRS methode (De Haan et al., 2021a). Wegens uniformiteit is ervoor gekozen de meetresultaten van de NIRS methode als uitgangspunt te nemen voor dit rapport.

### 2.1.3 Opstellen OS-balans

De netto OS-balans is berekend uit het verschil tussen aanvoer en afbraak van organische stof, zie vergelijking 1. De aanvoer van organische stof is bepaald op basis van de effectieve organische stof (EOS). EOS is gedefinieerd als het gedeelte organische stof dat overblijft één jaar na toediening (Handboek Bodem en Bemesting (HBB)). Hiervoor is de hoeveelheid vers materiaal vermenigvuldigd met de humificatiecoëfficiënt. Voor de aanvoer van EOS is onderscheid gemaakt naar drie bronnen:

- Organische mest; de hoeveelheid vers aangevoerde organische mest is door de deelnemers in het BNW bijgehouden in de teeltregistratie. De hoeveelheid aangevoerde mest is omgerekend naar EOS door middel van kengetallen.
- Gewasresten; de hoeveelheid vers materiaal van gewasresten is gebaseerd op kengetallen.
- Groenbemesters; de hoeveelheid vers materiaal van groenbemesters is gebaseerd op kengetallen. Hierbij is geen rekening gehouden met de gewasontwikkeling van de groenbemester.

De kengetallen zijn indien beschikbaar overgenomen uit het HBB; ontbrekende gegevens zijn gebaseerd op literatuur en/of aan de hand van een schatting op basis van vergelijkbare aanvoerbronnen. In de teeltregistratie is het soort compost in enkele gevallen niet gespecificeerd. De aanname is gedaan dat het groencompost betreft.

De afvoer bestaat uit de afbraak van bodemorganische stof. Deze is berekend uit gegevens van de bodemvoorraad en het afbraakpercentage. Het afbraakpercentage is bepaald met het model uit Hanegraaf et al. (2019b). Het afbraakpercentage is berekend voor alle percelen berekend voor 2019 en de jaren waarvan de C/N-ratio en N-totaal bekend was. Voor de jaren dat deze bodemgegevens ontbraken, is het afbraakpercentage genomen van het eerst volgende beschikbare jaar.

$$\text{Organische stof balans (kg OS ha}^{-1}\text{)} = (\text{Organische mest} + \text{Gewasresten} + \text{Groenbemesters}) - (\text{Afbraak}) \quad (1)$$

Waarbij organische mest, gewasresten en groenbemesters zijn uitgedrukt in kilogram EOS per hectare per jaar, en de afbraak in kilogrammen organische stof per hectare per jaar.

Naast de jaarlijkse organische stof balans is er een cumulatieve organische stof balans berekend. Dit is de som van de organische stof balansen van 2010-2019:

$$\text{Cumulatieve organische stof balans} = \sum_{j=2010}^{2019} \text{organische stof balans}_j \quad (2)$$

Een cumulatieve balans houdt rekening met het compenseren van tekorten in voorgaande jaren, en geeft daarmee informatie over de ontwikkeling in de bodem organische stof in de tijd.

#### 2.1.4 Modelberekeningen met RothC

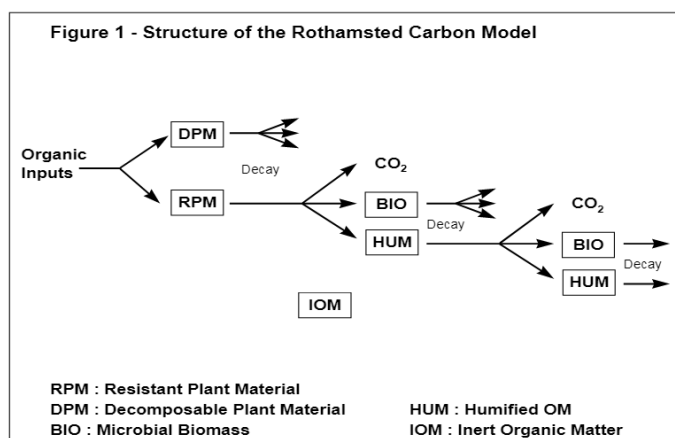
Voor het modelleren van de aanvoer en afbraak van organische stof in de bodem zijn diverse modellen beschikbaar. Voor deze studie is voor het RothC model gekozen om over een periode van 10–100 jaar een schatting te maken van het beloop van het organische stofgehalte.

RothC-26.3 is een zogenoemd compartimenten-model voor de omzetting van organische koolstof in bodems die niet met water verzadigd zijn (en dus overwegend aerob). Het model maakt gebruik van eenvoudige 1<sup>e</sup> orde differentiaalvergelijkingen, rekt in tijdstappen van één maand en/of één jaar en geeft als output de totale voorraad organisch koolstof (C ton ha<sup>-1</sup>) en de verdeling over de onderscheiden compartimenten (pools). Het model rekt met de volgende factoren voor de afbraak: kleigehalte, temperatuur, bodemvochttekort (neerslag minus PAN evapotranspiratie) en het al dan niet bedekt zijn van de bodem.

Het model heeft vijf C-pools (zie Figuur 2-2) waarvan twee voor de aanvoer van koolstof uit gewasresten en organische meststoffen, en drie voor de bodem C-pools:

- DPM = Decomposable plant material ('makkelijk afbreekbaar')
- RPM = Resistant plant material ('traag afbreekbaar')
- BIO = Microbiële biomassa (verantwoordelijk voor de omzetting, van zichzelf zeer snel afbreekbaar)
- HUM = Gehumificeerd organisch materiaal ('moeilijk afbreekbaar')
- IOM = Inert organisch materiaal ('inert')

Het model gaat uit van elkaar opvolgende omzettingen. In elke volgende stap wordt de dan aanwezige organische stof, bijvoorbeeld RPM, omgezet in drie fracties met verschillende afbreekbaarheid (CO<sub>2</sub>, BIO en HUM).



**Figuur 2-2** Structuur van het RothC model (Coleman & Jenkinson, 2014).

Het RothC-model is ontwikkeld en gevalideerd aan bodems van de lang-termijn experimenten van Rothamsted in Zuidoost Engeland. Het bredere gebruik is getoetst aan de hand van de GMP-criteria en akkoord bevonden (Zwart, 2001) voor begraasde ecosystemen in verschillende klimaatzones, akkerbouw



ecosystemen in verschillende klimaatzones en natuurlijk en bosbouwecosystemen in koele gematigde klimaten.

Het model houdt verschillende waarden voor de DPM/RPM ratio aan in relatie tot landgebruik, bijvoorbeeld 1,44 voor verbeterd grasland en 0,67 voor matige graslanden en savannes. Voor de aanvoer van organische meststoffen zoals compost is de DPM/RPM-ratio te berekenen met een empirische formule van de Universiteit van Gent (2008) op basis van de humificatie-coëfficiënt (HC).

$$DPM/RPM\text{-ratio} = -2,174 \times HC + 2,02 \quad (3)$$

Deze formule geldt bij een HC groter dan 0,92. Indien de HC kleiner is dan 0,92 wordt een DPM/RPM van 0 gebruikt.

#### *Uitgangspunten voor de berekeningen*

- Initialisatie door ROTHC in 'inverse mode' te draaien (Coleman & Jenkinson, 2014) voor een periode van 10.000 jaar; hiervoor zijn, op jaarbasis, de weersgegevens en de aanvoer van organische stof van het huidige decennium gebruikt en het SOC-gehalte in 2019 als eindpunt. Hiermee is voor elk van de overige 4 SOC-pools een perceel-specifieke schatting van de INIT-waarden verkregen.
- Basis voor de modellering over 10 jaren zijn de gegevens uit de teeltregistratie van de bedrijven. In enkele gevallen ontbreken teeltregistraties van de beginjaren. De ontwikkeling van bodem organische stof wordt in dat geval berekend over de periode waarover de teeltregistratie wel compleet is.
- Gebruik van kengetallen (HC, C-gehalte) uit het handboek Bodem en bemesting.
- Temperatuur- en neerslaggegevens van KNMI, geaggregeerd naar gemiddeld per jaar, over het decennium 2010-2019.
- Evapotranspiratie (PAN) gegevens van Müller (1982).
- Berekeningen zijn ook gemaakt over een periode van 100 jaar. Bij laatstgenoemde zijn de subsets met teeltgegevens en weerdata over 10 jaar herhaald om tot een periode van 100 jaar te komen. Voor percelen waar teeltregistraties ontbraken, is het maximaal aantal beschikbare registraties herhaald om tot een periode van 100 jaar te komen.
- De onzekerheid van Roth-C is niet bekend; een schatting is 0,05 procentpunt.

## 2.2 Teeltregistratie

### **Management**

De historische dataverzameling bevat data uit het routinematig grondonderzoek en de eerste meetronde van het BNW (De Haan et al., 2021a).

Gegevens over het bedrijfs- en perceelsmanagement in de periode 2010-2019 zijn verzameld tijdens bedrijfsbezoeken en aanvullende e-mails (zie Tabel 2-2) en opgeslagen in Excel.

**Tabel 2-2** Overzicht historische dataverzameling bedrijfsmanagement.

<i>Factor</i>	<i>Maatregel</i>	<i>Eenheid</i>
Bemesting	Gebruik organische mest	Ton product per ha
Bouwplan	Intensiteit: aandeel granen en teelt groenbemesters	% Ja/nee, soort
Bodembewerking	NKG/ploegen	BVI

#### *Bodemverstoringsindex*

Als maat voor de intensiteit van de bodembewerking is de bodemverstoringsindex (BVI) berekend. Deze index is nog in ontwikkeling en is nog niet officieel gepubliceerd voor gebruik door andere partijen. Aangezien de praktische uitvoering van NKG kan verschillen, geeft deze index inzicht in de intensiteit van

de bodembewerking. De BVI is opgebouwd uit de onderdelen rijsnelheid, bewerkingsdiepte, contactoppervlak met de bodem in de werkrichting en machine type (Koopmans et al., 2020). Omdat dergelijk gedetailleerde informatie niet beschikbaar is voor de bedrijven van het BNW, zijn er kengetallen per type bodembewerking vastgesteld (Selin Norén & van Balen, persoonlijke communicatie, december 2020), deze zijn opgenomen in Bijlage 1. De intensiteit heeft alleen betrekking op de hoofdbodembewerking, en niet over de totale verstoring of over de bodemdruk gedurende het seizoen. De bodemverstoringindex is dus geen maat voor bodemverdichting.

## Klimaat

Hoewel de afbraak van organische stof wordt beïnvloed door temperatuur en neerslag en de interactie daartussen, worden deze apart bekeken. Als indicatoren voor weersomstandigheden zijn het jaargemiddelde van de temperatuur en neerslagoverschot meegenomen (zie Tabel 2-3).

**Tabel 2-3** Overzicht historische dataverzameling klimaat.

Factor	Aspect	Eenheid
Neerslag	jaarsom	mm per jaar
Neerslagoverschot	jaarsom	mm per jaar
Temperatuur	jaargemiddelde	°C

Het neerslagoverschot is de neerslagsom per jaar minus de gewasverdamping, berekend door het KNMI volgens de methode van Makkink (1957). De data is verzameld uit 9 weerstations uit de KNMI database over de periode 2010-2019 (KNMI, 2021a). Voor elk bedrijf is de data van het dichtstbijzijnde weerstation genomen, een overzicht wordt gegeven in Tabel 2-3 en Tabel 2-4.

**Tabel 2-4** Dichtstbijzijnde weerstations voor elk BNW-bedrijf

Bedrijf	Weerstation	Bedrijf	Weerstation
FR01	Leeuwarden	ZE01	Vlissingen
GR01	Leeuwarden	BR01	Vlissingen
GR02	Eelde	LI01	Maastricht
GE01	De Bilt	GR03	Eelde
FL01	De Kooy	DR01	Eelde
FL02	De Bilt	GE02	Twente
NH01	De Kooy	BR02	Eindhoven
ZH01	Rotterdam	LI02	Maastricht

## Bodemfactoren

Gegevens over de bodemkwaliteit zijn per perceel verzameld met behulp van de uitslagen van het reguliere grondonderzoek (zie Tabel 2-5). Over de bulkdichtheid en C% in de organische stof zijn weinig historische data beschikbaar en deze factoren konden dus niet worden meegenomen.

**Tabel 2-5** Overzicht historische dataverzameling bodemkwaliteit.

Factor	Indicator	Eenheid
Bodem organische stof	Organische stof	%
Zuurgraad	pH(KCl)	dimensieloos
Textuur	lutum	%
Kwaliteit organische stof	C/N-ratio	dimensieloos

### *Koolstof/lutum ratio*

Uitgaande van het lutumgehalte zoals gemeten in 2019 is voor elk jaar de koolstof/lutum ratio berekend om een schatting te maken van de fysische gesteldheid in dat jaar.

Waarbij het koolstof gehalte (%) en het kleigehalte (%) zijn bepaald door de NIRS-analyse. Op basis van Prout et al. (2020) kan een waardering aan de koolstof/lutum ratio worden gegeven (Bijlage 1).

## 2.3 Regionale en/of nationale dataverzameling

### 2.3.1 Aandeel granen

Om vast te stellen in hoeverre regionale kenmerken een rol spelen in de opbouw van organische stof, wordt het aandeel granen in de regio opgenomen als factor in de semi-kwalitatieve analyse ten behoeve van het opstellen van regionale referentiewaarden. Het aandeel granen per regio komt uit CBS data (CBS, 2021a). Het aandeel granen wordt uitgedrukt in een percentage: het aantal hectare beteeld met granen in verhouding tot het totale aantal hectare akkerbouwgrond.

### 2.3.2 Beschikbaarheid van mest

Om vast te stellen in hoeverre regionale kenmerken een rol spelen in de opbouw van organische stof, wordt de beschikbaarheid van mest in de regio opgenomen als factor in de semi-kwalitatieve analyse ten behoeve van het opstellen van regionale referentiewaarden. Mestgegevens zijn overgenomen uit de CBS dataset over de periode 2010-2019 (CBS, 2021b). De beschikbaarheid van mest is uitgedrukt als ton mest (van rundvee<sup>4</sup>, varkens en pluimvee) per hectare landbouwgrond (akkerbouw + tuinbouw open grond + grasland + veevoedergewassen).

## 2.4 Kwalitatieve beoordeling

Als basis voor het schatten van het effect van de mogelijk verklarende factoren is gekozen voor de ROTHC-trendlijnen, om reden dat de meetgegevens van het bodem organische stofgehalte zelf hiervoor ontoereikend bleken. De verandering in het bodem organisch stof gehalte wordt geclassificeerd (dalend, neutraal of stijgend) op basis van de richtingscoëfficiënt van de trendlijn over de periode 2010-2019.

De ontwikkeling van de factoren over deze periode is bepaald uit vergelijking van de eerste 5 jaren ten opzicht van de laatste 5 jaren. Van elke factor is de ontwikkeling in de periode 2010-2014 en 2015 - 2019 beoordeeld in termen van een dalend, neutraal, of stijgend effect. Bij de presentatie van de uiteindelijke beoordeling zijn hieraan kleuren toegekend. Basis voor de beoordeling is als volgt:

- De aanvoer van EOS op jaarbasis is als volgt beoordeeld: een aanvoer tot 2000 kg EOS ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> valt in categorie 'laag', een aanvoer tussen de 2000 en 3000 kg EOS ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> valt in categorie 'middel' en boven de 3000 kg EOS ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> valt in categorie 'hoog'.
- De cumulatieve organische stof balans is bekeken over 2010-2014 en 2015-2019. Een positieve balans in 2014 en een negatieve balans in 2019 wordt geclassificeerd als dalend. Een negatieve balans in 2014 en een positieve balans in 2019 als stijgend. Een negatieve balans in 2014 en in 2019 of een positieve balans in 2014 en 2019 wordt geclassificeerd als neutraal.
- In het ROTHC-model is sprake van een *rate modifying factor (RMF)*, een functie van de temperatuur, met als kantelpunt 9,0 °C. Bij lagere temperaturen neemt de snelheid af, bij hogere juist toe.
- Ook is er een RMF voor het neerslagoverschot ( $\geq 0$ ). Behalve bij extreme waarden heeft deze de waarde 1.
- Voor bodembewerking is de klassegrens bepaald op basis van de intensiteit van de bodembewerkingen. Een BVI tot 5 valt in categorie 'laag', een BVI tussen de 5 en 7,5 valt in categorie 'middel' en een BVI boven de 7,5 in categorie 'hoog'.

---

<sup>4</sup> Exclusief de mest uitgescheiden in de wei.

- Voor de hoeveelheid neerslag is de empirische grens aangehouden van 870 mm. (Lantinga et al., 2013).
- Voor de classificering van de pH zijn de referentiewaarden uit BLN 1.0 gehanteerd (Hanegraaf et al., 2019a). Voor kleigronden valt een pH onder de 7,3 in de categorie 'laag', tussen de 7,3 en 7,7 in categorie 'middel' en boven de 7,7 in categorie 'hoog'. Voor zandgronden valt een pH onder de 4,6 in de categorie 'laag', tussen de 4,6 en 5,6 in categorie 'middel' en boven de 5,6 in categorie 'hoog'.
- Voor de koolstof/lutum verhouding is uitgegaan van de classificering van Prout et al. (2020). Gekeken is of er sprake was van een verandering van klasse over de periode 2010–2014 en 2015–2019.
- Voor de beschikbaarheid van mest is de grens gesteld op 30 ton ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>.
- Voor het aandeel granen in rotatie is de grens gesteld op 40%.

### *Verkenning regionale indeling*

Als laatste onderdeel van de analyse is een aanzet gegeven om te komen tot een regionale indeling voor de interpretatie van trends in organische stof. Allereerst wordt de vraag beantwoord of de resultaten van de analyse op basis van detailgegevens op hoofdlijnen overeenkomen met die van statistische analyses van grote datasets en/of regionale modelleringsstudies. Alleen als dit zo is wordt de aanname gedaan dat de inzichten uit de organische stofbalansen van de BNW-percelen mogen worden doorgetrokken naar de betrokken regio.

De percelen zijn op verschillende manieren naar regio geclusterd om vervolgens een vergelijking met ontwikkelingen in het bodem organisch stof gehalte en mogelijk verklarende factoren in die regio's te maken. De volgende vijf indelingen komen in deze studie aan de orde:

- Naar grondsoort (klei – zand – löss), overeenkomend met de methodiek van De Haan et al. (2021a).
- Naar grondsoort, overeenkomend met de methodiek Van Tol-Leenders et al. (2019). De BNW percelen zijn daarvoor getypeerd op basis van de Bodemkaart van Nederland (schaal 1:50.000), en geclusterd volgens de indeling zoals omschreven door ten Cate et al. (1995). Dit maakt een vergelijking mogelijk tussen de ontwikkeling in het bodem organisch stof gehalte in de periode 1998-2018 zoals omschreven door Van Tol-Leenders et al. (2019) en de ontwikkeling van het bodem organisch stof gehalte van de BNW-percelen in de periode 2010-2019.
- De zeven regio's zoals omschreven door Koopmans en Van Opheusden (2019). Dit maakt een vergelijking mogelijk tussen de verandering van het bodem organisch stof gehalte van een aantal bietenpercelen uit Koopmans en Opheusden (2019) en de verandering van het bodem organisch stof gehalte van de BNW-percelen.
- Naar provincie, overeenkomend met de methodiek van Conijn & Lesschen (2015). Dit maakt een vergelijking mogelijk tussen de organische stof balansen opgesteld door Conijn & Lesschen (2015) en de organische stof balansen opgesteld voor de BNW-percelen.
- Naar landbouwgebied, overeenkomend met de methodiek van Smit en Jager (2018). Dit maakt het mogelijk om verklarende factoren die op regionale schaal een rol spelen te bekijken (bijvoorbeeld de beschikbaarheid van organische mest).

Met een verkenning van deze indelingen wat betreft onderscheidend vermogen van de belangrijkste factoren voor de organische stofbalans is de laatste kennismvraag beantwoord en zijn conclusies getrokken met betrekking tot de mogelijke afleiding van regionale streefwaarden voor organische stof.



# 3 Resultaten

## 3.1 Trends in organisch stof

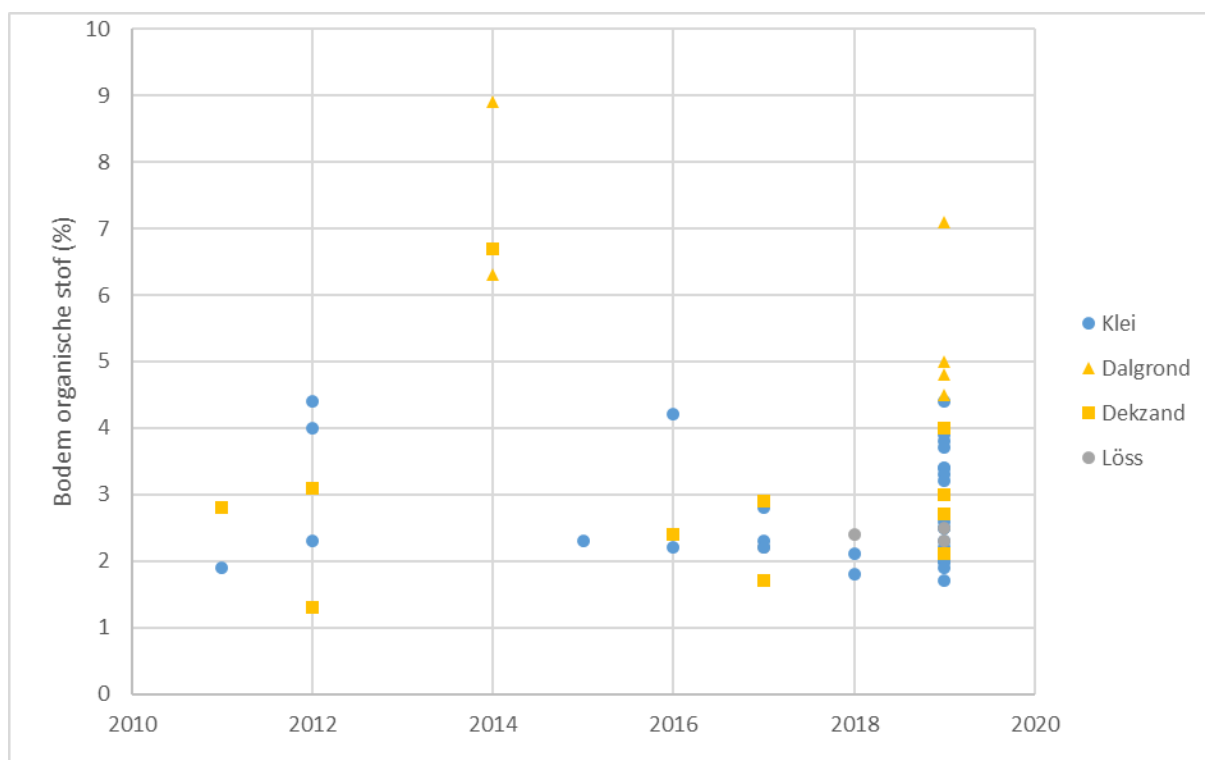
### 3.1.1 Gehalten en trends op basis van meetwaarden

De bodemorganische stof percentages uit de periode 2010–2019 zijn uiteengezet in Figuur 3-1. De meetpunten blijken in deze periode sterk uiteen te lopen voor de verschillende grondsoorten. Voor klei geldt dat er percentages worden gevonden tussen de 1,7 en 4,4%. Op zandgronden lopen de waardes uiteen van 1,3 tot 8,9%, de hoogste daarvan worden gevonden op dalgrond. Voor lössgronden zijn 4 datapunten beschikbaar, welke uiteenlopen van 2,2 tot 2,5%. Een overzicht wordt gegeven in Bijlage 2.

Uit de resultaten van het bodem organisch stof percentage uit routinematig grondonderzoek van de 32 percelen, zoals weergegeven in Figuur 3-1, wordt een grote variëteit aan datapunten zichtbaar.

- Voor de dekzandgronden vormen de meetgegevens een puntenwolk.
- De enkele datapunten voor de dalgronden liggen op een dalende lijn.
- Voor de kleigronden liggen de datapunten min of meer op een horizontale lijn.
- De gegevens voor de lössgronden zijn van eenzelfde orde grootte als die van de kleigronden.

Deze resultaten van het verloop in bodem organische stofgehalte zijn op zich in overeenstemming met de huidige kennis over zowel het organische stof gehalte als het verloop hierin tussen verschillende minerale bodemtypen. We kunnen niet spreken van een algemene trend voor minerale gronden.



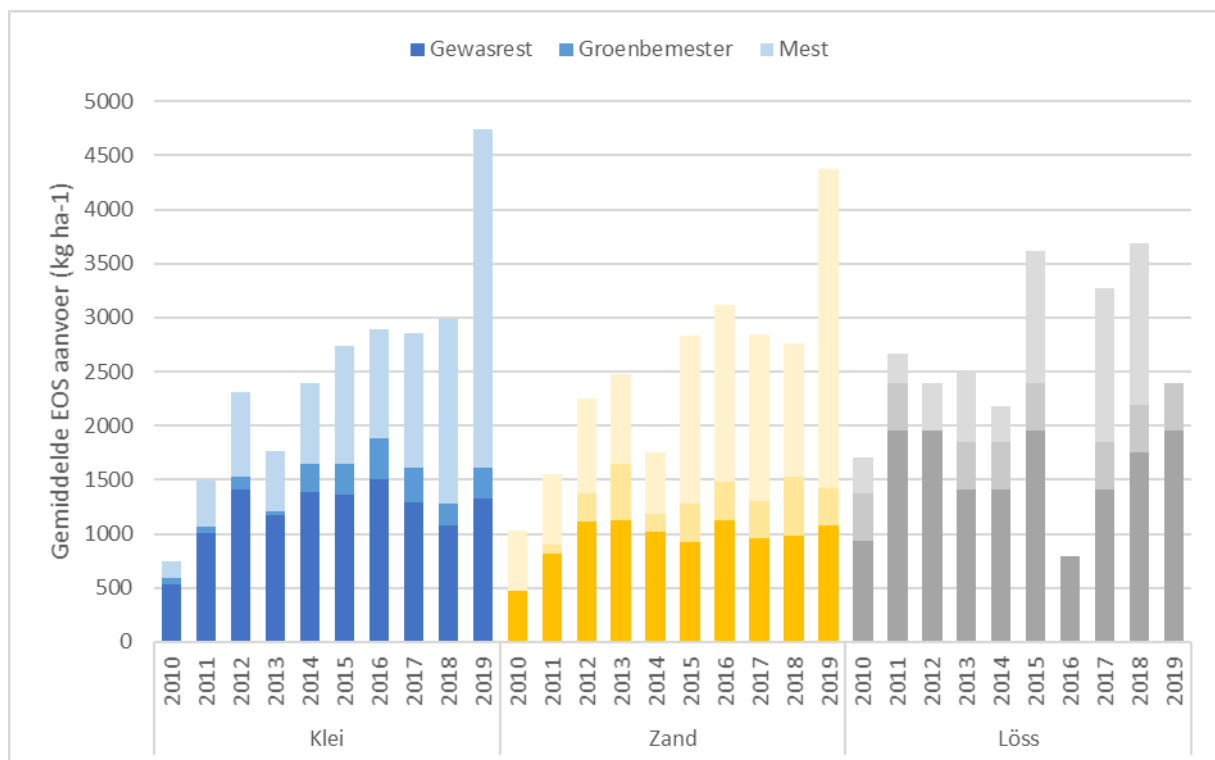
**Figuur 3-1** Meetwaarden van het bodem organische stof gehalte in de periode 2010-2019, uitgesplitst naar klei (n=35), dalgrond (n=6), dekzand (n=13) en löss (n=4). Metingen tot 2019 waren uitgevoerd op verzoek van de ondernemers, metingen in 2019 zijn uitgevoerd in het kader van het BNW.

### 3.1.2 Trends op basis van organische stofbalansen

#### Organische stofbalansen op jaarbasis

##### Aanvoer effectieve organische stof

De verschillen tussen de jaren en percelen zijn groot, gemiddeld genomen wordt er 2645 kg EOS ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> per perceel aangevoerd in de periode 2010-2019. In Figuur 3-2 wordt de variatie tussen de jaren zichtbaar. Over het algemeen zit er een stijgende lijn in de totale aanvoer van EOS, met het hoogtepunt in 2019. De stijging is voornamelijk toe te schrijven aan een hogere aanvoer van EOS met organische mest. In de periode 2010-2014 werd gemiddeld 565 kg EOS ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> uit organische mest aangevoerd, in de periode 2015-2019 was dat 1645 kg ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>. Van de totale EOS komt gemiddeld genomen 46% uit gewasresten, 10% uit groenbemesters en 44% uit organische mest.



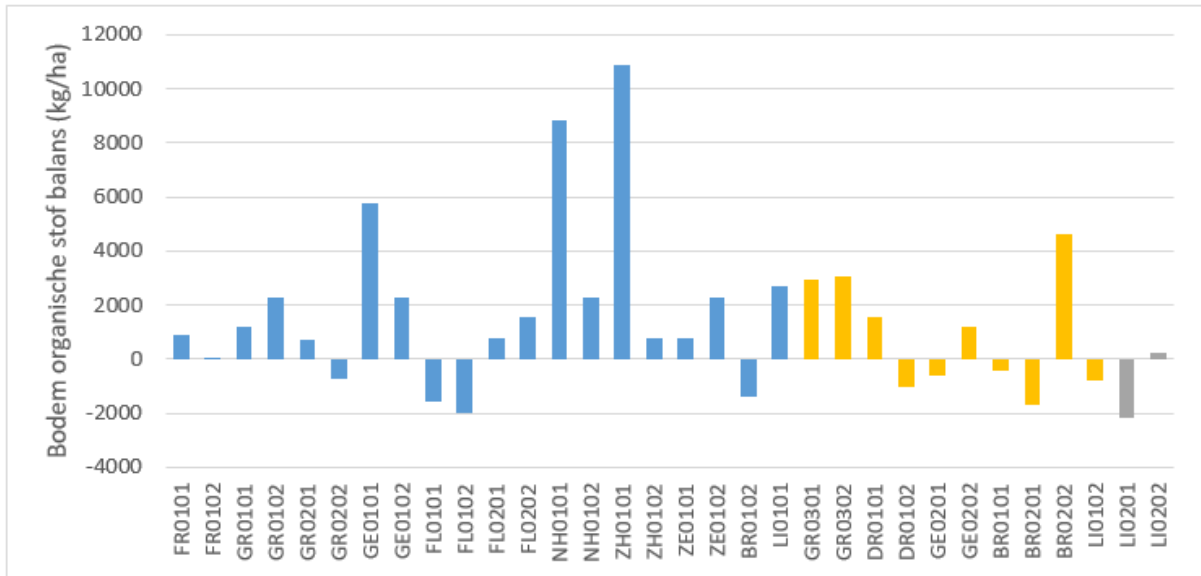
**Figuur 3-2** De gemiddelde aanvoer van effectieve organische stof in de periode 2010-2019, in blauw de klei-, in geel de zand- en in grijs de lössgronden.

##### Afbraak bodem organische stof

De afbraakpercentages van de BNW percelen zijn berekend uit de C/N-ratio en het N-gehalte (De Haan et al., 2021a). Op basis hiervan is berekend dat de afbraak varieert van 1384 kg ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> in een klei perceel tot 3663 kg ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> in een zand perceel. Over de gehele periode bezien varieerde de afbraak van 1384 kg ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> in een klei perceel tot 3663 kg ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> in een zand perceel. Gemiddeld genomen brak er op de klei percelen 2543 kg organische stof ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> af, op zand percelen 3103 kg organische stof ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> en op löss percelen 3050 kg organische stof ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>.

## Jaarbalans

Gezien de grote diversiteit in de aanvoer van organische stof en de afbraak van organische stof, vertoont ook de jaarbalans een grote variatie, zowel per perceel in de tijd als tussen de percelen in eenzelfde jaar. Als voorbeeld bevat Figuur 3-3 de organische stofbalans van de BNW-percelen voor 2019. Een viertal percelen springt eruit met een balansoverschot van 4000 tot 10.000 kg organische stof ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>. Pakweg een derde van de percelen had in 2019 een balanstekort. Voor de overige percelen schommelde de balansoverschot tussen de 500 en 2500 kg ha<sup>-1</sup>.



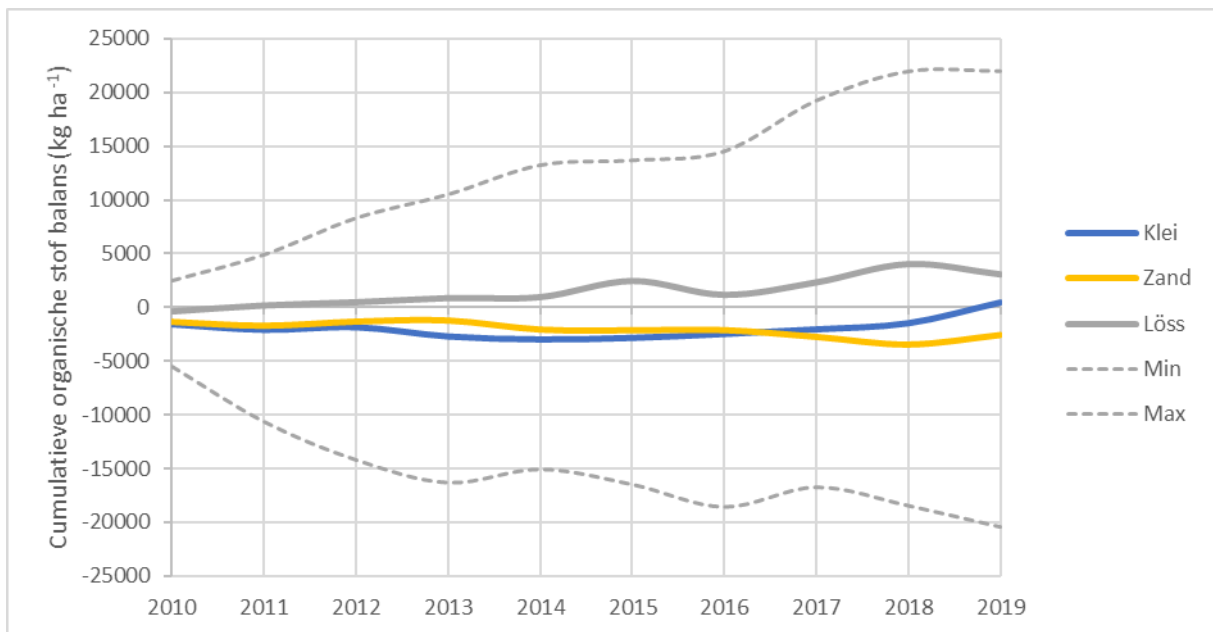
**Figuur 3-3** De organische stofbalans in de BNW-percelen in 2019, in blauw de klei-, in geel de zand- en in grijs de lössgronden (NB: het overschot van FR0102 ligt op de nullijn).

## Cumulatieve organische stofbalans

De cumulatieve organische stof balans geeft inzicht in het tekort of overschot op de organische stof balans over een periode. Hieruit kan beter worden opgemaakt of het bodem organisch stof gehalte zal stijgen of dalen dan uit een jaarbalans. De cumulatieve organische stof balans is berekend uit de jaarlijkse aanvoer van EOS en de jaarlijkse afbraak van bodem organische stof.

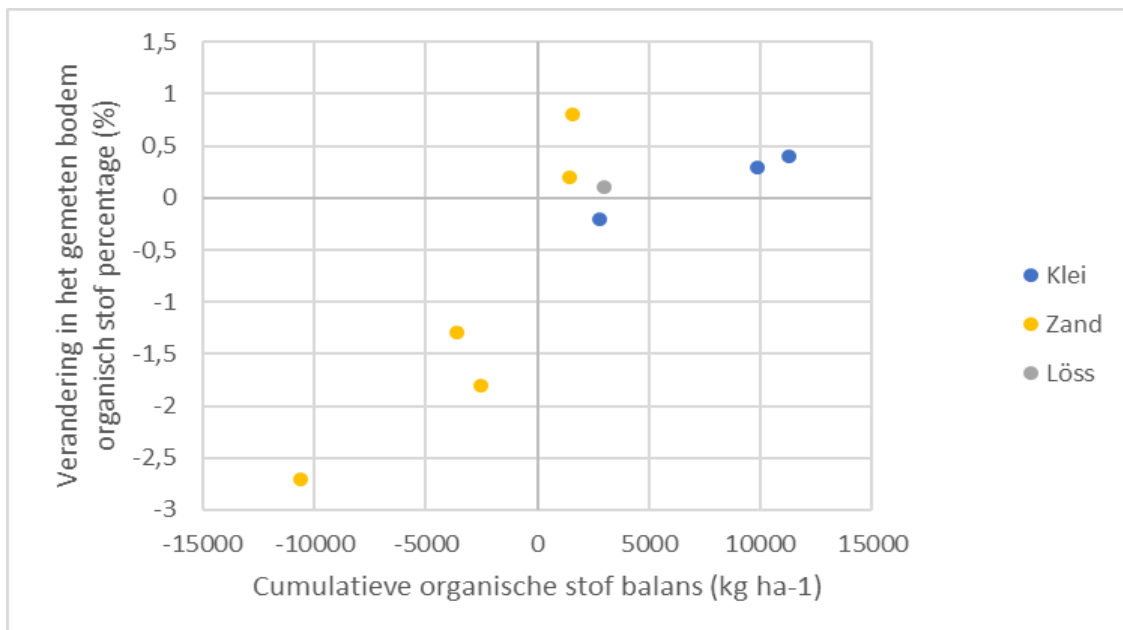
Schommelingen in de jaarlijkse EOS-aanvoer komen tot uiting in schommelingen in de cumulatieve balans. Voor de kleigronden als groep veranderde het aanvankelijke tekort naar een licht overschot (Figuur 3-4). Bij de zandgronden was sprake van een toenemend tekort tot aan de aanvoer van EOS in 2019. De vier lösspercelen vertoonden een gestage stijging.





**Figuur 3-4** Cumulatieve organische stof balans in de periode 2010-2019, uitgesplitst naar grondsoort.

Op perceelniveau vertoont de cumulatieve balans een grote variatie (Bijlage 3); bij 19 van de 32 percelen was de cumulatieve balans na 10 jaar negatief. Interessante vraag is nu in hoeverre de trend in de organische stof balans terug te vinden is in het organische stofgehalte in de bodem. In theorie zal het bodem organisch stof gehalte stijgen bij een overschot op de organische stofbalans en dalen bij een tekort op de balans. In Figuur 3-5 is de verandering in meetresultaten (NIRS) uitgezet tegen de verandering in cumulatieve organische stofbalans in de corresponderende periode. Al betreft het slechts enkele percelen, de suggestie wordt gewekt dat er een verband bestaat tussen (een verandering) in organische stofgehalte en (een verandering) in cumulatieve organische stofbalans.



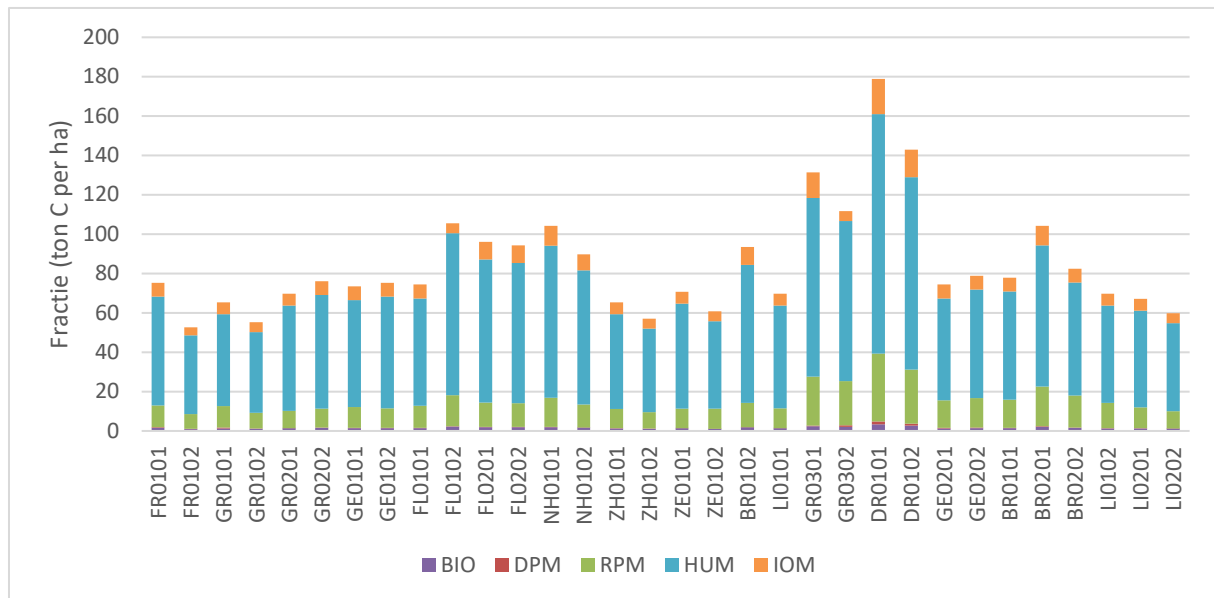
**Figuur 3-5** Verandering van het gemeten bodem organisch stof gehalte in vergelijking tot de cumulatieve organische stof balans over de periode 2010-2019.

Al met al lijkt het opstellen van een cumulatieve organische stofbalans een praktische en goede werkwijze te zijn om inzicht te krijgen in een mogelijke verandering in het bodem organische stofgehalte. Voorwaarde is wel dat de gebruikte kengetallen betrouwbaar en actueel zijn, omdat anders de gemaakte fout zich stapelt.

### 3.1.3 Trends op basis van gemodelleerde waarden

#### Initialisatie van ROTHC

De beginwaarden van de simulatie met het ROTHC-model tonen de verschillen in omvang van de fracties, die, conform de modeldefinitie, afhankelijk zijn van het totaal C-gehalte. De grootste fractie bestaat in alle percelen uit HUM (zie Figuur 3-6).



**Figuur 3-6** Initialisatiewaarden voor de verschillende pools in ROTHC. IOM staat voor inert organisch materiaal ('stabiel'), HUM voor gehumificeerd organisch materiaal ('moeilijk afbreekbaar'), RPM voor *resistant plant material* ('traag afbreekbaar'), DPM voor *decomposable plant material* ('makkelijk afbreekbaar'), en BIO voor microbiële biomassa.

#### Verloop bodem organische stof gedurende 10 jaar volgens Roth-C

Met het ROTHC-model is het verloop van het bodem organische stof gehalte gemodelleerd voor de periode 2010-2019. De gemodelleerde bodemorganische stof percentages uit de periode 2010 – 2019 lopen sterk uiteen voor de verschillende grondsoorten. Voor klei zijn de OS-gehalten aan het eind van de 10-jarige periode tussen de 1,7 en 4,3%. Op zandgronden lopen de waardes uiteen van 1,8 tot 7,9%, de hoogste daarvan worden gevonden op dalgrond. Op lössgronden loopt dit percentage uiteen van 2,2 tot 3,1%. In ROTHC wordt geen expliciet onderscheid gemaakt tussen zand- en dalgronden.

Laatstgenoemde bevatten een deel bolsterveen, met een zeer lage afbreeksnelheid. ROTHC houdt hier via de perceel-specifieke INIT-waarden in principe rekening mee. Dit blijkt ook uit vergelijking van de afname in dalgronden en zandgronden in Figuur 3-7, die het verloop van het bodem organische stof gehalte in de periode 2010-2019 geeft. In Bijlage 4 wordt het verloop per perceel weergegeven.

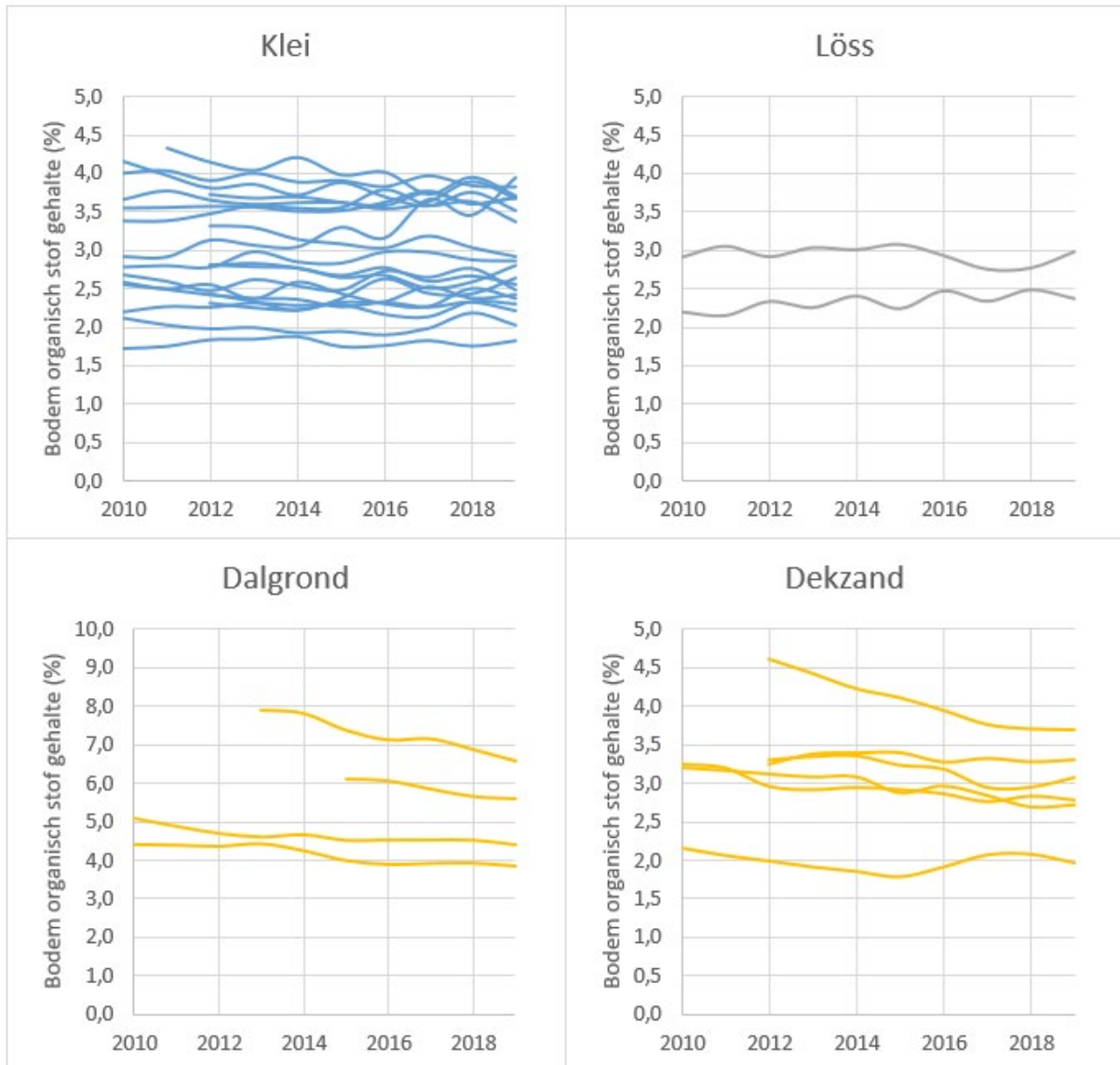
Kort samengevat zijn de resultaten als volgt:

- Het gemiddelde bodem organisch stof gehalte op de kleigronden laat geen sterke toe- of afname zien in de periode 2010-2019, het gemiddelde loopt van 3,0% in 2012<sup>5</sup> terug naar 2,9% in 2019. Ondanks enkele lichte fluctuaties blijft het bodem organisch stof gehalte min of meer constant. Op 10 van de 20 kleipercelen daalde het bodem organisch stof gehalte in de periode 2010-2019. Bij 7 percelen was er sprake van een toename en bij 3 percelen is geen duidelijke toe- of afname waar te nemen. Dit is mogelijk toe te schrijven aan het tweevoudige, tegengestelde effect dat klei kan hebben op de organische stofafbraak.
- Op dal- en dekzandgronden daalde het bodem organisch stof gehalte respectievelijk bij 4 van de 4 en 5 van de 6 percelen. De dalgronden hebben de grootste range in bodem organisch stof gehalte, en daardoor zijn de percelen eenvoudig van elkaar te onderscheiden in Figuur 3-7. Bij

<sup>5</sup> Het eerste jaar waarvan er voor elk perceel gegevens beschikbaar zijn.

alle vier de percelen is sprake van een dalende trend. Deze trend is sterker bij de percelen met een initieel hoog bodem organisch stof gehalte, bij de andere twee percelen lijkt de trend af te vlakken. In de dekzandgronden neemt het bodem organisch stof gehalte gemiddeld genomen af van 3,2% in 2012 naar 2,9% in 2019.

- Op de lössgrond zijn de twee percelen duidelijk te onderscheiden. Op beide percelen neemt het bodem organisch stof gehalte toe, al is de stijging beperkt. Het perceel met een initieel bodem organisch stof gehalte van 2,9% neemt in 10 jaar toe met 0,07 procentpunt en het perceel met een initieel bodem organisch stof gehalte van 2,2% neemt in 10 jaar tijd toe met 0,17 procentpunt.



**Figuur 3-7** Verloop van het bodem organisch stof gehalte (%) op basis van door ROTHC gemodelleerde waarden, uitgesplitst naar bodemtype. Elke curve representeert één perceel; lijnen beginnen bij het 1<sup>e</sup> jaar waarvoor teeltgegevens beschikbaar zijn.

### Verloop bodem organisch stof gehalte gedurende 100 jaar volgens Roth-C

Met het ROTHC-model is het verloop van het bodem organische stof gehalte gemodelleerd voor een periode van 100 jaar, op basis van de bedrijfsvoering en het weer van de periode 2010-2019. In 26 van de 32 percelen leidt de huidige bedrijfsvoering tot een afname in het bodem organisch stof gehalte (zie Tabel 3-1), bij een aantal daarvan zelfs meer dan een halvering van het initiële bodem organische stof gehalte (FL0102, DR0101, DR0102, en BR0201). De daling betreft zowel klei- als zandgronden. De percelen waarvoor een stijging is berekend, zijn alle drie kleigrond (FL0201, ZH0101, ZH0102) en de drie

percelen met een gelijkblijvend gehalte klei- en löss (FR0102, GR0102 en LI0202). Voor alle zandpercelen werd dus een daling berekend.

**Tabel 3-1** Het gemodelleerde beloop van het bodem organisch stof gehalte gedurende 100 jaar, op basis van voortzetting van de bedrijfsvoering van de afgelopen 10 jaar en ongewijzigd klimaat.

Perceel	Initieel bodem organisch stof gehalte (%)	Bodem organisch stof gehalte (%) over 100 jaar	Toe- of afname
FR0101	2,6	1,6	-
FR0102	2,2	2,2	+/-
GR0101	2,1	1,6	-
GR0102	1,7	1,7	+/-
GR0201	3,4	3,0	-
GR0202	3,6	2,9	-
GE0101*	2,8	2,3	-
GE0102*	2,8	2,0	-
FL0101	2,6	1,6	-
FL0102	4,2	1,8	-
FL0201	3,7	4,9	+
FL0202	4,0	3,2	-
NH0101*	3,3	2,1	-
NH0102*	3,7	2,7	-
ZH0101	2,8	3,9	+
ZH0102	2,9	4,9	+
ZE0101*	2,3	2,0	-
ZE0102*	2,4	2,3	-
BR0102****	4,3	2,4	-
LI0101	2,7	2,0	-
GR0301	5,1	2,8	-
GR0302	4,4	2,6	-
DR0101**	7,9	3,4	-
DR0102***	6,1	2,7	-
GE0201*	3,2	2,9	-
GE0202*	3,3	2,1	-
BR0101	3,2	1,5	-
BR0201*	4,6	1,5	-
BR0202	3,2	1,9	-
LI0102	2,2	1,3	-
LI0201	2,9	2,2	-
LI0202	2,2	2,2	+/-

\* Op basis van 8 jaar, \*\* op basis van 7 jaar, \*\*\* op basis van 5 jaar, \*\*\*\* op basis van 9 jaar.

#### *Onzekerheden in data en model*

Het is zo dat er verschillen zijn in de protocollen van regulier grondonderzoek en de meetronde in 2019. Echter deze verschillen worden hier van ondergeschikt belang geacht. De analyse van meetwaarden en modelberekeningen is indicatief en bedoeld als aanzet voor een discussie over mogelijke verschillen tussen regio's in gehalten en/of de snelheid van de veranderingen daarin.

Bij de data verzameling en modellering is gebruik gemaakt van kengetallen zoals momenteel zijn opgenomen in het Handboek Bodem en Bemesting. Deze kengetallen worden momenteel geactualiseerd. Het zou kunnen betekenen dat de resultaten van de OS-balansen en/of modellering anders zouden uitpakken. We verwachten echter niet dat dit tot een geheel ander beeld zou leiden tussen klei-, zand-, dal- en lössgronden. Overigens zijn in de wetenschappelijke literatuur aanwijzingen te vinden dat voor de uiteindelijke opbouw van bodem organische stof 1 ton EOS uit gewas resten niet gelijk kan worden gesteld aan 1 ton EOS uit organische mest. De beschikbare kennis hierover is slechts beperkt.

Het ROTHC model wordt veel gebruikt omdat er goede resultaten mee worden behaald en er weinig invoergegevens benodigd zijn. Kanttekening is dat tot de beperkingen van het model horen dat bijvoorbeeld effecten van bodembewerking niet worden meegenomen (anders dan het ontbreken van

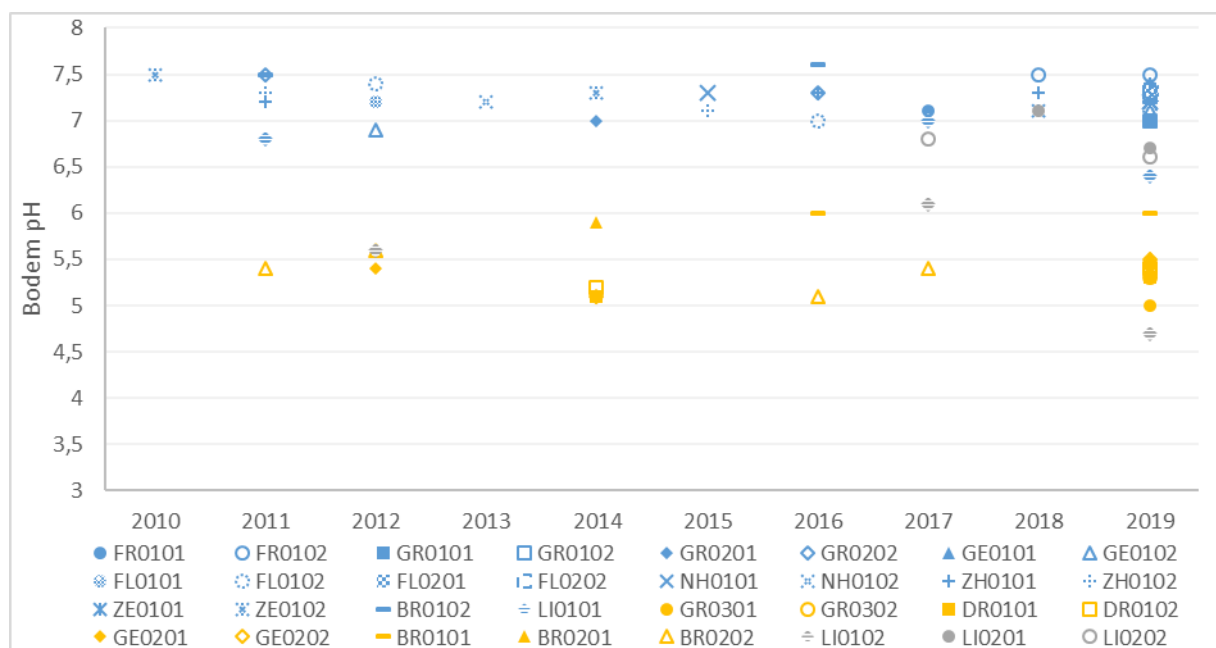
bodembedekking dat ploegen veronderstelt). In deze studie kon dit gedeeltelijk worden ondervangen door de parameter BVI apart mee te nemen in de analyse. Ander punt is dat alleen het kleigehalte mee is genomen in de berekening, en niet het type kleimineraal en/of andere bodemkenmerken.

## 3.2 Trends in mogelijk verklarende factoren binnen het BNW

### 3.2.1 Trends in bodemfactoren

#### Zuurgraad

Het verloop van de bodem pH wordt weergegeven in Figuur 3-8. De gemiddelde pH van de kleipercelen lijkt stabiel te blijven in de periode 2010-2019. Van de dertien percelen waarvan minimaal 2 datapunten bekend zijn, benodigd om een verandering vast te stellen, daalde de pH van zeven percelen. Van drie percelen steeg de pH en van de overige drie percelen bleef de pH gelijk. De verandering is in de meeste gevallen beperkt en viel binnen de klassen zoals omschreven in paragraaf 2.4. In de meetwaarden van de zandpercelen zit een grote spreiding. Van de acht percelen waarvan voldoende data beschikbaar is, steeg de pH van vier percelen, bleef de pH gelijk bij twee percelen en daalde de pH bij de overige twee percelen. Net als bij de kleipercelen geldt dat de veranderingen beperkt zijn en binnen de klassen vielen. Op basis van deze informatie kan worden geconcludeerd dat de pH niet aanzienlijk veranderde in de periode 2010-2019.



**Figuur 3-8** Verloop van de bodem pH in de periode 2010-2019.

#### Koolstof/lutum ratio

Er zijn verschillen in de koolstof/lutum ratio tussen de verschillende grondsoorten. Met name dalgronden veroorzaken grote uitschieters, vanwege een hoog organisch stof percentage en een laag lutumgehalte. De bodemstructuur kan op basis van de koolstof/lutum ratio als volgt worden beoordeeld:

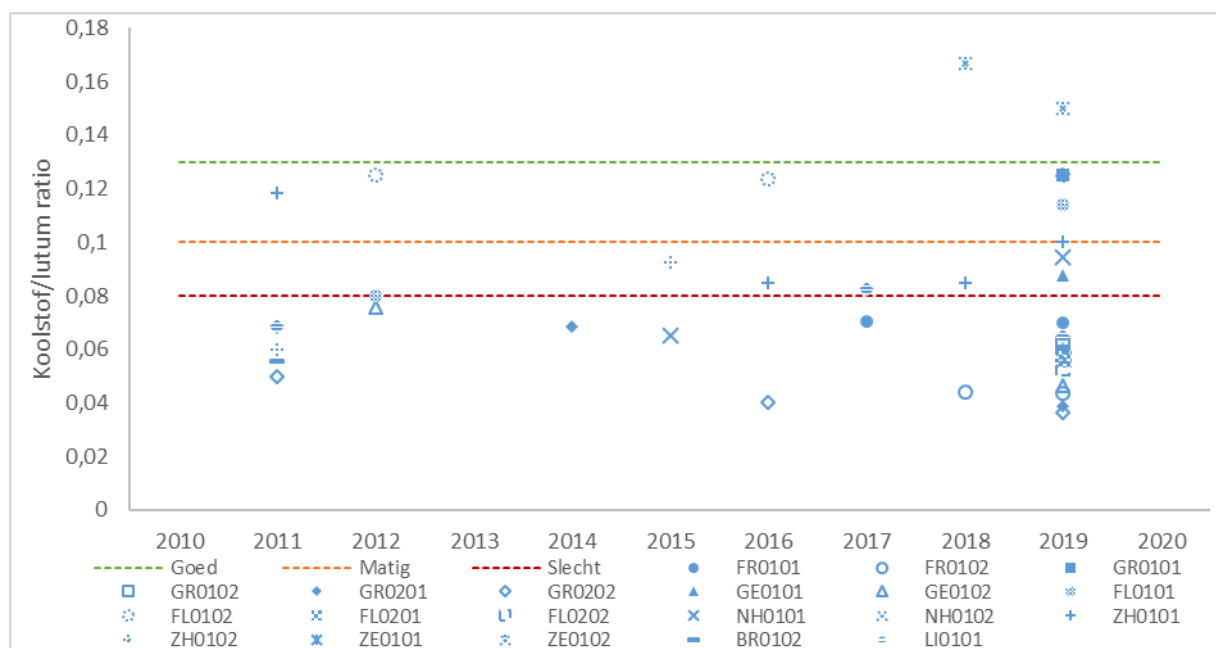
- kleipercelen: 'slecht'
- dalgrondpercelen 'zeer goed'
- dekzandpercelen: 'zeer goed'
- lösspercelen: 'matig'

Uit de rapportage van De Haan et al. (2021a) blijkt uit de visuele beoordeling dat de bodemstructuur van klei- en zandpercelen van het BNW onderling verschillen. Dit is dus niet tot uiting gekomen in de

koolstof/lutum ratio. Mogelijk zijn de klassengrenzen van de door Prout et al. (2020) onvoldoende afgestemd op de Nederlandse situatie.

Een verandering in het bodem organisch stof gehalte van enige omvang kan in de koolstof/lutum ratio tot uiting komen. Mits de klassegrenzen goed zijn vastgesteld, kan worden berekend met hoeveel het bodem organisch stof percentage zou moeten stijgen om de bodemstructuur te verbeteren.

Alleen voor de kleigronden zijn voldoende gegevens beschikbaar om het verloop in de periode 2010-2019 weergegeven (zie Figuur 3-9). Van de kleigronden zijn er 14 percelen waarvan minimaal twee datapunten beschikbaar zijn, benodigd om een verandering vast te kunnen stellen. Bij zes van deze percelen bleef de koolstof/lutum ratio gelijk, bij vijf percelen nam de ratio af en bij drie percelen nam de ratio toe. Slechts bij twee percelen veranderde de beoordeling. Bij FL0101 werd de koolstof/lutum ratio in 2012 beoordeeld als matig en in 2019 als goed, het bodem organisch koolstofgehalte nam toe van 1,2 naar 1,6%. Bij perceel NH0101 werd de koolstof/lutum ratio in 2015 beoordeeld als slecht en in 2019 als matig, dit komt doordat het bodem organisch koolstof percentage in dezelfde periode toenam van 1,5 naar 1,7%.



**Figuur 3-9** Verloop van de koolstof/lutum ratio in de periode 2010-2019

Uit deze informatie is op te maken dat het koolstof/lutum gehalte dat er geen opvallende toe of afname is geweest in de koolstof/lutum ratio van de kleipercelen in de periode 2010-2019. Voor de percelen op andere grondsoorten is de ontwikkeling onbekend.

### 3.2.2 Bedrijfs- en perceelsmanagement

#### Aanvoer effectieve organische stof

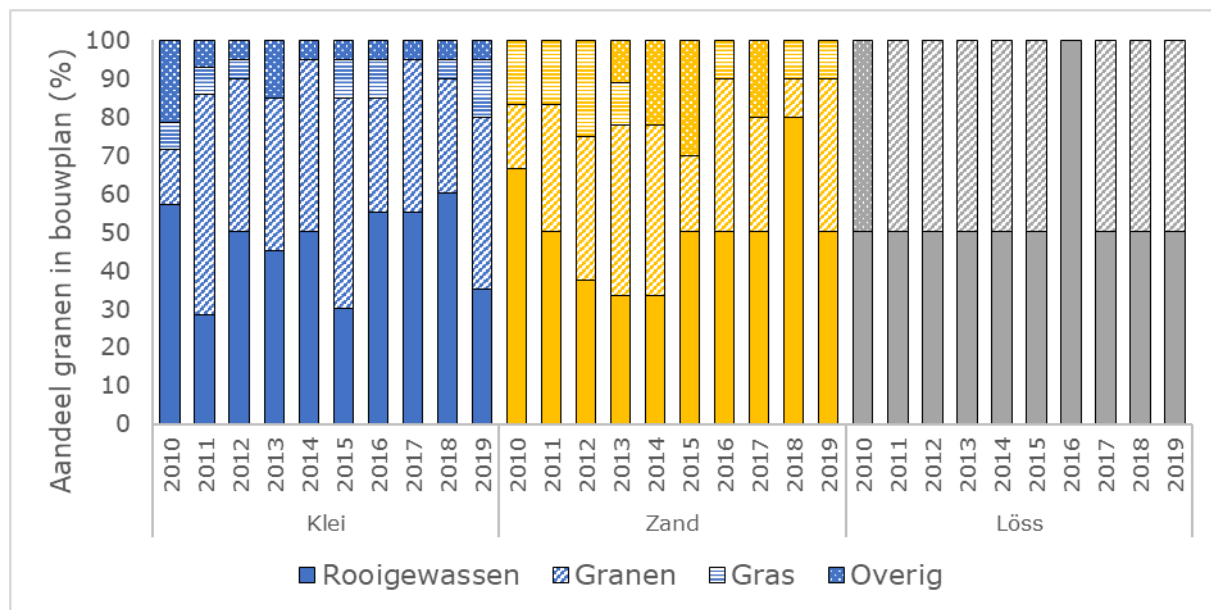
De verschillen in de EOS-aanvoer tussen de jaren en percelen zijn groot (zie Figuur 3-2). Gemiddeld genomen over alle percelen werd er 2645 kg EOS ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> per perceel aangevoerd in de periode 2010-2019. In Figuur 3-2 wordt de variatie tussen de jaren zichtbaar. Over het algemeen zit er een stijgende lijn in de totale aanvoer van EOS, met de hoogste aanvoer in 2019.

Voornamelijk in de aanvoer van EOS in organische mest is een duidelijke stijging zichtbaar (zie Figuur 3-2). In de periode 2010-2014 werd gemiddeld 565 kg EOS ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> uit organische mest aangevoerd, in de periode 2015-2019 was dat 1633 kg ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>. Dit komt zowel doordat de gemiddelde aanvoer van organische mest in tonnen per hectare per jaar toenam en doordat er meer stabielere materialen werden aangevoerd (meer geitenmest, champost en compost). Van de totale EOS komt gemiddeld genomen 46% uit gewasresten, 10% uit groenbemesters en 44% uit organische mest.

De hoeveelheid aangevoerde EOS op de BNW-percelen lijkt gestegen te zijn in de periode 2010-2019. In een trend op perceelsniveau kunnen effecten van de gewasrotatie tot uiting komen. Sommige gewassen gaan gepaard met een hogere EOS aanvoer dan andere. De gewasresten van granen, mais en suikerbieten leveren relatief veel EOS ha<sup>-1</sup>, bij de teelt van gewassen zoals gras, tarwe en aardappel wordt meer organische mest aangevoerd, en na de teelt van gewassen zoals tarwe, erwten en mais wordt vaak een groenbemester of vanggewas geteeld. Gemiddeld genomen wordt er bij de teelt van tarwe, gras en mais veel EOS ha<sup>-1</sup> aangevoerd. Bekeken over alle percelen van het BNW is te zien dat de hoge EOS aanvoer in 2015 op de kleipercelen kan worden verklaard doordat er toen relatief veel granen werden geteeld (zie Figuur 3-10). Op de zandpercelen zijn in 2013 en 2016 relatief veel granen geteeld. Op landelijk niveau is de aangevoerde EOS minder afhankelijk van de effecten van de gewasrotatie. Uit de studie van Schils et al. (2012) blijkt dat de aanvoer van EOS met 2,7% is gedaald in de periode 1995-2009. Hoewel er in deze periode meer compost werd aangevoerd, compenseerde dat niet voor de afname in EOS uit mest. Op basis van deze informatie vertoont de ontwikkeling van de EOS-aanvoer over de periode 2010-2019 een wisselend beeld voor de percelen.

### Bouwplan

Het aandeel granen en rooigewassen in de bouwplannen van de BNW-percelen wordt weergegeven in Figuur 3-10. Op kleigronden was het gemiddelde percentage rooigewassen 46% in de periode 2010-2014 en 47% in de periode 2015-2019, het aandeel granen was respectievelijk 39 en 40% en het aandeel gras respectievelijk 4% en 8%. Op zandgronden was het verschil groter. In de periode 2010-2014 was het aandeel rooigewassen 44% en 56% in de periode 2015-2019. Dit betekent echter niet dat het bouwplan intensiever is geworden. Het aandeel granen en gras was ook lager in de periode 2015-2019 in vergelijking tot 2010-2014 (respectievelijk 28 en 35% en 6 en 14%). Het aandeel overige gewassen (zoals erwten, bleekselderij en de onderstam van fruitbomen) was in de periode 2015-2019 hoger dan in de periode daarvoor. Op lösspercelen is geen verandering in gewasaandelen zichtbaar door de tijd heen.

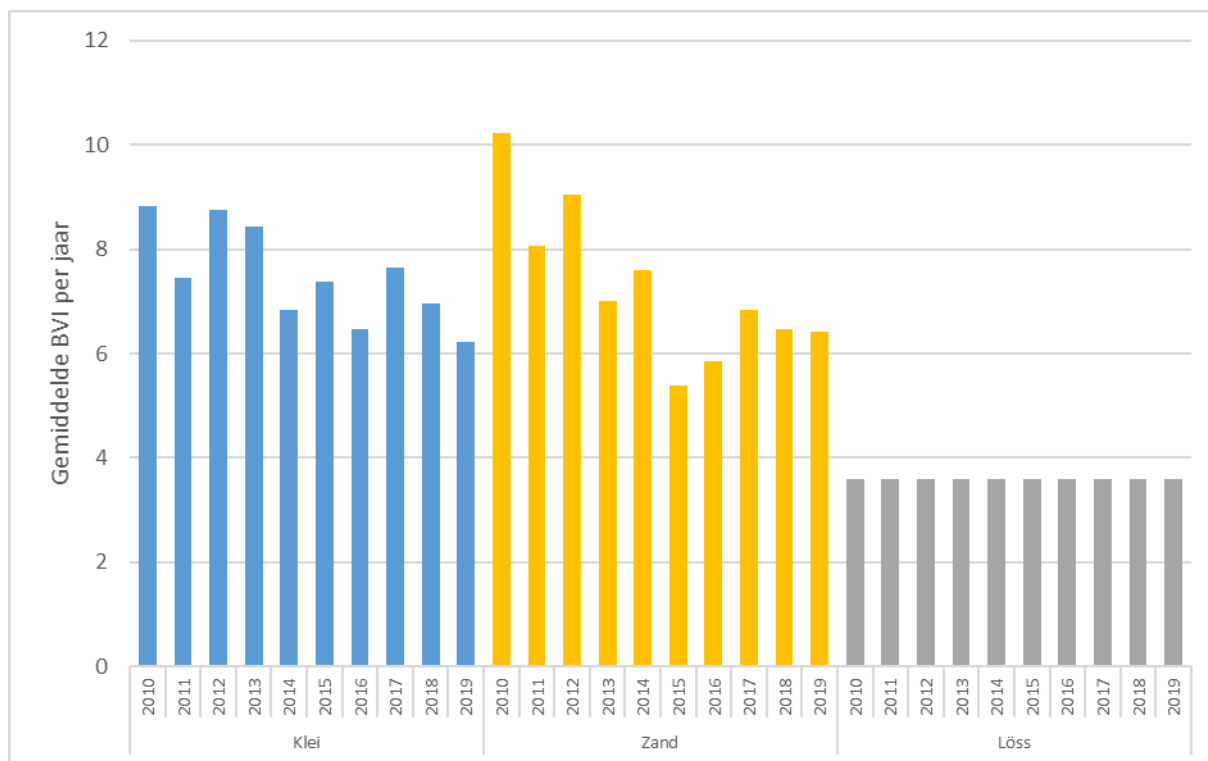


**Figuur 3-10** Gemiddeld aandeel rooigewassen, granen, gras en overige gewassen per jaar. In blauw de klei-, in geel de zand- en in grijs de lösspercelen. Het aandeel granen is weergegeven met ruiten, gras met horizontale strepen en overig is gestippeld.

### Bodembewerking

In Figuur 3-11 wordt de gemiddelde bodemverstoring, uitgedrukt in de BVI, per jaar weergegeven. Voor zowel klei- als zandpercelen lijkt de gemiddelde BVI lichtelijk afgenomen te zijn. De gemiddelde BVI in de periode 2010-2014 was 8,1 voor klei percelen en 8,4 voor zandpercelen, in de periode 2015-2019 was dit respectievelijk 6,9 en 6,2. Daarnaast lijkt de variatie de afgelopen jaren te zijn toegenomen. Dit is te verklaren door een aantal bedrijven die door de jaren heen minder bodembewerkingen hebben uitgevoerd

met de ploeg en in plaats daarvan de bodem bewerkten met de woeler en cultivator. Een voorbeeld daarvan is het perceel GR0102. In 2010-2012 werd er geploegd, in 2013-2016 gespit en in 2018 en 2019 gewoeld en geëgd. Ook op de percelen ZH0101 en ZH0102 werd na 2014 enkel gespit en gewoeld. Bij de percelen ZE0101 en ZE0102 werd de ploeg voor het laatst gebruikt in 2012, waarna de bouwvoorlichter en cultivator zijn gebruikt.



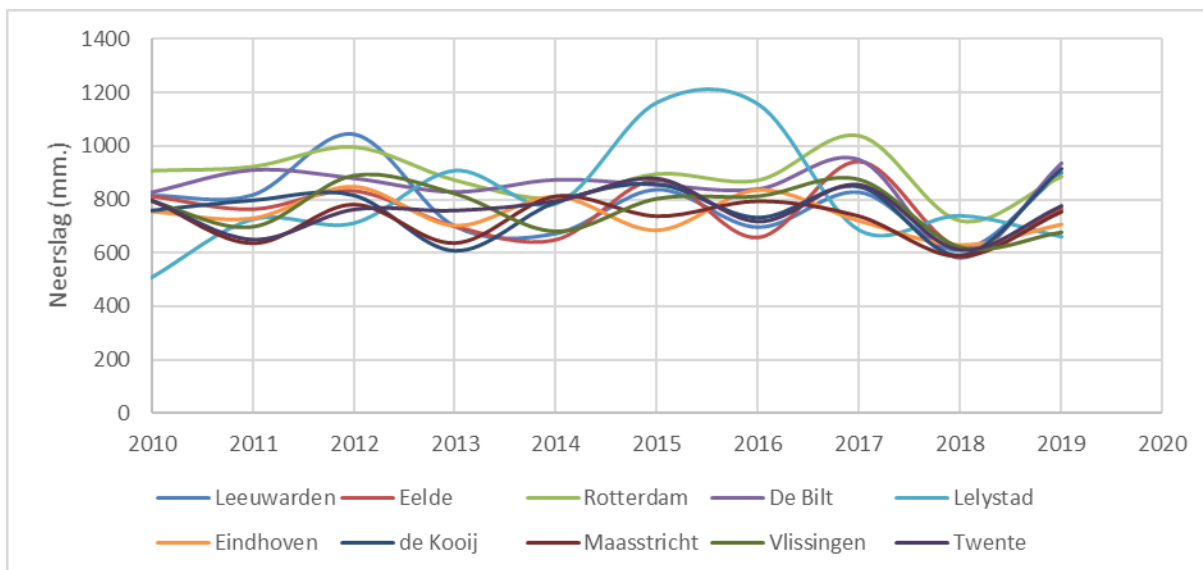
**Figuur 3-11** Gemiddelde bodemverstoringsindex (BVI) per jaar, in blauw de klei-, in geel de zand- en in grijs de lössgronden.

### 3.2.3 Trends in weersomstandigheden

#### Neerslag

De gemiddelde hoeveelheid regen in Nederland is 800 mm per jaar. Over de jaren heen en ook tussen de weerstations bleek dit voor de periode 2010-2019 sterk wisselend (zie Figuur 3-12). Het grootste verschil doet zich voor in Flevoland (505–1161 mm). In Maastricht werd de grens van 840 mm in geen enkel jaar bereikt. In de Bilt en Rotterdam was dit 7 respectievelijk 8 jaren het geval. Wat betreft de verandering, werd deze grens na 2014 vaker overschreden in Eelde, Lelystad, De Kooij en Twente en minder vaak in Eindhoven; in de overige was dit onveranderd. Op basis van deze informatie wordt geconstateerd dat de ontwikkeling van de neerslag over de periode 2010-2019 een wisselend beeld vertoont voor de percelen.



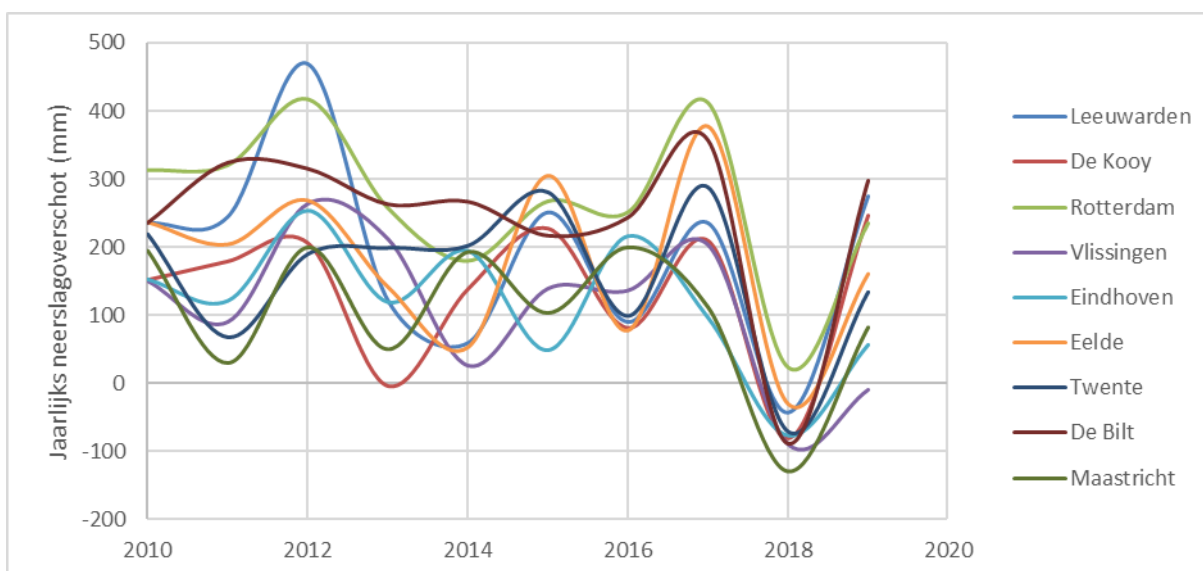


**Figuur 3-12** Neerslag per jaar in de periode 2010-2019, per weerstation in Leeuwarden (FR01), de Kooij (NH01), Lelystad (FL01 en FL02), Rotterdam (ZH01), Vlissingen (ZE01 en BR01), Eindhoven (BR02), Eelde (GR01, GR02, GR03 en DR01), Twente (GE02), de Bilt (GE01) en Maastricht (LI01 en LI02), gebaseerd op KNMI-data (2021a).

### Neerslagoverschot

Het neerslagoverschot varieert per weerstation en neemt in de periode 2010-2019 licht af (zie Figuur 3-13), ook wanneer het extreem droge jaar 2018 buiten beschouwing wordt gelaten. Het neerslagoverschot in de periode 2015-2019 was gemiddeld genomen 26% lager dan in de periode 2010-2014. Gemiddeld genomen is het neerslagoverschot in de kustregio's groter dan in het binnenland.

Op basis van deze informatie wordt de ontwikkeling van het neerslagoverschot voor alle percelen over de periode 2010 - 2019 als 'dalend' beoordeeld. Echter de daling is niet zo groot dat tot een andere RMF in ROTHC-model wordt gekomen. Het resultaat voor alle percelen is derhalve 'neutraal'.



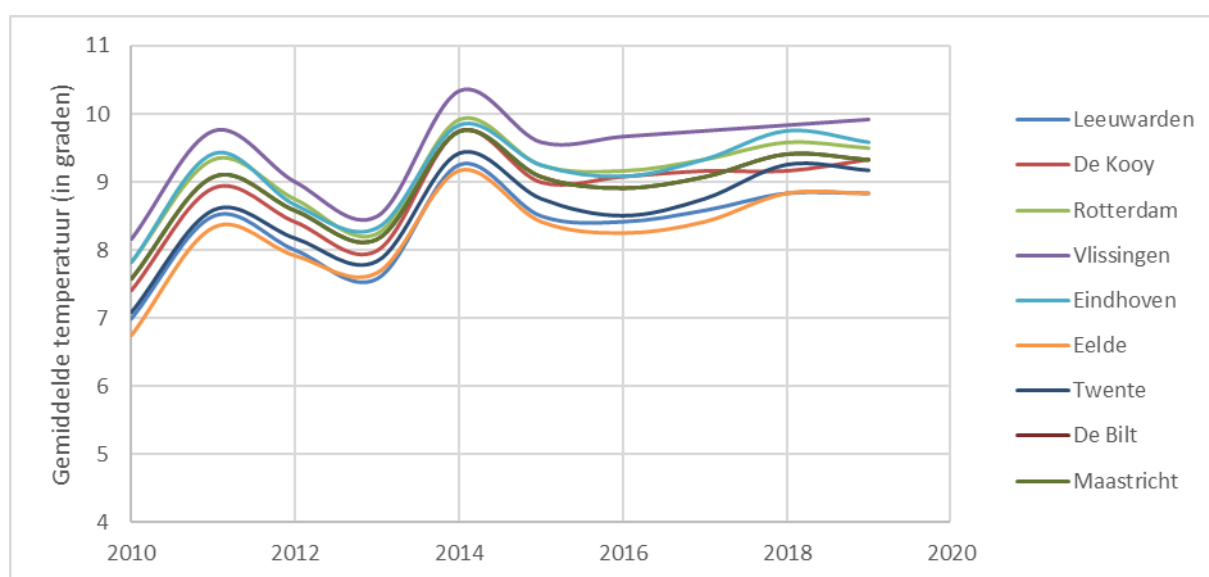
**Figuur 3-13** Neerslagoverschot per jaar in de periode 2010-2019, per weerstation in Leeuwarden (FR01 en GR01), de Kooij (FL01 en NH01), Rotterdam (ZH01), Vlissingen (ZE01 en BR01), Eindhoven (BR02), Eelde (GR02, GR03 en DR01), Twente (GE02), de Bilt (GE01 en FL02) en Maastricht (LI01 en LI02), gebaseerd op KNMI-data (2021a).

## Temperatuur

De gemiddelde temperatuur varieert per jaar, en neemt in de periode 2010-2019 licht toe (zie Figuur 3-14). In de periode 2010-2014 was de gemiddelde temperatuur voor de BNW percelen<sup>6</sup> 8,5°C en in de periode 2015-2019 9,1°C. De periode 2015-2019 was dus gemiddeld genomen ruim een halve graad warmer dan de periode 2010-2014. In Zuid Nederland is het gemiddeld genomen wat warmer. Er is sprake van een Noord-Zuid gradiënt, met de laagste temperatuur in het noorden (Eelde) en de hoogste temperatuur in het zuiden (Vlissingen). Opmerkelijk is dat het in Maastricht (landklimaat) wat minder warm geweest dan bij de overige zuidelijke meetstations.

Op basis van deze informatie wordt de ontwikkeling van de temperatuur over de periode 2010-2019 voor alle percelen als 'stijgend' beoordeeld.

Samenvattend kan worden gesteld dat er sprake is van verschillen tussen de locaties. De range in temperatuur loopt van 6–11°C, de neerslag van 726–890 mm en het berekende neerslagoverschot van 0-250 mm.



**Figuur 3-14** Gemiddelde jaartemperatuur in de periode 2010-2019, per weerstation in Leeuwarden (FR01 en GR01), de Kooy (FL01 en NH01), Rotterdam (ZH01), Vlissingen (ZE01 en BR01), Eindhoven (BR02), Eelde (GR02, GR03 en DR01), Twente (GE02), de Bilt (GE01 en FL02) en Maastricht (LI01 en LI02).

### 3.2.4 Discussie

Tabel 3-2 geeft voor de BNW-percelen de samenvattende interpretatie weer van de ontwikkeling in de factoren die van effect kunnen zijn op de trend in organische stof. Het betreft de bedrijfsvoering, het klimaat en enkele bodemindicatoren.

Verschillen tussen de percelen zijn zichtbaar voor de ontwikkeling van de EOS aanvoer en in de bodemfactoren. In de ontwikkeling van de weersfactoren neerslagoverschot en temperatuur, belangrijke parameters van het ROTHC-model, zijn geen verschillen zichtbaar tussen de percelen. Het neerslagoverschot veranderde niet noemenswaardig in de periode 2010–2019. In diezelfde periode steeg de temperatuur in alle percelen. Dit betekent dat percelen met relatieve droogte of juist overschot gedurende de gehele periode als zodanig werden gekenmerkt. Alle percelen hadden te maken met een grotere afbraak van bodem organische stof door de temperatuur.

<sup>6</sup> Op basis van de weerstations in Leeuwarden, de Kooy, Rotterdam, Vlissingen, Eindhoven, Eelde, Twente, de Bilt en Maastricht.

---

De resultante van de ontwikkelingen in deze factoren is dat het bodem organisch stof percentage in de periode 2010-2019 steeg bij 10 percelen, daalde bij 19 percelen en bij de overige 3 percelen niet noemenswaardig veranderde. Voor het uiteindelijke resultaat op het bodem organische stofgehalte gaat het dus steeds om een combinatie van factoren. Enkele voorbeelden:

- Op perceel GE0202 werd in de periode 2010-2019 een afnemende hoeveelheid EOS aangevoerd. In combinatie met een toename aan temperatuur en neerslag, ligt een afname van het bodem organisch stof gehalte in de lijn der verwachting.
- Op perceel FR0101 werd een toenemende hoeveelheid EOS aangevoerd (gemiddeld 1435 en 2250 kg ha<sup>-1</sup> respectievelijk in 2010-2014 en 2015-2019). Deze hoeveelheid was in combinatie met de toename aan temperatuur onvoldoende om de afbraak van het bodem organisch stof te compenseren. Het bodem organisch stof gehalte daalde in de periode 2015-2019 minder hard dan in 2010-2014. In tegenstelling tot perceel FR0101, werd op perceel FR0102 een afnemende hoeveelheid EOS aangevoerd, terwijl het bodem organisch stof gehalte steeg. Een verklaring kan niet zo zeer worden gevonden in een daling of stijging van de aanvoer van EOS, maar de hoogte ervan. Zowel in de periode 2010-2014 als in 2015-2019 werd er gemiddeld ruim 2500 kg EOS ha<sup>-1</sup> aangevoerd, wat voldoende is gebleken om de afbraak aan bodem organische stof ruim te compenseren.
- Op de percelen van ZH01 werd een toenemende hoeveelheid EOS aangevoerd. Het bodem organisch stof gehalte nam bij beide percelen toe, zoals berekend met ROTHC en met de cumulatieve organische stofbalans. Tegelijkertijd nam de bodemverstoring af, en de pH van perceel ZH0101 toe. Omdat het verloop van de bodem pH en de BVI niet zijn meegenomen in de berekeningen voor ROTHC en de cumulatieve organische stof balans, wijkt de daadwerkelijke ontwikkeling mogelijk af.

Het is mogelijk dat het effect van de ene factor de andere opheft, zoals bij perceel FR0101 waar mogelijk de toename in EOS-aanvoer werd opgeheven door de toename in temperatuur. Factoren kunnen elkaar ook versterken, zoals bij perceel GE0202. Het is niet op voorhand duidelijk of effecten additief zijn. Kortom, er is meer inzicht in deze materie nodig om het relatieve effect van de afzonderlijke factoren te kunnen bepalen.

**Tabel 3-2** Kwalitatieve weergave van de effectscore van verschillende indicatoren op de gemodelleerde trend in organische stof.

Perceelcode	Ontwikkeling periode 2010-2019								
	RothC-factoren			Overige variabelen			Cum. OS balans	ROTHC	
	EOS	Neerslagoverschot	Temperatuur	Neerslag	BVI	pH			koolstof/lutum
Klei	FR0101	stijgend	neutraal	stijgend	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal
	FR0102	dalend	neutraal	stijgend	neutraal	dalend	neutraal	neutraal	stijgend
	GR0101	stijgend	neutraal	stijgend	neutraal	dalend	neutraal	neutraal	dalend
	GR0102	stijgend	neutraal	stijgend	neutraal	dalend	neutraal	neutraal	stijgend
	GR0201	dalend	neutraal	stijgend	neutraal	neutraal	stijgend	neutraal	neutraal
	GR0202	stijgend	neutraal	stijgend	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal	stijgend
	GE0101	neutraal	neutraal	stijgend	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal	dalend
	GE0102	stijgend	neutraal	stijgend	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal
	FL0101	neutraal	neutraal	stijgend	neutraal	dalend	neutraal	stijgend	dalend
	FL0102	dalend	neutraal	stijgend	neutraal	dalend	dalend	neutraal	dalend
	FL0201	neutraal	neutraal	stijgend	neutraal	dalend	neutraal	neutraal	neutraal
	FL0202	stijgend	neutraal	stijgend	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal	dalend
	NH0101	stijgend	neutraal	stijgend	neutraal	neutraal	dalend	stijgend	neutraal
	NH0102	stijgend	neutraal	stijgend	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal	dalend
	ZH0101	stijgend	neutraal	stijgend	neutraal	dalend	stijgend	stijgend	stijgend
	ZH0102	stijgend	neutraal	stijgend	neutraal	dalend	neutraal	stijgend	stijgend
	ZE0101	stijgend	neutraal	stijgend	neutraal	dalend	neutraal	neutraal	stijgend
	ZE0102	stijgend	neutraal	stijgend	neutraal	dalend	dalend	stijgend	stijgend
BR0102	neutraal	neutraal	stijgend	neutraal	stijgend	dalend	neutraal	dalend	
LI0101	stijgend	neutraal	stijgend	neutraal	neutraal	neutraal	stijgend	dalend	
Zand	GR0301	stijgend	neutraal	stijgend	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal	dalend
	GR0302	stijgend	neutraal	stijgend	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal	dalend
	DR0101	stijgend	neutraal	stijgend	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal	dalend
	DR0102	neutraal	neutraal	stijgend	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal	dalend
	GE0201	neutraal	neutraal	stijgend	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal	stijgend
	GE0202	dalend	neutraal	stijgend	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal	dalend
	BR0101	dalend	neutraal	stijgend	neutraal	dalend	neutraal	neutraal	dalend
	BR0201	dalend	neutraal	stijgend	neutraal	dalend	dalend	neutraal	dalend
	BR0202	stijgend	neutraal	stijgend	dalend	neutraal	neutraal	neutraal	dalend
LI0102	stijgend	neutraal	stijgend	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal	dalend	
Löss	LI0201	dalend	neutraal	stijgend	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal	stijgend
	LI0202	stijgend	neutraal	stijgend	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal	stijgend

Legenda: neutraal stijgend dalend Onbekend

Om pragmatische redenen is gekozen voor een beoordelingssystematiek op grond waarvan de verkregen data van de 32 percelen konden worden ingedeeld in 3 klassen. Dat is voor de gehele selectie van factoren gedaan. De systematiek is door de statistisch afgeleide klassengrenzen uniform en ook voor andere bodemparameters bruikbaar. Kanttekening is dat de klassegrenzen geen direct verband houden met de bodemkwaliteit.



---

## 4 Beantwoording kennisvragen

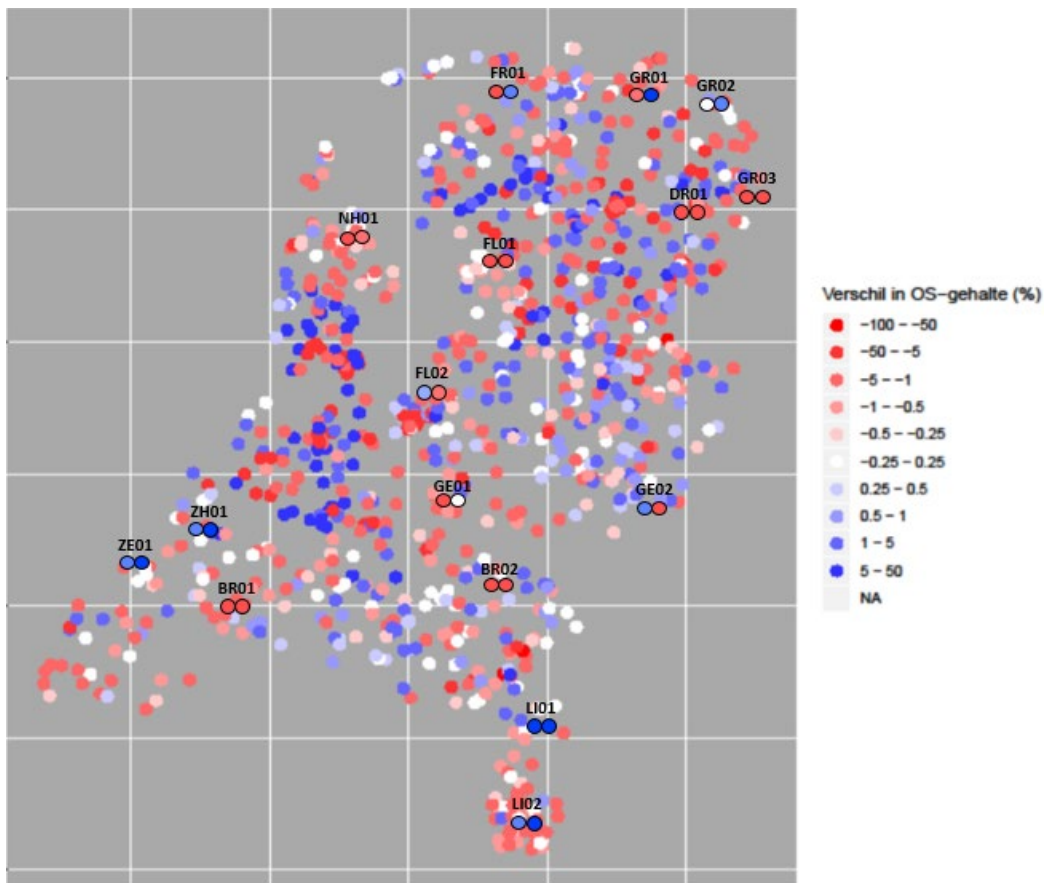
### 4.1 Vergelijking trend in organische stof van het BNW met statistische trendanalyses en LTE

Op basis van de gemodelleerde waarden van de BNW-percelen verspreid over Nederland is het bodem organisch stof gehalte op de klei- en lössgronden min of meer constant en neemt het overwegend af in de dal- en dekzandgronden. Van de 32 percelen is een afname gevonden in 20 percelen, een toename in 9 percelen en geen aantoonbare verandering in het bodem organisch stof gehalte van 3 percelen. Voor een goed begrip van deze trends is het zinvol om de bevindingen voor de BNW-percelen te vergelijken met bevindingen uit de literatuur, zoals gepresenteerd in Tabel 1-1 in Hoofdstuk 1. De meest recente daarvan is de uitgebreide studie van Van Tol-Leenders et al. (2019), reden waarom daar dieper op in wordt gegaan.

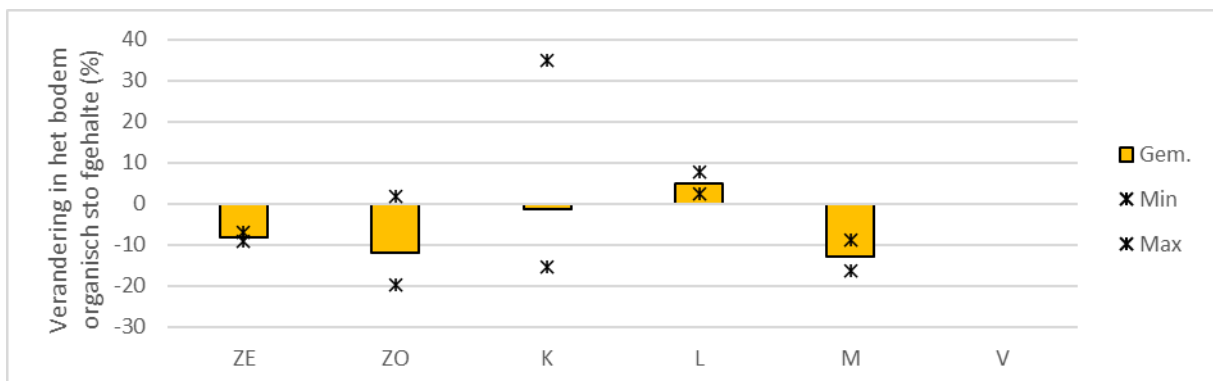
Voor de akkerbouwpercelen in Nederland werd in het project Slim Landgebruik geconcludeerd dat de organisch stof gehalten (0-30 cm) in de bouwvoor in de periode 1998-2018 niet aantoonbaar zijn veranderd. Figuur 4-1 presenteert het kaartje van Nederland uit Van Tol-Leenders et al. (2019) waarin met kleuren de veranderingen in de organische stofgehalten van de percelen is weergegeven, met daaraan toegevoegd die van de BNW-percelen. Percelen uit Van Tol-Leenders et al. (2019) betreffen grasland en akkerbouw, de BNW-percelen enkel akkerbouw. De figuur laat de grote variatie zien in trends van individuele percelen van Slim Landgebruik, waarbinnen de gevonden trends van de BNW-percelen goeddeels passen.

Verdere specificatie van de BNW-percelen volgens de door Van Tol-Leenders et al. (2019) gebruikte classificatie laat zien dat het bodem organisch stof gehalte daalde op alle percelen op enkeerd- en moerige gronden. Bij klei- en overige zandgronden was er gemiddeld genomen sprake van een afname, maar komen zowel percelen met een dalend als stijgend bodem organisch stof gehalte voor. Op de leemgronden was er alleen sprake van een stijging (Figuur 4-2). Zelf vonden van Van Tol-Leenders et al. (2019) minieme veranderingen in het organische stofgehalte, behalve voor de moerige gronden. In dit type grond werd juist een grotere (ca. 15%) verandering in het organische stofgehalte gevonden dan in de BNW-percelen, met daarin een relatief grote spreiding. Dit is waarschijnlijk toe te schrijven aan de grote heterogeniteit in juist moerige percelen.

Enkele andere statistische trendanalyses uit tabel 1-1 maken voor akkerbouw op minerale gronden ook melding van regionale verschillen in de waargenomen organische stofgehalten en/of de verandering daarin. Voorbeelden hiervan zijn een stijging bij bouwland op rivierklei en zand (Brolsma et al., 2017), een noord-zuid gradiënt in bouwland op zandgronden (Hanegraaf et al., 2009).

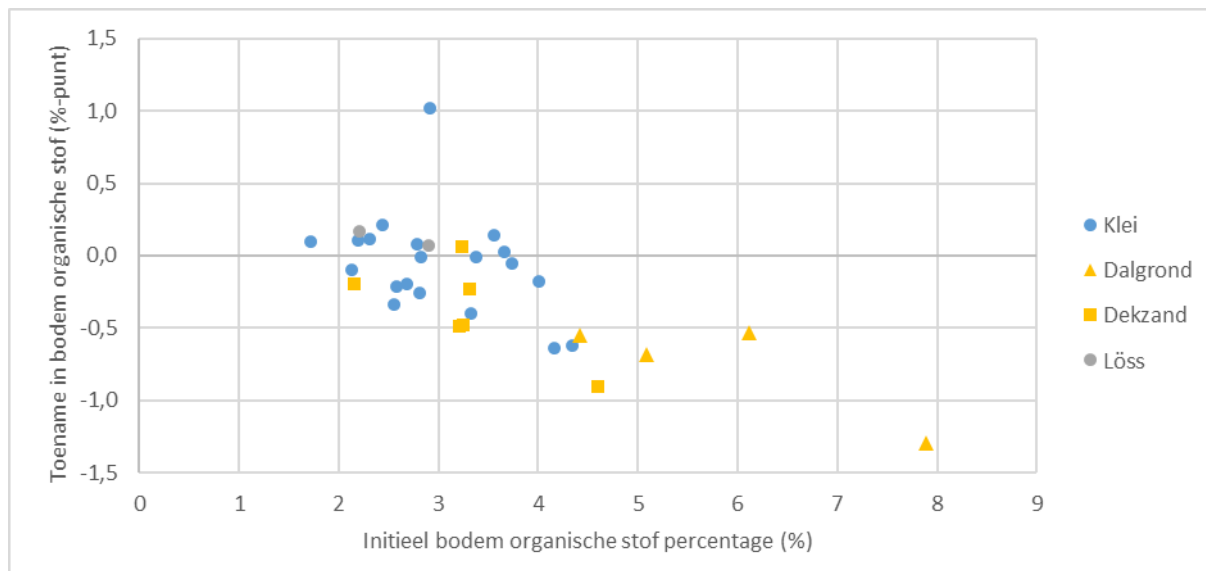


**Figuur 4-1** Procentueel verschil in het organisch stof gehalte (%) in de periode 1998-2018 uit Van Tol-Leenders et al. (2019), aangevuld met de gemodelleerde data van de BNW-percelen in de periode 2010-2019.



**Figuur 4-2** Verandering in het organisch stof gehalte (%) in de laag 0-30cm van de BNW percelen op basis van de gemodelleerde waarden in de periode 2010-2019 voor 2 eerdgronden (ZE), 5 overige zandgronden (ZO), 20 kleigronden (K), 2 leemgronden (L) en 3 moerige gronden (M).

Reijneveld et al. (2009) vonden een toename in het bodem organisch koolstof gehalte in bodems met een initieel laag bodem organisch koolstof gehalte en een afname in de regio's met een initieel hoog bodem organisch stof gehalte. Op basis van de gemodelleerde waarden is bij een hoog initieel bodem organisch stof gehalte in de BNW-percelen ook een afname in het bodem organisch stof gehalte zichtbaar voor de percelen (Figuur 4-3). De invloed van de SOC-pools (omvang en snelheid) in het ROTHC model maakt dat deze relatie niet rechtlijnig is.



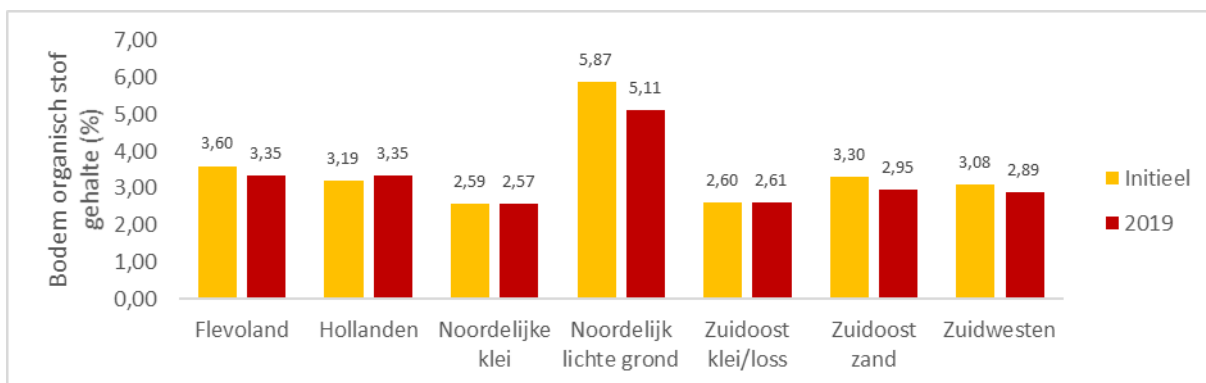
**Figuur 4-3** Het initiële bodem organisch stof gehalte en de verandering in het bodem organisch stof gehalte in de periode 2010-2019, op basis van de gemodelleerde waarden.

Maljaars (2017) onderzocht het verloop van het bodem organisch stof gehalte van 75 Zeeuwse akkerbouw percelen in de periode 1950-2017. Van deze percelen lieten er 29 een stijgende en 44 een dalende trend zien, bij twee percelen bleef het bodem organisch stof gehalte ongeveer gelijk. Een merendeel van de percelen liet dus een dalende trend zien. Toch steeg het gemiddelde organische stofgehalte doordat de stijgers sneller stegen dan de dalers daalden. Dit zien we niet terug in de BNW-percelen. Het merendeel van de BNW-percelen had een dalend bodem organisch stof gehalte en ook gemiddeld genomen daalde het bodem organisch stof gehalte. Het bodem organisch stof gehalte van de twee BNW-percelen in Zeeland stegen beiden (met 5% en 9%). De studie van Maljaars (2017) laat zien dat het kijken naar het aantal 'stijgers' en 'dalers' tot een ander inzicht kan leiden dan naar de gemiddelde verandering in het bodem organisch stof percentage. In het geval van de BNW-percelen leiden beide benaderingen tot dezelfde conclusie.

De dataset van Koopmans en Van Opheusden (2019) betreft bietenpercelen en strekt zich uit over een tijdsperiode > 10 jaar. In vier van zeven regio's vonden zij voor 2016-2017 een lager organisch stof gehalte dan voor 1998-2007, namelijk in Flevoland, Noord- en Zuid-Holland, Noordelijke lichte grond en het Zuidoostelijk zandgebied. Voor de BNW-percelen in Flevoland, Noordelijke lichte grond en Zuidoostelijk zandgebied werd gemiddeld voor 2019 ook een lager bodem organisch stof percentage berekend dan voor 2010<sup>7</sup> (Figuur 4-4). Het regionale beeld uit de statistische analyse van Koopmans en Opheusden (2019) en van de gedetailleerde BNW-analyse komt overeen, met uitzondering van Noord- en Zuid-Holland en het Zuidwesten.

<sup>7</sup> Of het eerste jaar waarvan gegevens beschikbaar zijn.





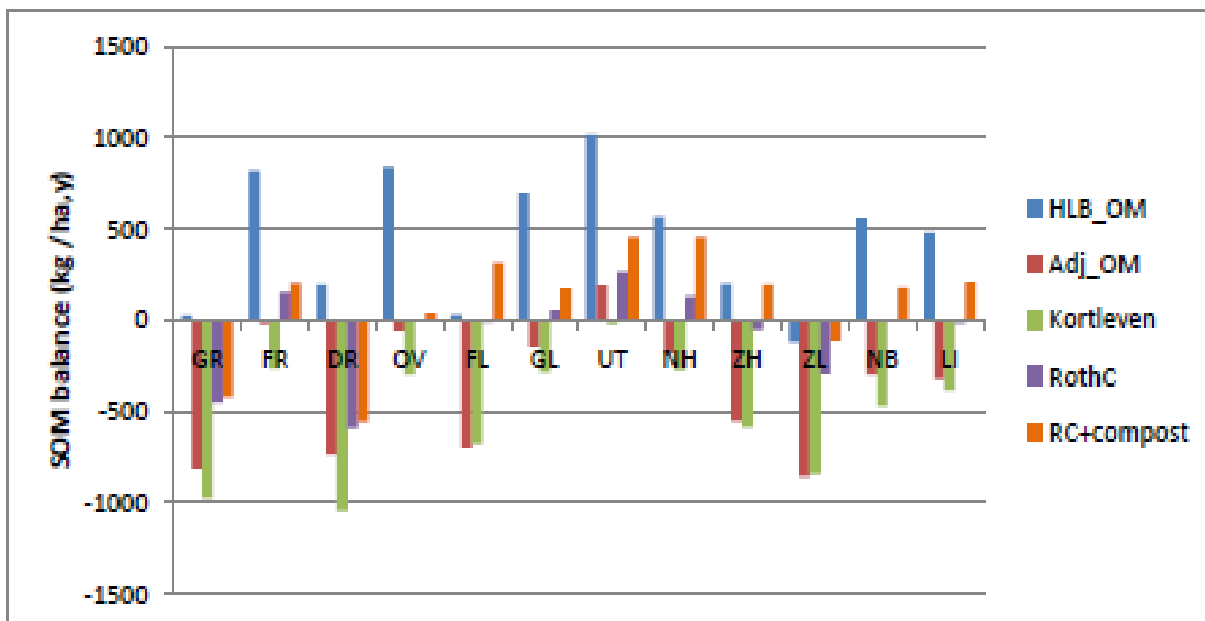
**Figuur 4-4** Bodem organisch stof gehalte van de BNW-percelen zoals berekend met het RothC model.

Over verschillende regio's in Nederland vonden zowel Van Tol-Leenders (2019) en Koopmans en Van Opheusden (2019) een variatie in verandering van het bodem organisch stof gehalte. De resultaten van de BNW-percelen passen in dit beeld.

Bij de lange termijn experimenten wordt een koppeling gemaakt tussen de bedrijfsvoering en de ontwikkeling van het bodem organisch stof gehalte. De Haan et al. (2017a) en Bokhorst et al. (2008) legden de relatie tussen het type en de kwantiteit van de organische bemesting en het bodem organisch stof gehalte. De Haan et al. (2017a) concludeerden dat het bodem organisch stof gehalte hoger ligt bij een jaren lange aanvoer van  $\sim 2000 \text{ kg EOS ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  dan bij  $\sim 1000 \text{ kg EOS ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ . Eenzelfde relatie tussen de cumulatieve organische stof balans en het bodem organisch stof percentage werd zichtbaar in Figuur 3-5, al blijkt uit de semi-kwantitatieve analyse (zie paragraaf 4.3.1.1) dat ook andere factoren van invloed zijn. Crittenden (2015) en Hoek et al. (2019) legden een relatie tussen de intensiteit van de bodembewerking en het bodem organisch stof gehalte. Ook hier geldt dat, in tegenstelling tot aangelegde proeven, een combinatie aan factoren van invloed zijn op de ontwikkeling van het bodem organisch stof gehalte.

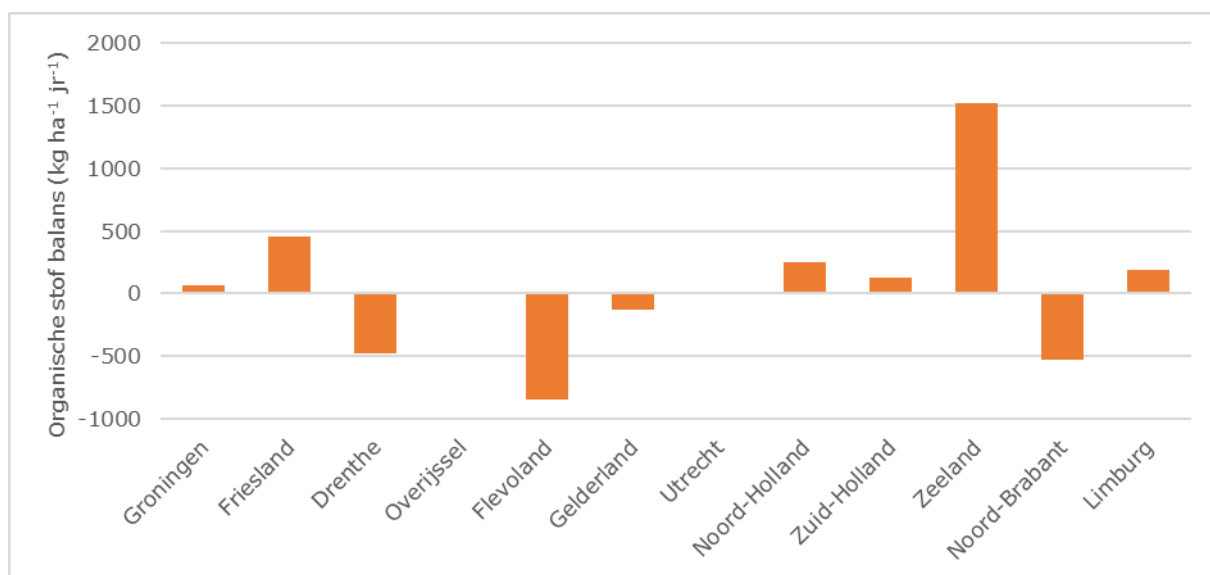
## 4.2 Vergelijking OS-balans van het BNW met regionale modelberekeningen

Modelbenaderingen van de organische stofbalans bieden de mogelijkheid om scenario's en/of grote datasets op gestandaardiseerde wijze te in kaart te brengen. Conijn en Lesschen (2015) berekenden de organische stof balans voor akkerbouwpercelen met vijf verschillende organische stofmodellen (waaronder het RothC-model) en kwamen tot de conclusie dat de organische stof balansen gemiddeld genomen negatief zijn (zie Figuur 4-5). Daarnaast vonden zij sterke verschillen tussen de regio's. Provincies met veel melkveehouderijen, en daarmee een relatief groter aandeel tijdelijk grasland, hebben over het algemeen een positieve organische stof balans. Ook werd in enkele provincies zoals in Utrecht en Gelderland aanzienlijk meer compost en organische mest aangevoerd dan in andere (Conijn & Lesschen, 2015). Wat verschillen tussen de uitkomsten van de modellen betreft, dit werd toe geschreven aan de gehanteerde afbraakpercentages. Voor de vergelijking wordt met name gelet op de resultaten van het RothC-model uit Figuur 4-5.



**Figuur 4-5** Organische stof balans voor de akkerbouw (incl. tijdelijk grasland) per provincie, berekend met verschillende methoden (Conijn & Lesschen, 2015).

Clustering van de organische stof balansen van de BNW-percelen naar provincie maakt vergelijking mogelijk met bovenstaande modelberekeningen (Figuur 4-6). Niet alle provincies zijn echter vertegenwoordigd. De percelen in Friesland en Zeeland hebben gemiddeld genomen een ruim overschot op de balans. In Drenthe, Flevoland en Noord-Brabant is er gemiddeld sprake van een tekort. In de overige provincies kan het overschot en/of tekort op de balans als gering worden beschouwd.



**Figuur 4-6** Gemiddelde jaarlijkse organische stof balans van de 32 BNW-percelen (2010-2019) per provincie.

Uit de vergelijking valt op te maken dat de resultaten op basis van clustering van de BNW-percelen voor de meeste provincies (Friesland, Drenthe, Flevoland, Gelderland, Noord-Holland, Zuid-Holland, Noord-Brabant) in dezelfde richting en ordegrootte zijn als die van de modelleringsstudie van Conijn en Lesschen (2015). Voor drie provincies (Groningen, Limburg, Zeeland) zijn de resultaten echter verschillend, waarschijnlijk als gevolg van verschillen in bouwplan.

---

## 4.3 Aanzet regionale referentiewaarden organische stof

De resultaten van 4.1 en 4.2 zijn aanleiding om te verkennen hoe een regionale benadering van referentiewaarden voor organische stof eruit zou kunnen zien. Het doel van referentiewaarden is om resultaten onafhankelijk te kunnen vergelijken, interpreteren en beoordelen. Wetenschappelijk onderbouwde referentie- en/of streefwaarden voor het bodem organisch stof gehalte of de opbouw van bodem organische stof zijn niet beschikbaar (Koopmans & Van Opheusden, 2019). Wel zijn diverse initiatieven ontplooid om ervaring op te doen met voorlopige referentiewaarden. Enkele voorbeelden hiervan:

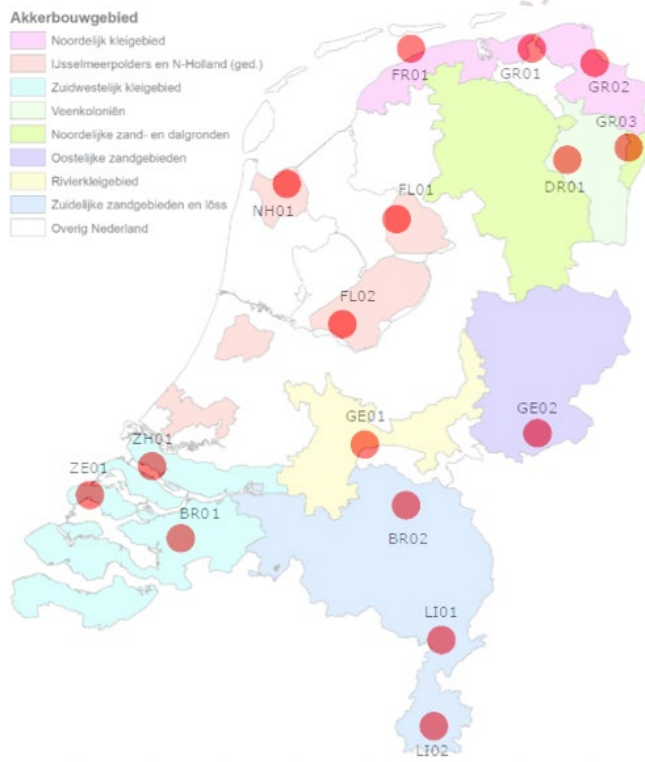
- In de bemestingswijzer van Eurofins wordt een regio gemiddelde gehanteerd. Hiervoor wordt de indeling op basis van postcode gebruikt.
- De referentiewaarden voor biologische indicatoren (BOBI) zijn uitgesplitst naar landgebruik en bodemtype (Rutgers et al., 2007).
- Op basis van de data uit Van Tol-Leenders et al. (2019) zijn er in de BLN versie 1.1 (De Haan et al., 2021b) referentiewaarden opgenomen voor het bodem organisch stof gehalte. Voor de akkerbouw loopt deze uiteen van 1,6 tot 3,6 op klei en van 3,3 tot 16,2 voor zand. Met name voor zandgronden is de range ruim, en bovendien is het bodem organisch stof percentage van 16,2 gevonden op een dalgrond en is deze waarde niet bruikbaar voor de gemiddelde dekzandgrond.
- In de streef- en referentiewaarden voor de brede set aan bodemindicatoren van de BLN is onderscheid gemaakt naar landgebruik en bodemtype; voor organische stof zijn de waarden van Van Tol-Leenders et al. (2019) overgenomen.

Genoemde systemen verschillen in de basis, onder andere wat betreft de doelstelling en het schaalniveau waarover een uitspraak wordt gedaan. Met mogelijke regionale verschillen wordt min of meer rekening gehouden, via bijvoorbeeld postcode en/of een indeling naar landgebruik en bodemtype. Doel van deze paragraaf is om een bijdrage te leveren aan de discussie over nut en noodzaak van regionale referentiewaarden voor organische stof. Wat levert de gedetailleerde dataset van het BNW hiervoor aan inzichten? Om deze vraag te beantwoorden wordt een voorbeelduitwerking gemaakt van een bestaande regionale indeling en de rol van de mogelijk verklarende factoren gebruik organische mest, aandeel granen in het bouwplan en weersomstandigheden.

Eerst zijn de percelen en bijbehorende gegevens ingedeeld naar de bestaande regionale indeling. Vervolgens zijn regionale gegevens verzameld over de beschikbaarheid van mest, het aandeel graan en het weer over de periode 2010-2019. Voor elk van deze aspecten (gehalte, beschikbaarheid mest, graanaandeel, totale EOS-aanvoer, en het weer) is nagegaan of, uit de BNW-percelen en/of CBS-gegevens, sprake is van verschillen tussen de regio's. Tot slot is bediscussieerd of de beschouwde regionale verschillen groot genoeg zijn om van invloed te kunnen zijn op het gehalte, de trend, en/of de organische stofbalans.

### 4.3.1 Regionale indeling

De voorkeur gaat uit naar een indeling die is gebaseerd op een combinatie van landgebruik en bodemtype, waarvan gegevens bekend zijn van de managementfactoren. Voor de regionale indelingen van Van Tol-Leenders et al. (2019) en Koopmans en Van Opheusden (2019) zijn die gegevens niet beschikbaar. Een alternatief werd gevonden in de indeling van Smit en Jager (2018), die acht akkerbouwgebieden onderscheiden, met elk een specifieke grondsoort, bouwplan en teeltsysteem. Vanwege de beschikbaarheid van CBS data is ervoor gekozen om de Veenkoloniën samen te voegen met de Noordelijke zand- en dalgronden. In Figuur 4-7 wordt de toedeling van de BNW-bedrijven aan deze gebieden weergegeven op een kaart met deze regionale indeling en Tabel 4-1 bevat nadere informatie.



**Figuur 4-7** Indeling van de BNW percelen in de landbouwregio's, bewerking van figuur uit Jager en Smit (2018).

**Tabel 4-1** Regionale indeling van de BNW-percelen naar akkerbouwgebieden

Akkerbouwgebieden*	Landbouwregio's**	Dominant bodemtype*	Bodem organische stof (%)*	Meest voorkomend bouwplan*	BNW percelen
1 Noordelijk kleigebied	Bouwhoek & Hogeland	Zeeklei/zavel	2,5-5/0-2,5	PA-WT-SB-WT	FR0101 FR0102 GR0101 GR0102 GR0201 GR0202
2 Veenkoloniën & Noordelijke zand- en dalgronden	Veenkoloniën & Oldambt	Zand-/dalgrond	2,5-5/7,5-10	CA-ZG-SB-WT / ZA-ZG of WT-ZA-SB	GR0301 GR0302 DR0101 DR0102
3 IJsselmeerpolders	IJsselmeerpolders	Zeeklei/zavel	0-2,5/0-2,5	CA of PA-ZG of ZU-SB-WT	FL0101 FL0102 FL0201 FL0201 NH0101 NH0102
4 Oostelijk zandgebied	Oostelijk veehouderijgebied	Zandgrond	2,5-5	CA-ZG-SB-WT	GE0201 GE0202
5 Rivierengebied	Rivierengebied	Rivierklei	2,5-5	CA-ZG-SB-WT	GE0101 GE0102
6 Zuidwestelijk kleigebied	Zuidwestelijk Akkerbouwgebied Zuidwest Brabant	Zeeklei/zavel	0-2,5/0-2,5	CA-GZ of ZU-SB-WT	ZH0101 ZH0102 ZE0101 ZE0102
7 Zuidelijk gebied	Zuidelijk veehouderijgebied & Limburg	Zandgrond/löss	2,5-5/0-2,5	CA-ZG-SB-WT	BR0102 BR0101*** LI0101 LI0201 LI0202 BR0201 BR0202

\* Uit Smit en Jager (2018). \*\* Zoals gebruikt door het CBS. \*\*\* Hoewel perceel BR0101 geografisch tot de regio 'Zuidwestelijk kleigebied' behoort, is deze ondergebracht bij het zuidelijke zandgebied omdat het een perceel op zand betreft. In het geval er twee grondsoorten onderscheiden worden met een '/', is dat bij het organische stof gehalte en bouwplan/rotatie ook en in dezelfde volgorde te onderscheiden. PA is pootaardappel, WT is wintertarwe, SB is suikerbiet, ZA is zetmeelaardappel, ZG is zomergerst, CA is consumptieaardappel, ZU is zaaiui en GZ is graszaad.

### 4.3.1 Verschillen tussen regio's

#### Verschillen in bodem organische stof tussen regio's

In Tabel 4-2 is voor elke regio de gemiddelde waarde weergegeven van de bodem organisch stof gehalten van de betrokken BNW-percelen in 2019. Daarnaast geeft de tabel het verloop van het bodem organisch stof gehalte weer, waarvoor de met het ROTHC-model gemodelleerde waarden van 2019 en 2010 zijn gebruikt. De regionale indeling laat verschillen in het organische stofgehalte tussen klei- respectievelijk zandgebieden zien, in afnemende volgorde:

Klei: IJsselmeerpolders > Noordelijk kleigebied en Rivierengebied > Zuidwestelijk kleigebied.

Zand: Veenkoloniën & Noordelijke zand- en dalgronden > Oostelijk zandgebied > Zuidelijk gebied.

De gemiddelde verandering van het bodem organisch stofgehalte is voor de meeste gebieden groter dan de aangenomen onzekerheid van 0,05 procentpunt. Bij de kleigebieden komen zowel dalingen (IJsselmeerpolders en Rivierengebied), constante gehalte (Noordelijk kleigebied), als een stijging (Zuidwestelijk zee-kleigebied) voor. Alle zandgebieden laten een afname in het bodem organisch stof percentage zien, het hoogst bij de Veenkoloniën & Noordelijke zand- en dalgronden en het laagst bij het Oostelijk zandgebied.

**Tabel 4-2** Toepassing van de ROTHC-simulaties bij het inzichtelijk maken van regionale verschillen in de trend in organische stof. Uitgaande van het organische stof gehalte in 2019 en de gemodelleerde verandering van de BNW-percelen in de periode 2010-2019 per regio. De regio's zijn van Noord naar Zuid.

Regio	Aantal BNW-percelen	Bodem organisch stof gehalte (%)	Gemiddelde verandering in het bodem organisch stof gehalte 2010-2019 (in procentpunten)	St. dev.
1 Noordelijk kleigebied	6	2,5	+0,0	0,2
2 Veenkoloniën & Noordelijke zand- en dalgronden	4	5,4	-0,8	0,3
3 IJsselmeerpolders	6	3,5	-0,2	0,2
4 Oostelijk zandgebied	2	3,0	-0,1	0,1
5 Rivierengebied	2	2,5	-0,1	0,1
6 Zuidwestelijk kleigebied	5	3,1	+0,2	0,5
7 Zuidelijk gebied	6	2,7	-0,3	0,3

Als we de verandering in enkele percelen illustratief opvatten voor de regionale trend, dan kunnen uit de combinatie van gehalten en trends enkele observaties worden gedaan:

- De verschillen van de Veenkoloniën & Noordelijke zand- en dalgronden met de andere gebieden zullen op termijn verdwijnen;
- Uiteindelijk zal een gemiddeld gehalte resteren van ca. 2,5% organische stof in vrijwel alle gebieden;
- Uitzondering is het Zuidwestelijk kleigebied met een (nu nog) gemiddeld organische stofgehalte en stijgende trend.

Indien een bodem organische stofgehalte van 2,5% voor landbouw en klimaat acceptabel is, dan zijn geen regionale referentiewaarden nodig. Echter wanneer dit niet zo is, bijvoorbeeld omdat bepaalde functies van organische stof onvoldoende zijn geborgd, dan zouden regionale referentiewaarden behulpzaam kunnen zijn als richtsnoer om het tij te keren.

Bottomline bij deze voorbeelduitwerking is uiteraard dat deze is gebaseerd op, per regio, de gegevens van een beperkt aantal percelen. Toepassing van de gevolgde werkwijze op een groter aantal percelen is nodig om verschillen in regionale gehalten en trends te kunnen vaststellen en hiervan, zo nodig, regionale referentiewaarden af te leiden. In de volgende paragrafen wordt dit voor de verklarende factoren nader verkend.

## Beschikbaarheid van mest

In Tabel 4-3 wordt de beschikbaarheid van dierlijke mest per regio weergegeven, waaruit grote verschillen tussen de gebieden duidelijk worden. In het Oostelijk zandgebied en het Zuidelijk gebied was meer dierlijke mest beschikbaar per hectare dan er doorgaans per hectare uitgereden mag worden. In deze regio's is de beschikbaarheid minder hard toegenomen dan in de overige regio's. De toename in de beschikbaarheid van dierlijke mest komt in het algemeen voort uit een hogere productie van dierlijke mest. In het Rivierengebied echter is de toename aan beschikbare mest toe te schrijven aan een sterke reductie van landbouwgrond.

Een grotere regionale beschikbaarheid van bepaalde typen mest kan van invloed zijn op de prijs en de transportkosten en kan zo het gebruik ervan bevorderen. Aannemende dat er een directe relatie bestaat tussen beschikbaarheid en inzet van mest, kunnen we stellen dat er sprake is van regionale verschillen in mestgebruik (type en hoeveelheid). Deze verschillen zijn dermate groot dat een effect op de organische stofbalans en uiteindelijk het OS-gehalte mag worden verwacht. De precieze oorsprong en samenstelling van deze mest is niet bekend, maar uitgaande van vaste rundveemest kan het verschil in de beschikbaarheid van EOS uit mest oplopen tot ruim 5000 kg EOS ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>.

**Tabel 4-3** Beschikbaarheid van dierlijke mest per regio in 2019 en het verschil tussen 2010 en 2019, regio's gepresenteerd van Noord naar Zuid (Bron: CBS, 2021b).

Regio	Beschikbaarheid van dierlijke mest in 2019 (ton ha <sup>-1</sup> )	Beschikbaarheid van dierlijke mest in 2019 t.o.v. 2010 (%)
1 Noordelijk kleigebied	20	+30
2 Veenkoloniën & Noordelijke zand- en dalgronden	15	+21
3 IJsselmeerpolders	11	+28
4 Oostelijk zandgebied	46	+8
5 Rivierengebied	31	+12
6 Zuidwestelijk kleigebied	12	+2
7 Zuidelijk gebied	57	+1

In de gebieden die gekenmerkt worden door een hoge beschikbaarheid van dierlijke mest werd op de BNW-percelen een boven gemiddelde hoeveelheid dierlijke mest aangevoerd, zie Tabel 4-4. Met name in het Oostelijk zandgebied werd een grote hoeveelheid dierlijke mest aangevoerd. Verder is het typerend dat in Zuidoost Nederland (regio 4 en 7) uitsluitend varkens- en rundveemest werd toegediend, terwijl er in de overige regio's ook paarden-, kippen-, schapen- en geitenmest werd aangevoerd (data niet weergegeven). Daartegenover staat dat er in Zuid Nederland (regio 6 en 7) meer compost werd aangevoerd.

**Tabel 4-4** Gebruik van dierlijke mest op de BNW percelen in 2010-2019 in vergelijking met de beschikbare mest in de regio.

Regio	Aantal percelen	Gemiddeld gebruik van dierlijke mest in 2010-2019 door de BNW-percelen (ton ha <sup>-1</sup> jr <sup>-1</sup> )	Beschikbaarheid van dierlijke mest in 2010-2019 (ton ha <sup>-1</sup> jr <sup>-1</sup> )
1 Noordelijk kleigebied	6	11	23
2 Veenkoloniën & Noordelijke zand- en dalgronden	4	25	16
3 IJsselmeerpolders	6	15	14
4 Oostelijk zandgebied	2	40	41
5 Rivierengebied	2	22	28
6 Zuidwestelijk kleigebied	5	12	11
7 Zuidelijk gebied	6	24	49

Uit Tabel 4-3 blijkt dat er sprake is van grote regionale verschillen in de beschikbaarheid van dierlijke mest. Voor een deel komen deze verschillen terug in het mestgebruik van de BNW-percelen, voor een deel niet. Bijvoorbeeld in het Noordelijk kleigebied is meer mest beschikbaar dan er gemiddeld gebruikt wordt op de BNW-percelen.

## Aandeel granen

Het aandeel granen (uitgedrukt in hectare geteeld graan ten opzichte van de akkerbouwgrond) per regio wordt gepresenteerd in Tabel 4-5. Er zijn aanzienlijke verschillen tussen de regio's. In het IJsselmeergebied worden de minste granen geteeld, ongeveer 1:5 à 1:4. In de Veenkoloniën & Noordelijke zand- en dalgronden, het Oostelijk zandgebied, het Zuidwestelijk kleigebied en het Zuidelijk gebied wordt graan ongeveer 1:3 geteeld. In het Noordelijk kleigebied en in het Rivierengebied zelfs nog meer. In het Noordelijk kleigebied bestaat het bouwplan grotendeels uit granen, dit komt tot uiting in Tabel 4-5. Kanttekening is dat het mogelijk steeds gegevens betreft inclusief graan voor de veehouderij, en zijn de gegevens overschattingen van de akkerbouwsituatie.

Een groter aandeel granen (met name wanneer stro achtergelaten wordt) betekent een positief effect op de organische stofbalans en uiteindelijk het bodem organisch stof gehalte. Uitgaande van de gegevens in Tabel 4-5 kunnen we stellen dat de regionale verschillen in het graanaandeel groot genoeg zijn om een de uitkomst van de balans te beïnvloeden. Het verschil tussen een bouwplan met 25% graan en 50% graan zou kunnen oplopen tot een verschil van ruim 660 kg EOS ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>.

**Tabel 4-5** Aandeel granen per regio in 2019 en in 2010-2019 (Bron: CBS, 2021a).

Regio	Aandeel granen in 2019 (%)	Aandeel granen in 2019 t.o.v. 2010 (%)
1 Noordelijk kleigebied	41	-13
2 Veenkoloniën & Noordelijke zand- en dalgronden	34	-17
3 IJsselmeerpolders	24	-11
4 Oostelijk zandgebied	36	-26
5 Rivierengebied	51	-14
6 Zuidwestelijk kleigebied	34	-11
7 Zuidelijk gebied	35	-19

## Totale EOS-aanvoer

In de totale EOS aanvoer zijn verschillen tussen de regio's zichtbaar, zie Tabel 4-6. Uit het voorgaande is naar voren gekomen dat er verschillen zijn tussen de regio's wat betreft mestgebruik en graanaandeel. Deze verschillen zien we gedeeltelijk terug in de BNW percelen. Echter, de totaal aangevoerde EOS uit mest en compost in de regio's blijkt niet volledig afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid mest in de regio. In het Zuidelijk gebied was de meeste mest beschikbaar, terwijl er geen bovengemiddelde hoeveelheid EOS uit mest en compost werd aangevoerd. Omgekeerd wordt het Zuidwestelijk kleigebied gekenmerkt door een lage beschikbaarheid aan mest, terwijl er in deze regio veel EOS uit mest en compost werd aangevoerd (zie Tabel 4-6). In regio's met een hoog graanaandeel (1 en 5) werd op de BNW-percelen niet meer EOS aangevoerd dan regio's gekenmerkt door een laag aandeel granen in het bouwplan. In totaal werd er in het Zuidwestelijk kleigebied de meeste EOS aangevoerd, terwijl dit gebied niet gekenmerkt wordt door een hoge beschikbaarheid van mest of hoog aandeel granen in de rotatie. De IJsselmeerpolders worden gekenmerkt door een lage beschikbaarheid van dierlijke mest en een laag aandeel granen in de rotatie, op de BNW-percelen in deze regio werd een onder gemiddelde hoeveelheid EOS aangevoerd. Hieruit valt te concluderen dat de hoeveelheid aangevoerde EOS gedeeltelijk, maar niet volledig, te verklaren is uit regionale kenmerken zoals de beschikbaarheid van mest of het aandeel granen in het bouwplan.



**Tabel 4-6** Totale aanvoer van EOS op de BNW-percelen in de periode 2010-2019, uitgesplitst naar regio.

Regio	Aantal percelen	EOS uit gewasrest (kg ha <sup>-1</sup> jr <sup>-1</sup> )	EOS uit groenbemester (kg ha <sup>-1</sup> jr <sup>-1</sup> )	EOS uit mest en compost (kg ha <sup>-1</sup> jr <sup>-1</sup> )	Totale aanvoer EOS (kg ha <sup>-1</sup> jr <sup>-1</sup> )
1 Noordelijk kleigebied	6	1465	172	744	2381
2 Veenkoloniën & Noordelijke zand- en dalgronden	4	1064	216	1270	2550
3 IJsselmeerpolders	6	973	211	1076	2260
4 Oostelijk zandgebied	2	773	361	1697	2831
5 Rivierengebied	2	1107	88	981	2176
6 Zuidwestelijk kleigebied	5	1185	291	1364	2840
7 Zuidelijk gebied	6	1186	322	1019	2527

### Neerslag en temperatuur

Met de gegevens van regionale KNMI-weerstations is het weer voor de onderscheiden regio's kwantitatief voor de 10-jarige periode in beeld gebracht. In deze periode waren de neerslag en het neerslagverschot in het rivierengebied in midden Nederland het hoogst (zie Tabel 4-7). In het Zuiden van Nederland was het neerslagoverschot het laagst. Wat de temperatuur betreft is er sprake van een geringe noord-zuid gradiënt met een range van 8,3 °C in het noorden tot 9,3 °C in het Zuidwesten.

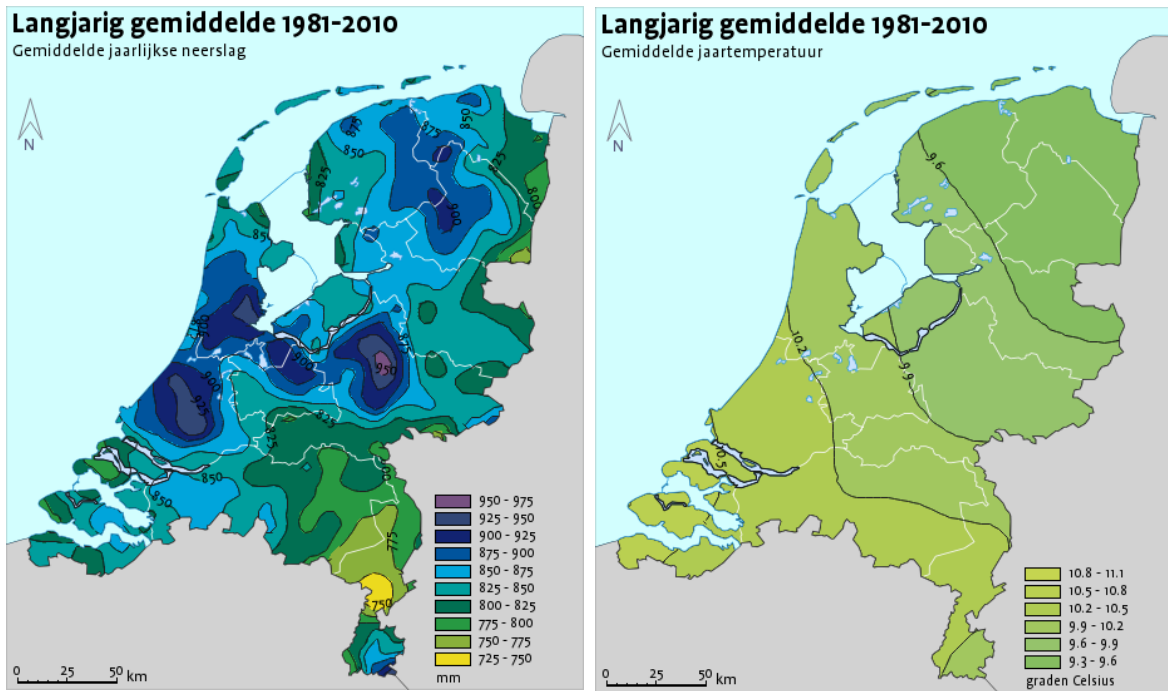
**Tabel 4-7** Neerslagoverschot en temperatuur van de BNW-percelen in de periode 2010-2019, uitgesplitst naar regio (bron: KNMI, 2021a)

Regio	Aantal percelen	Gemiddelde jaartemperatuur (°C)	Gemiddelde neerslag (mm jr <sup>-1</sup> )	Gemiddeld neerslagoverschot (mm jr <sup>-1</sup> )
1 Noordelijk kleigebied	6	8,3	780	189
2 Veenkoloniën & Noordelijke zand- en dalgronden	4	8,3	760	179
3 IJsselmeerpolders	6	8,9	797	171
4 Oostelijk zandgebied	2	8,6	759	160
5 Rivierengebied	2	8,9	847	243
6 Zuidwestelijk kleigebied	5	9,3	791	175
7 Zuidelijk gebied	6	9,0	737	109

De getoonde range in neerslagoverschot lijkt groot, maar is van beperkt belang. Bij toepassing van het ROTHC-model verkreeg het neerslagoverschot voor alle percelen de *rate modifying factor* 1,0. Het neerslagoverschot laat dus geen verschillen van betekenis zien tussen de regio's. Deze verklarende factor lijkt daarmee voor Nederland minder belangrijk.

De getoonde range in temperatuur oogt gering. Echter, gezien het kantelpunt bij 9,0 °C in de temperatuur correctiefactor van ROTHC en andere organische stofmodellen is het resultaat dat in de regio's 1-5 de afbraak trager verloopt dan in de regio's 6 en 7. Dit verschil in *rate modifying factor* voor temperatuur leidt op jaarbasis tot een gering verschil in afbraak; over decennia bezien mag echter worden verwacht dat de afbraak van organische stof in het noorden significant lager is dan in het zuiden.

Bezien over heel Nederland is er sprake van langjarige regionale verschillen in neerslag en temperatuur (zie Figuur 4-8). Volgens deze gegevens bedroeg de temperatuur over de periode 1981-2010 in alle regio's minimaal 9,0 °C en vertoont een stijging, aspecten die wijzen op een versnelling van de afbraak.



**Figuur 4-8** Langjarige regionale verschillen in neerslag (links) en temperatuur (rechts), bron: KNMI (2021b).

### Discussie

Uit het voorgaande is naar voren gekomen dat er, blijkens de BNW-percelen, verschillen zijn tussen de akkerbouwregio's wat betreft organische stofgehalte, mestbeschikbaarheid en -gebruik, graanaandeel en het weer. De uitsplitsing naar akkerbouwregio's maakt verschillen zichtbaar in het bodem organisch stof gehalte die anders niet zichtbaar werden, bijvoorbeeld de noord-zuid gradiënt bij de zandgebieden. Ook in de verandering van het bodem organisch stof gehalte komen er verschillen tussen akkerbouwgebieden naar voren.

Er zijn grote verschillen in de beschikbaarheid van organische mest tussen de akkerbouwgebieden. Deze verschillen komen tot uiting in de hoeveelheid aangevoerde mest tussen de BNW-percelen in deze gebieden. Regio's met een hoge beschikbaarheid aan organische mest gaan echter niet altijd gepaard met een hogere hoeveelheid aangevoerde EOS, omdat er regionale verschillen zijn in het type aangevoerde mest, bijvoorbeeld drijfmest of juist vaste mest al dan niet in combinatie met compost. Verschillen in aandeel granen in het bouwplan komen naar voren, dit is enigszins terug te zien in de hogere hoeveelheid EOS uit gewasresten, maar niet in de totale aanvoer van EOS.

De weersomstandigheden (neerslagoverschot en temperatuur) verschillen tussen de akkerbouwgebieden. Het laagste respectievelijk hoogste neerslagoverschot komt voor in het Zuidelijk gebied en het Rivierengebied, de hoogste temperaturen doen zich voor in de zuidelijke regio's. In de parameterisatie van het ROTHC-model leidt dit tot een iets hogere afbraaksnelheid in het zuidelijke regio's.

De regionale verschillen in de beschikbaarheid van organische mest, graanaandeel en/of weer kunnen elk een effect uitoefenen op het organische stofgehalte. Tabel 4-8 geeft een overzicht van deze mogelijk verklarende factoren, volgens de kwalitatieve beoordeling uit hoofdstuk 2.1.

**Tabel 4-8** Kwalitatieve weergave van de effectscore van verschillende indicatoren op de gemodelleerde trend in organische stof

Akkerbouwgebied	Ontwikkeling 2010-2019						
	Beschikbaarheid van mest	Aandeel granen in rotatie	Temperatuur	Neerslag	Neerslagoverschot	EOS-aanvoer	Verandering bodem organisch stof gehalte
1 Noordelijk kleigebied							
2 Veenkoloniën & Noordelijke zand- en dalgronden							
3 IJsselmeerpolders							
4 Oostelijk zandgebied							
5 Rivierengebied							
6 Zuidwestelijk kleigebied							
7 Zuidelijk gebied							

Legenda:    Neutraal    Toename    Afname    Onbekend

Uit Tabel 4-8 is niet één factor aan te wijzen is die de ontwikkeling in het bodem organisch stof gehalte kan verklaren. Enerzijds speelt een toename in temperatuur (versnelde afbraak), anderzijds een toename in EOS-aanvoer (met uitzondering van het oostelijk zandgebied). Deze factoren heffen elkaar deels op. Ook andere factoren kunnen een rol spelen. Zo kan een toename in de aanvoer van EOS in combinatie met een hogere temperatuur en neerslag leiden tot een daling in het bodem organisch stof gehalte, zoals bijvoorbeeld bij het IJsselmeergebied. Daar tegenover staat het Zuidwestelijk kleigebied, waar de toename van de EOS-aanvoer in combinatie met een toename in temperatuur het bodem organisch stof gehalte gemiddeld genomen toenam. Het is in principe mogelijk dat interactie optreedt tussen verklarende factoren, en ook de absolute waarden zijn van belang. Dat laatste wordt beperkt inzichtelijk in Tabel 4-8. Het gaat namelijk om verschillen die over een periode van jaren aanhouden. Een eenmalige fluctuatie in bijvoorbeeld het bouwplan of het weer zal wellicht wel zichtbaar zijn op de jaarlijkse organische stofbalans, maar niet of nauwelijks tot uiting komen in het organische stofgehalte.

Een gevolgtrekking uit bovenstaande is dat eenzelfde bodem organisch stof percentage in verschillende gebieden langs verschillende routes tot stand kan zijn gekomen, maar ook dat niet in elk gebied met dezelfde grondsoort dezelfde bodem organische stof gehalten kunnen worden bereikt. Voorbeeld van laatstgenoemde zijn de dekzandgebieden in noordelijke, oostelijk en zuidelijke zandgebieden.

De voorbeelduitwerking van gegevens op regionaal schaalniveau geeft een eerste indicatie van de inzichten waartoe een regionale indeling kan leiden. In dit voorbeeld spelen geografische ligging, management en het weer een rol. Verwacht mag worden dat met een goed gekozen regionale indeling en een statistische verantwoorde steekproef van bedrijven/percelen, onderscheid kan worden gemaakt naar verschillen die inherent zijn aan regionaal bodemtype en organisch stof gehalte maar ook aan aspecten van de bedrijfsvoering die hierop van invloed kunnen zijn, alsmede het weer (neerslag en temperatuur). Niet onderzocht in deze studie maar mogelijk ook van belang is inzicht in regionaal veel voorkomende grondwatertrappen.

De analyse in dit rapport is primair gemaakt vanuit landbouwkundig oogpunt, waarbij in de bespreking van resultaten een vergelijking is gemaakt met gegevens over de functie koolstofvastlegging (project Slim Landgebruik). Het is zeer wel mogelijk dat regionale referentiewaarden voor gewasproductie en koolstofvastlegging van elkaar zullen verschillen. Het *framework* van de BLN (De Haan et al., 2021b) biedt aanknopingspunten om voor verschillende functies van organische stof andere waarden te hanteren, met een uitsplitsing naar vier akkerbouwgebieden. BLN noemt 3 indicatoren voor organische stof: het organische stofgehalte, het koolstofgehalte, en de fractie afbreekbaar/niet-afbreekbaar. De resultaten uit de onderhavige studie betreffen het organisch koolstofgehalte en de trend in organische stof. Naar verwachting mogen de resultaten ook worden betrokken op het organische stofgehalte en de fractie afbreekbaar. Echter aanvullend op de systematiek van BLN blijkt uit deze studie dat naast bodemindicatoren ook indicatoren voor management (EOS-aanvoer en BVI) inzicht kunnen geven en dat bij de regio's onderscheid kan worden gemaakt in geografische ligging en het weer (met name de temperatuur). In feite ontstaat dan een set van indicatoren voor een agro-ecosysteem. Uit deze studie blijkt dat voor het afleiden van een dergelijke set met regionale referentiewaarden het beste gebruik kan worden gemaakt van een statistisch verantwoorde steekproef van percelen/bedrijven per regio, in combinatie met regionale scenario-analyses met het ROTHC-model.

---

## 5 Conclusies en Aanbevelingen

In deze studie is een analyse gemaakt van de organische stofbalans van 32 percelen met bijbehorende gedetailleerde gegevens, verspreid over Nederland. Vervolgens is verkend of er aanleiding is om te komen tot regionale referentiewaarden voor organische stof. Uit deze studie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

### *Gehalte en trend organische stof*

- Het gemodelleerde bodem organisch stof gehalte in de periode 2010-2019 is afgenomen bij 9 van de 10 BNW-percelen op zand, bij de twee percelen op löss nam het bodem organisch stof gehalte toe. Bij de kleipercelen is de verandering niet eenduidig: bij 10 percelen werd een afname en bij 7 werd een toename gevonden in het bodem organisch stof gehalte, bij de overige 3 was er geen sprake van een toe- of afname.
- De meetgegevens van de BNW-percelen over de gehanteerde periode bleken als een puntenwolk om de gemodelleerde trendlijnen heen te liggen wat de beperking aangeeft in de interpretatie van enkelvoudige meetgegevens op jaarbasis.
- Uit de eerste meetronde van het BNW in 2019 bleek dat voor het bodem organisch stof gehalte sprake is van een noord-zuid gradiënt voor de zandgronden.
- Een cumulatieve organische stof balans geeft inzicht in de te verwachte ontwikkeling van het organische stofgehalte in de tijd, en in de mogelijkheden voor bijsturing.

### *Mogelijk verklarende factoren*

#### *1. Aanvoer effectief organisch materiaal*

- De aanvoer van EOS is in het BNW in de afgelopen jaren gestegen, met name in 2019 werd een grote hoeveelheid EOS uit organische mest aangevoerd.
- Het gebruik van mest op de BNW-percelen kwam redelijk goed overeen met de beschikbaarheid van mest in regio's. Echter de beschikbaarheid van mest in de regio relateerde niet direct aan de hoeveelheid aangevoerde EOS op de percelen in de regio.
- Op landelijk niveau wordt van oudsher meer mest gebruikt in het zuiden dan in het noorden, in de periode 2010-2019 nam de beschikbaarheid van mest harder toe in het noorden dan in het zuiden.
- Het aandeel granen in het bouwplan nam in elke regio af. Op landelijk niveau is de vruchtwisseling (wat rooigewassen betreft) intensiever geworden in de afgelopen jaren.

#### *2. Intensiteit van grondbewerking*

- Er is een dalende trend zichtbaar in de intensiteit van de bodembewerkingen voor de BNW-percelen in de periode van 10 jaar, er werd met name minder geploegd en vaker gewoeld.
- Cijfers over grondbewerking op regionaal niveau zijn niet beschikbaar.

---

### 3. *Klimaat effecten*

- Er is sprake van regionale verschillen in temperatuur en neerslag, maar hiervan bleken in deze studie alleen die in de temperatuur van betekenis voor de verandering van het bodem organisch stof gehalte.

### 4. *Algemeen*

- Verklaringen voor de verandering in het bodem organisch stof gehalte zijn niet eenvoudig vast te stellen omdat factoren elkaar kunnen opheffen. Daardoor was het niet mogelijk om het relatieve effect van bedrijfsvoering, bodemindicatoren en omgevingsfactoren op het bodem organisch stof gehalte vast te stellen.

### *Regionale referentiewaarden*

- Een paar meetgegevens zeggen weinig over het verloop in organische stofgehalte; combinatie met een, bij voorkeur cumulatieve, organische stof balans geeft daarentegen op bedrijfsniveau wel een goed beeld. Voor een goede interpretatie is vergelijking met regionale waarden nodig.
- Uit de gedetailleerde analyse van de BNW-percelen is een aantal kenmerken afgeleid die als basis kunnen dienen voor een regionale indeling om (verandering in) organische stofgehalten te kunnen interpreteren. Dit zijn:
  - Bodemeigenschappen: het initiële bodem organische stof gehalte en het lutumgehalte.
  - Weerfactoren: met name de temperatuur is van belang.
  - Aanvoer organische stof: belangrijker nog dan de mestbeschikbaarheid en -gebruik is de keuze voor materialen met een hoge aanvoer van effectieve organische stof.
- Voor het afleiden van een set met regionale referentiewaarden gebruik te maken van een statistisch verantwoorde steekproef van percelen/bedrijven per regio, in combinatie met regionale scenario-analyses met het ROTHC-model.

### *Aanbevelingen voor vervolgstudie zijn:*

- Uitwerken van een geschikte indeling van regionale landbouwgebieden, bijvoorbeeld gebaseerd op indelingen die worden gebruikt voor het schatten van de potentiële koolstofvastlegging, zoals monitoring- en/of beloningssystemen.
- Uitbreiding van de selectie mogelijk verklarende factoren, o.a. met het regionale gebruik van kalkmeststoffen, en verdere ontwikkeling van waarderingssystemen zoals BVI en koolstof/lutumratio.
- Ontwikkelen van een methodiek voor het vaststellen van het relatieve belang van de onderzochte factoren, inclusief interacties.

---

# Literatuur

Van Balen, D.J.M. en Haagsma, W. (2017). De effecten van gereduceerde grondbewerking. Beschikbaar via <https://edepot.wur.nl/420313>.

Bloem, J., Dimmers, W.J., van Balen, D.J.M. en Postma, J. (2017). Gereduceerde grondbewerking, labiele organische stof en micro-organismen. Gewasbescherming 48(2/3). Beschikbaar via <https://edepot.wur.nl/427607>.

Bokhorst, J.G., ter Berg, C., Zanen, M. en Koopmans, C. (2008). Mest, compost en bodemvruchtbaarheid. Louis Bolk Instituut, Rapport nr. LD11.

Brolsma, K., Ton, E. en Reijneveld, A. (2017). Bodemvruchtbaarheid in Nederland over de periode 2005 – 2015. Eurofins Agro. Beschikbaar via: <https://themasites.pbl.nl/evaluatie-meststoffen-wet/wp-content/uploads/Bodemvruchtbaarheid-in-Nederland-over-de-periode-2005-2015-I.pdf>.

Ten Cate, J.A.M., van Holst, A.F., Kleijer, H. en Stolp, J. (1995). Handleiding bodemgeografisch onderzoek: richtlijnen en voorschriften. Deel C: Kaart tekenen, rapporteren en samenstellen van digitale bestanden. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Beschikbaar via <https://edepot.wur.nl/380626>.

Centraal Bureau voor de Statistiek [CBS]. (2021a). Landbouw; gewassen, dieren en grondgebruik naar regio. Beschikbaar via Statline: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/80780ned/table?ts=1624283580765>.

Centraal Bureau voor de Statistiek [CBS]. (2021b). Dierlijke mest; productie en mineralenuitscheiding, diercategorie, regio. Beschikbaar via Statline: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83982NED/table?ts=1624283421759>.

Coleman, K. en Jenkinson, D.S. (2014). RothC – A model for the turnover of carbon in soils. Model description and user guide. Rothamsted Research, Harpenden. Beschikbaar via: [https://www.rothamsted.ac.uk/sites/default/files/RothC\\_guide\\_WIN.pdf](https://www.rothamsted.ac.uk/sites/default/files/RothC_guide_WIN.pdf)

Conijn J.G. en Lesschen, J.P. (2015). Soil organic matter in the Netherlands. Quantification of stocks and flows in the topsoil. PRI-Rapport nr. 619, Wageningen.

Crittenden, S. (2015). Biophysical soil quality of tillage systems in conventional and organic farming [Thesis]. Wageningen University. Beschikbaar via <https://edepot.wur.nl/364181>.

De Haan, J.J., Wesselink, M., van Dijk, W., Verstegen, H.G.A., van Geel, W.C.A., van den Berg, W. (2017a). Effect van organische stofbeheer op opbrengst, bodemkwaliteit en stikstofverliezen op een zuidelijke zandgrond. Resultaten van de gangbare bedrijfssystemen van het project Bodemkwaliteit op zand in de periode 2011-2016. Wageningen Research, Rapport nr. WPR-754.

De Haan, J.J., Wesselink, M., van Dijk, W., Verstegen, H.G.A., van Geel, W.C.A., van den Berg, W. (2017b). Biologisch teelt op zuidelijke zandgronden: opbrengst, bemesting, bodemkwaliteit en stikstofverliezen; Resultaten van het biologische bedrijfssysteem van het project Bodemkwaliteit op zand in de periode 2000-2016. Wageningen Research, Rapport nr. WPR-755.

De Haan, J.J., van Asperen, P., Visser, J., van der Burgt, G. J., Smit, E., Dawson, A., en Klompe, K. (2020). Bodemmaatregelen op dalgrond in de Veenkoloniën: effecten op bodemkwaliteit, opbrengst en financiële meerwaarde: Analyse van de resultaten van de systeemproof Bodemkwaliteit Veenkoloniën 2014-2017. Wageningen Plant Research, Rapport nr. WPR-831. doi: 10.18174/520429.

---

De Haan, J.J., Korthals, G.W., Hanegraaf, M.C., Postma, J., van Egmond, F.M., Olijve, A.J., van Asperen, P., Vervuurt, W., Rombout, S., Zwijnenburg, A., Tolhoek, J., Simonse, D., Schierholz, R., Teuling, K., Kurm, V., Brinkman, P., Bongiorno, G., Zwetsloot, M., van Tintelen, J.W., Bloem, J., Visser, J., Jansen, S., Ramaker, A., Gaastra, S., Spoor, M., en Schilder, M.T. (2021a). Bodemkwaliteitsmetingen 2019 in Bedrijvennetwerk Bodemmetingen: eerste analyse van meetresultaten 2019 van integrale bodemkwaliteit op 16 akkerbouwbedrijven. Wageningen Research, Rapport nr. WPR-888. doi: 10.18174/554216

De Haan, J.J., van den Elsen, E. en Visser, S.M. (2021b). Evaluatie van de bodemindicatoren voor landbouwgronden in Nederland (BLN), versie 1.1. Wageningen University & Research, Rapport nr. WPR-883. doi: 10.108174/549973

Handboek Bodem en Bemesting [HBB]. Beschikbaar via:  
<https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting.htm>.  
Bezocht op: 09-08-2021.

Hanegraaf, M.C., André, G., de Haas, M.J.G. en van der Weijden, A.G.G. (2006). Zorg voor Zand. Trends in het organische stofgehalte van zandgronden. NMI-rapport nr. 1026.

Hanegraaf, M.C., Hoffland, E., Kuikman, P.J. en Brussaard, L. (2009). Trends in soil organic matter contents in Dutch grasslands and maize fields on sandy soils. *European Journal of Soil Science*, 60, 213-222. doi: 10.1111/j.1365-2389.2008.01115.x.

Hanegraaf, M.C., van den Elsen, H.G.M., De Haan, J.J. en Visser, S.M. (2019a). Bodemkwaliteitsbeoordeling van landbouwgronden in Nederland – indicatorset en systematiek, versie 1.0. Wageningen research, Rapport nr. 795. doi: 10.18174/498307.

Hanegraaf, M.C., van Geel, W.C.A., van de Berg, W. en De Haan, J.J. (2019b). Afbraaksnelheid bodem organische stof: tussenrapportage perceelsspecifieke schatting uit bodemparameters. Wageningen University and Research, Rapport nr. WPR-801.

Hassink, J., Whitmore, A. P., en Kubát, J. (1997). Size and density fractionation of soil organic matter and the physical capacity of soils to protect organic matter. In M. K. van Ittersum, & S. C. van de Geijn (Eds.), *Perspectives for agronomy. Adopting ecological principles and managing resource use. Proceedings of the 4th Congress of the European Society for Agronomy, Veldhoven and Wageningen, The Netherlands, 7-11 July 1996.* Elsevier Science BV, Amsterdam. *Developments in Crop Science* 25 pp. 245-255.

Hendriks, C.M.A. (2011). Quick Scan organische stof: kwaliteit, afbraak en trends. Alterra, Rapport nr. 2128. Beschikbaar via <https://edepot.wur.nl/165078>.

Hoek, J., van Balen, D., Haagsma, W., van den Berg, W., van Asperen, P., Sukkel, W., De Haan, J., en Bloem, J. (2019). Bodemindicatoren in BASIS: Identificatie van de belangrijkste biologische en chemische bodemparameters ("bodemindicatoren") in het project BASIS over de periode 2009-2016. Wageningen Research, Rapport nr. WPR-798. doi:10.18174/511496.

Janssen, B.H. (1984). A simple method for calculating decomposition and accumulation of "young" soil organic matter. *Plant & Soil* 76, p. 297-304.

De Jong, C.J. en van der Hoek, K.W. (2009). Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit: resultaten tweede meetronde, 1999-2003. RIVM, Rapport nr. 680718001/2009. Beschikbaar via: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/680718001.pdf>.

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut [KNMI]. (2021a). Maand- en jaarwaarden van de temperatuur, neerslag en luchtdruk. Beschikbaar via: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maandgegevens>.

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut [KNMI]. (2021b). Klimaatviewer: klimaatnormalen 1981-2010. Beschikbaar via: <https://www.knmi.nl/klimaat-viewer/kaarten>.

- 
- Koopmans, C. en Van Opheusden, M. (2019). Organische stof in de Nederlandse bodem: feiten en discussie in perspectief. Louis Bolk Instituut, Rapport nr. 2019-023LbP.
- Koopmans, C., Timmermans, B., Wagenaar, J.P., van 't Hull, J., Hanegraaf, M.C. en De Haan, J.J. (2019). Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof: resultaten uit lange termijn experimenten (LTE's). Louis Bolk Instituut en WUR. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/513436>.
- Koopmans, C., Timmermans, B., De Haan, J.J., Van Opheusden, M., Selin Noren, I., Slier, T., en Wagenaar, P.W. (2020). Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale gronden 2019-2023, voortgangsrapportage 2020. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/534917>.
- Kortleven, J. (1963). Kwantitatieve aspecten van humusopbouw en humusafbraak. Dissertatie, Wageningen.
- Lantinga, E.A., Boele, E. en Rabbinge, R. (2013). Maximizing the nitrogen efficiency of a prototype mixed crop-livestock farm in The Netherlands. *Wageningen Journal of Life Sciences*, 66, 15-22. doi: 10.1016/j.njas.2013.07.001.
- Makkink, G.F. (1957). Testing the Penman formula by means of lysimeters. *Water science and engineering*, 11, 277-288.
- Maljaars, C. (2017). Analyse van trends in organische stofgehalte van Zeeuwse akkerbouwgrond [afstudeerwerkstuk]. Aeres Hogeschool.
- Müller M.J. (1982). Selected climatic data for a global set of standard stations for vegetation science. Junk Publishers, Den Haag.
- Prout, J.M., Sepherd, K.D., McGrath, S.P., Kirk, G.J.D. en Haefele, S.M. (2020). What is good level of soil organic matter? An index based on organic carbon to clay ratio. *European Journal of Soil Science*, 1-11. doi: 10.1111/ejss.13012.
- Reijneveld, J.A., van Wensem, J. en Oenema, O. (2009). Soil organic carbon contents of agricultural land in the Netherlands between 1984 and 2004. *Geoderma*, 152, 231-238. doi: 10.1016/j.geoderma.2009.06.007.
- Rutgers, M., Mulder, C., Schouten, A.J., Bloem, J., Bogte, J.J., Breure, A.M., Brussaard, L. en de Goede, R.G.M. (2007). Typering van bodemecosystemen in Nederland. Met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit. RIVM, Rapport nr. 607604008/2007. Beschikbaar via: <http://edepot.wur.nl/40979>.
- Schils, R. (2012). 30 vragen en antwoorden over bodemvruchtbaarheid. Wageningen University and Research.
- Schils, R., Van Dijk, W., Van Middelkoop, J., Oenema, J., Verloop, K., Huijsmans, J., Ehlert, P., Van der Salm, C., Van Reuler, H., Vreeburg, P., Dekking, A., Van Geel, W. en van der Schoot, J.R. (2012). Effect Meststoffenwet 2012 – Ex Post: Bodemvruchtbaarheid en Gewasopbrengst. Alterra, Rapport nr. 2266.
- Schouten, C.J. (2018). Brief Bodemstrategie Tweede Kamer. Kenmerk DGAN-PAV/18081747. Beschikbaar via: <https://edepot.wur.nl/450865>.
- Smit, B. en Jager, J. (2018). Schets van de akkerbouw in Nederland: structuur-, landschaps- en milieukeurmerken die een relatie hebben tot biodiversiteit. Wageningen University and Research, Rapport nr. 2018-074.
- Van Tol-Leenders, D., Knotters, M., de Groot, W., Gerritsen, P., Reijneveld, A., van Egmond, F., Wösten, H., en Kuikman, P. (2019). Koolstofvoorraad in de bodem van Nederland (1998-2018): CC-NL. Wageningen Environmental Research, Rapport nr. 2974. doi: 10.18174/509781.
- Universiteit Gent (2008). Ontwikkelen van een expertsysteem voor het adviseren van het



---

koolstofbeheer in de landbouwbodems. Deel 1 – Literatuurstudie & Deel 2 – Uitwerking van het adviessysteem. Rapport LA BOD/STUD 2006 01 04. Bodemkundige Dienst België en Universiteit Gent, Vakgroep Bodembeheer en bodemhygiëne, Gent (B).

Vermeulen, J. en Hendriks, R.F.A. (1996). Bepaling van afbraaksnelheden van organische stof in laagveen. DLO-Staring Centrum, Rapport nr. 288.

Wadman, W.P. en De Haan, S. (1997). Decomposition of organic matter from 36 soils in a long-term pot experiment. *Plant and soil* 189, 289-301.

De Willigen, P., Janssen, B.H., Heesmans, H.I.M., Conijn, J.G., Velthof, G.J. en Chardon, W.G. (2008). Decomposition and accumulation of organic matter in soil; comparison of some models. Alterra-rapport nr. 1726.

Zwart K.B. (2001). Computersimulatiemodellen voor de fruitteelt. Een inventarisatie. PRI-Nota 95, Wageningen.

# Bijlage 1 Waarderingstabellen bodem- en managementfactoren

**Tabel B1-1** Gemiddelde bodemverstoringsindex op bouwplanniveau per jaar voor gangbare bedrijven

Bewerking	BVI (0-10cm)	BVI (10-20cm)	BVI (20-30cm)	Totaal (0-30cm)
Ploegen	6,3	2,5	1,3	10,1
Ploegen met vorenpakker	6,6	2,6	1,3	10,5
Woelen (30cm)	2,2	0,7	0,7	3,6
Woelen (40cm)*	2,6	0,7	0,7	4,0
Bouwvoorlichter	2,6	0,7	0,7	4,0
Spitten	3,7	0,7	0,0	4,4
Ecoploeg	4,6	1,5	0,0	6,1
Kopeg	4,2	0,0	0,0	4,2
Schijveneg	3,0	0,6	0,0	3,6
Cultivator	3,2	1,3	0,6	5,1
Vleugelschaar	5,4	1,8	0,0	7,2

**Tabel B1-2** Waardering van de koolstof/lutum ratio (Prout et al., 2020).

Ratio	>0,13	0,10-0,13	0,08-0,10	<0,08
Waardering	Zeer goed	Goed	Matig	Slecht

**Tabel B1-3** Grenswaarden voor bodem organische stof en 1<sup>e</sup> jaar organische stof balans voor het vaststellen van drie risicoklassen (hoog, middelmatig en laag) (Conijn en Lesschen, 2015).

SOC voorraad (%) (0-25 cm)	SOC balans (ton ha <sup>-1</sup> ) (0-25 cm)	Risico waarde
Laag: ≤ 1,5	≤ -0,5	Hoog
	-0,5 <> 0,0	Middelmatig
	≥ 0,0	Laag
Hoog: > 1,5	≤ -1,0	Hoog
	-1,0 <> -0,5	Middelmatig
	≥ -0,5	Laag



## Bijlage 2 Statistische kengetallen bodem- en managementfactoren

**Tabel B2-1** Bodemverstoringsindex (BVI) in de periode 2010-2019.

	Minimum	Maximum	Gemiddelde	St. dev.	Mediaan
Klei (n=168)	0	10,1	7,4	3,1	10,1
Zand (n=68)	0	10,5	6,9	3,1	5,1
Löss (n=20)	3,6	3,6	3,6	0,0	3,6

**Tabel B2-2** Gemeten bodem organisch stof gehalten (%) in de periode 2010-2019.

	Minimum	Maximum	Gemiddelde	St. dev.	Mediaan
Klei (n=35)	1,7	4,4	2,8	0,8	2,5
Zand (n=19)	1,3	8,9	4,0	2,0	3,0
Löss (n=4)	2,2	2,5	2,4	0,1	2,4

**Tabel B2-3** EOS aanvoer in de periode 2010-2019.

	Minimum	Maximum	Gemiddelde	St. dev.	Mediaan
Klei (n=190)	0	13655	2663	2207	2100
Zand (n=88)	300	8665	2873	1770	2663
Löss (n=20)	300	5948	2517	1663	1590

**Tabel B2-4** Jaarlijkse organische stof balans in de periode 2010-2019.

	Minimum	Maximum	Gemiddelde	St. dev.	Mediaan
Klei (n=190)	-5451	10864	41	2463	-373
Zand (n=88)	-3560	5242	-299	1728	-444
Löss (n=20)	-2615	5148	308	2178	-217

**Tabel B2-5** Bodem pH in de periode 2010-2019.

	Minimum	Maximum	Gemiddelde	St. dev.	Mediaan
Klei (n=45)	6,4	7,6	7,2	0,2	7,2
Zand (n=22)	4,7	6,1	5,4	0,3	5,4
Löss (n=4)	6,6	7,1	6,8	0,2	6,8

**Tabel B2-6** Koolstof/lutum ratio in de periode 2010-2019.

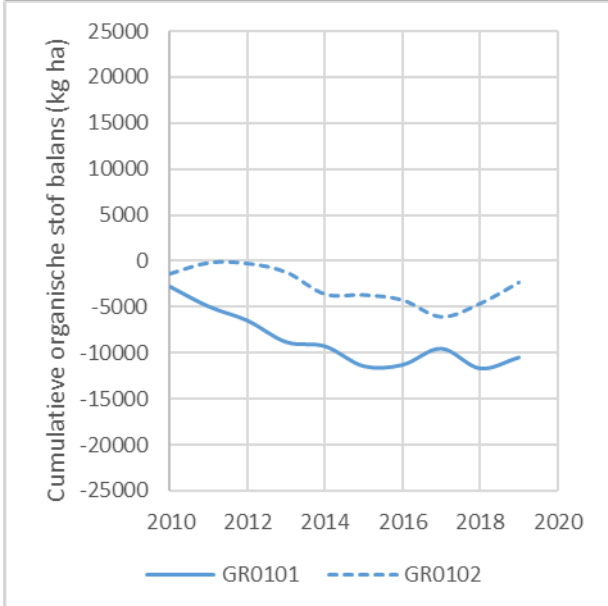
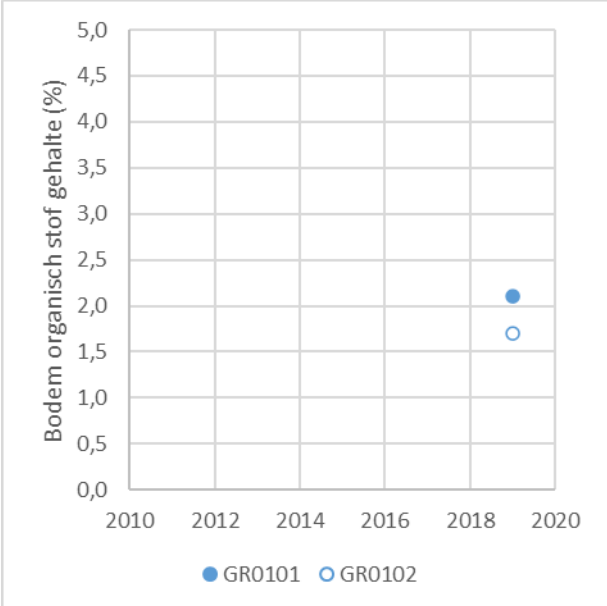
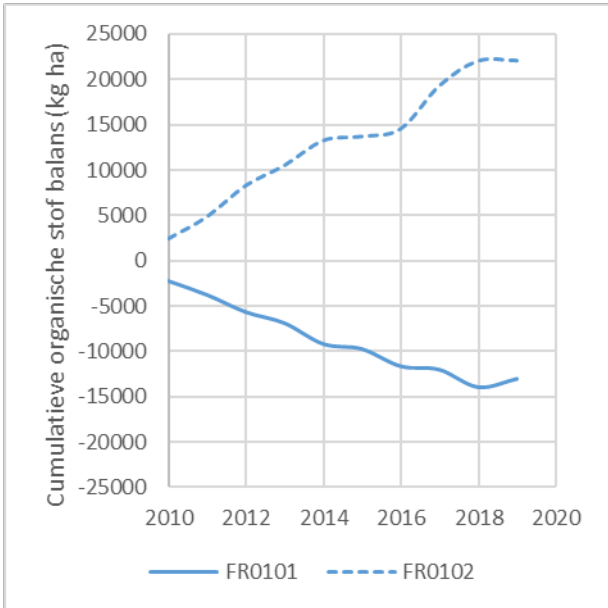
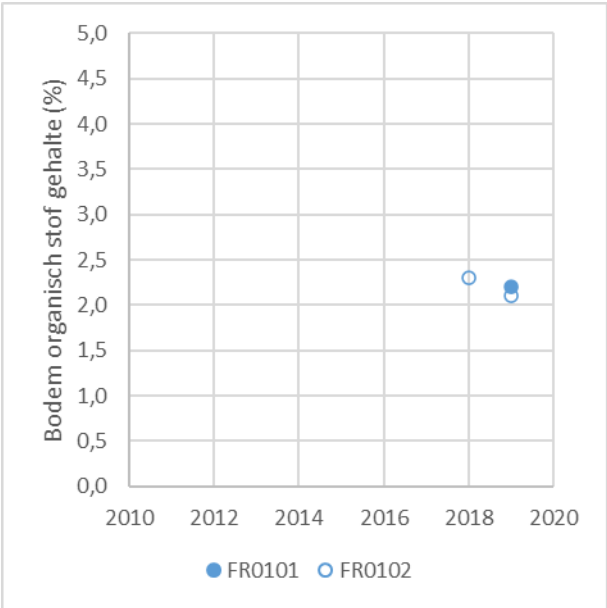
	Minimum	Maximum	Mediaan	St. dev.
Klei (n=40)	0,04	0,17	0,07	0,03
Zand (n=10)	0,47	4,20	1,30	1,04
Dalgrond (n=4)	1,30	4,20	1,38	1,24
Dekzand (n=6)	0,47	2,00	0,73	0,58
Löss (n=4)	0,07	0,10	0,08	0,01

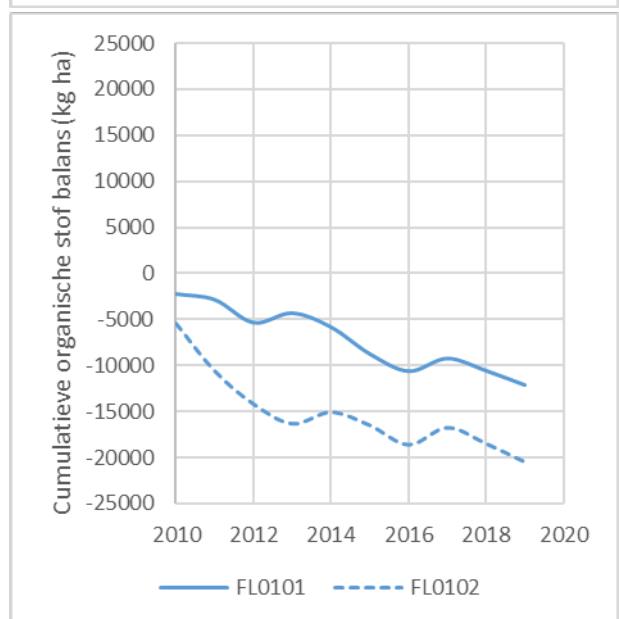
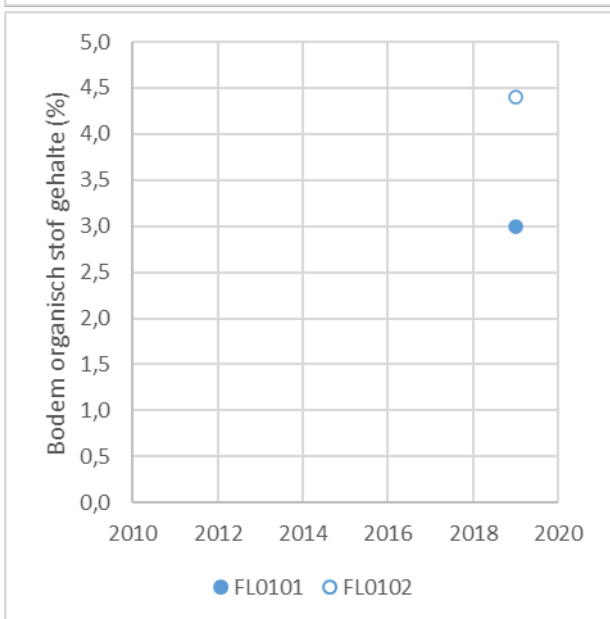
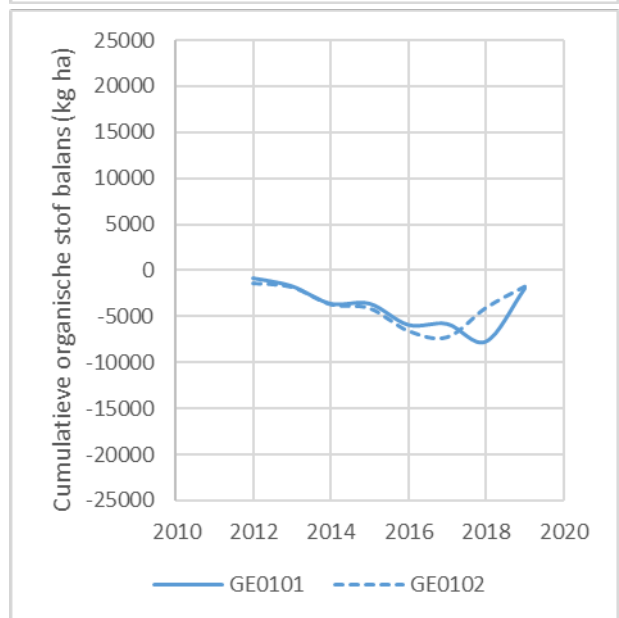
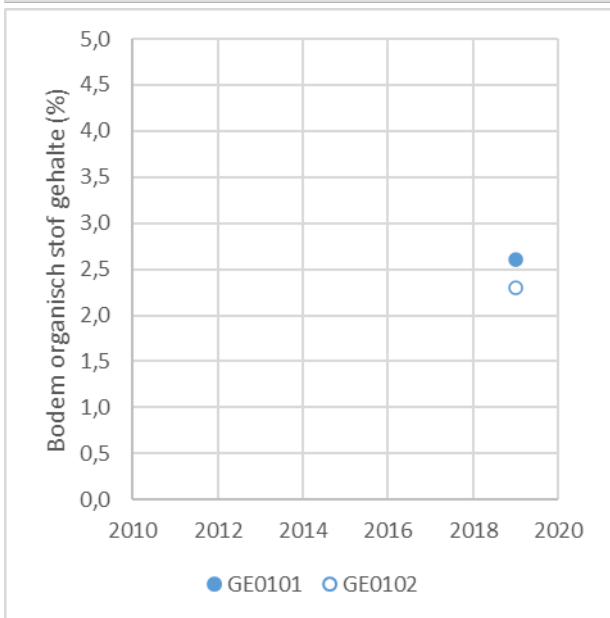
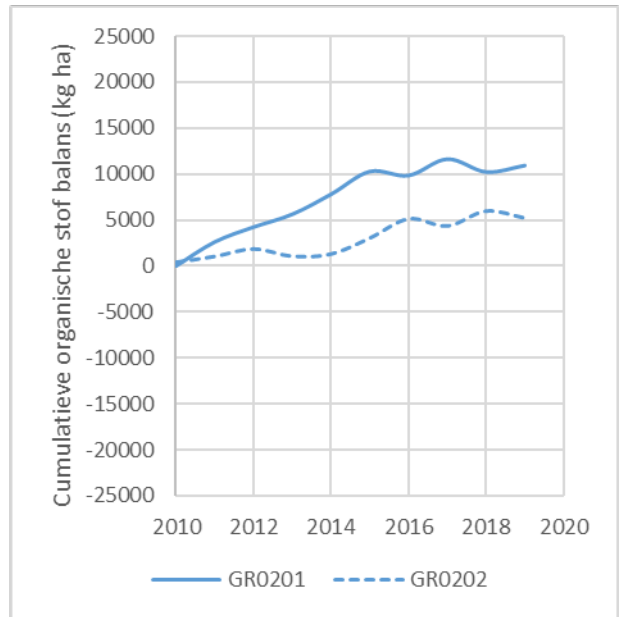
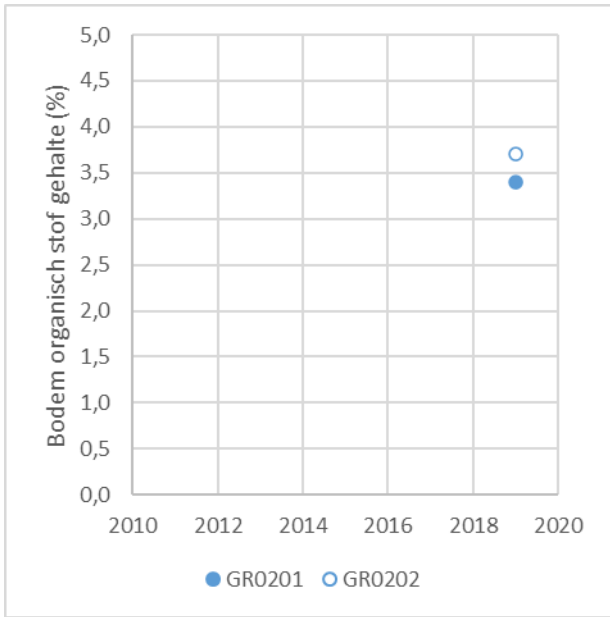
\* Geen gemiddelde opgenomen wegens een hoge uitschieter in één zandperceel.

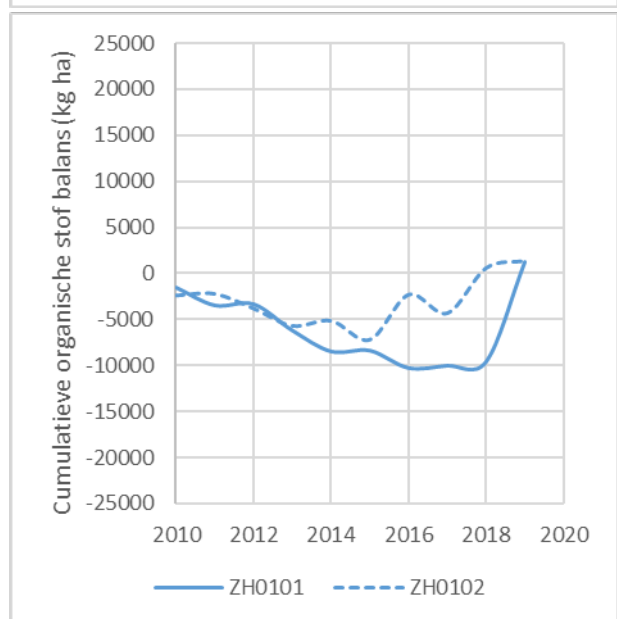
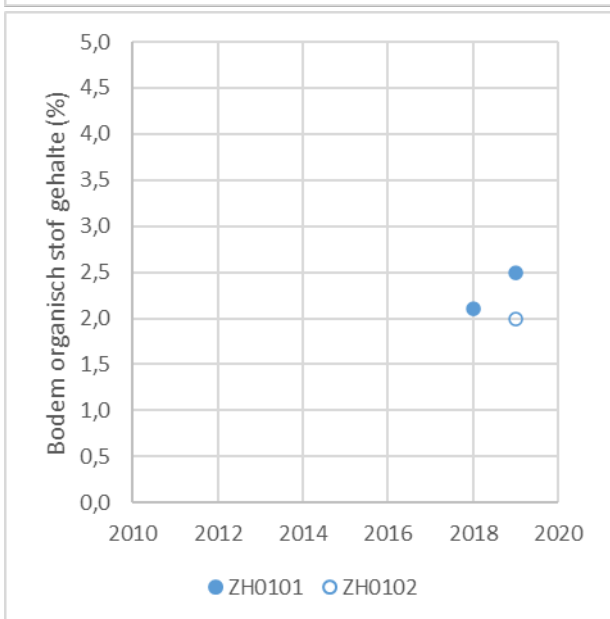
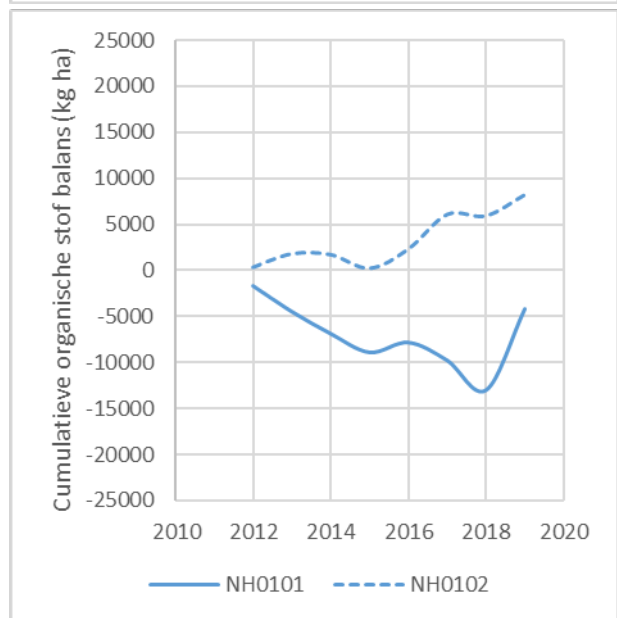
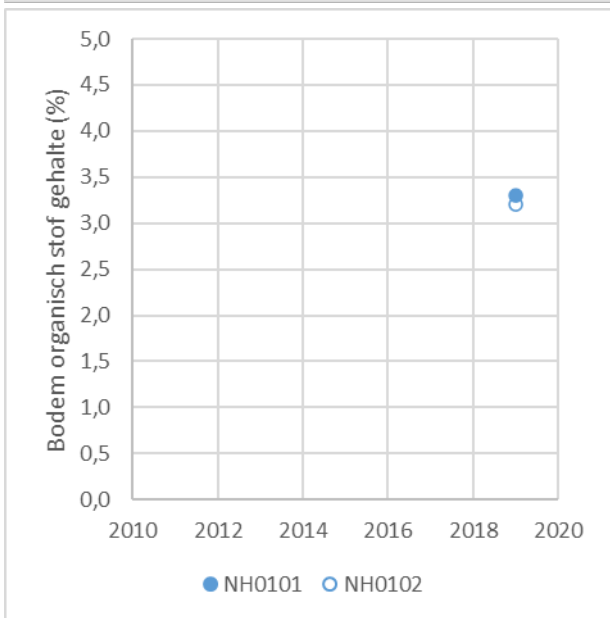
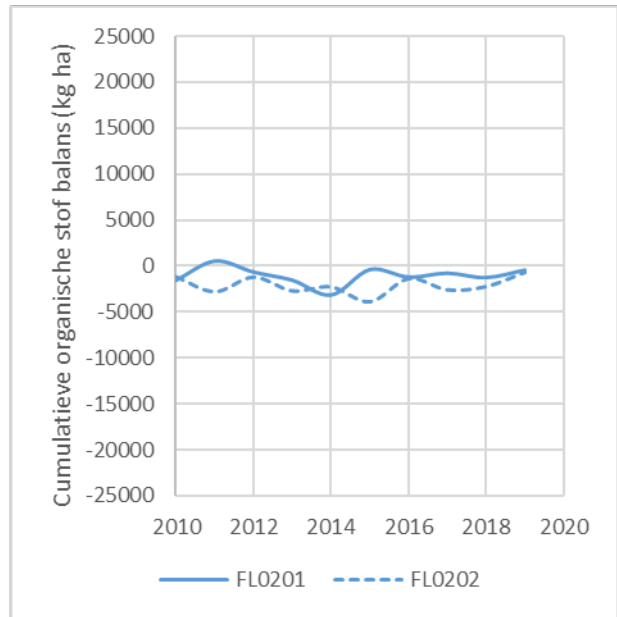
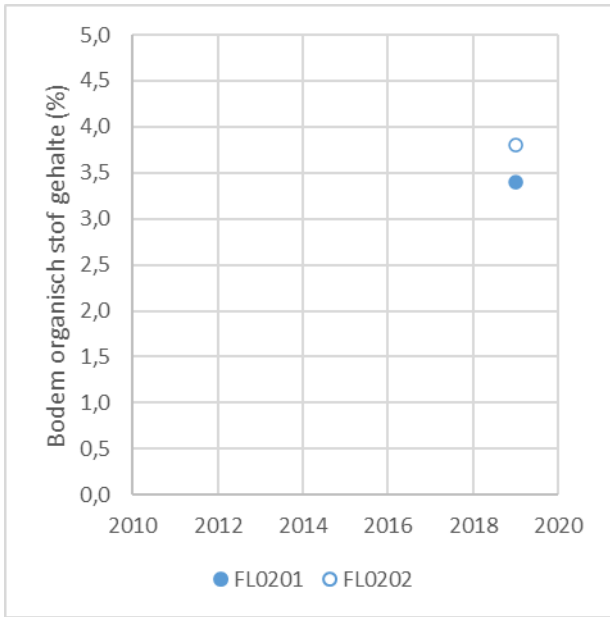


# Bijlage 3 Verloop bodemorganische stof en cumulatieve organische stofbalans

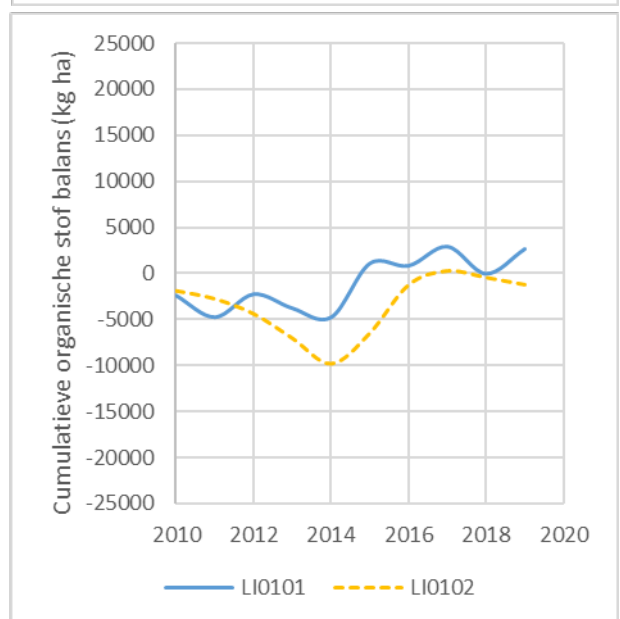
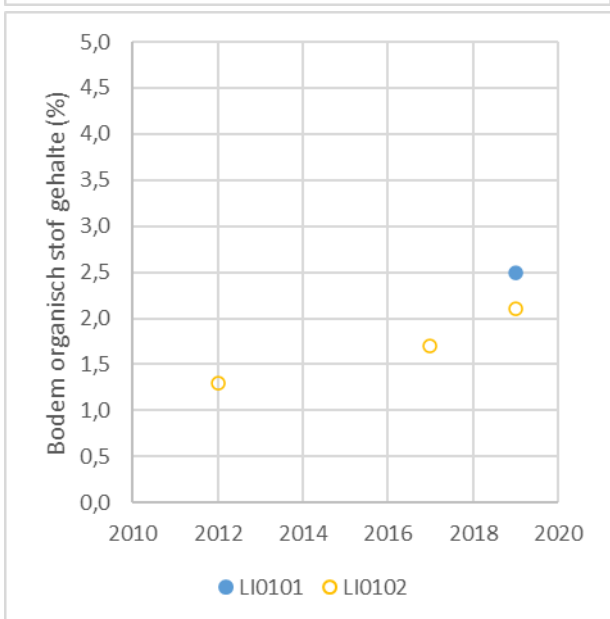
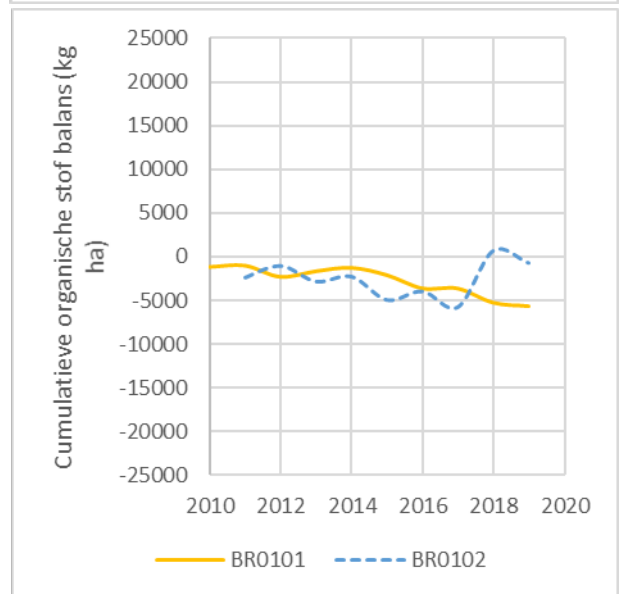
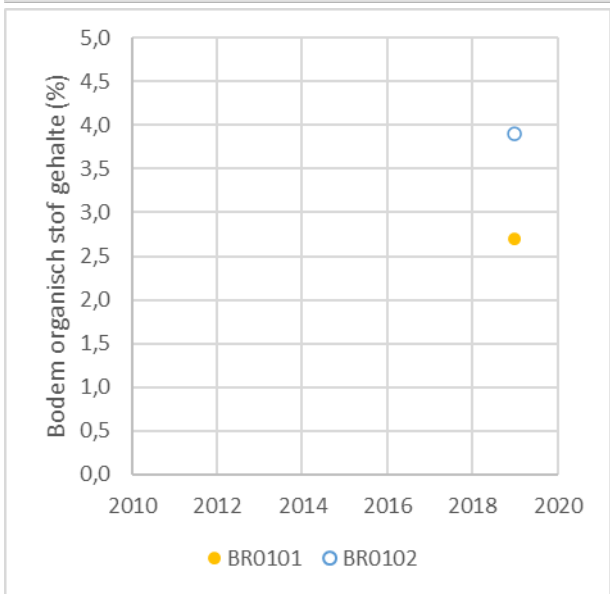
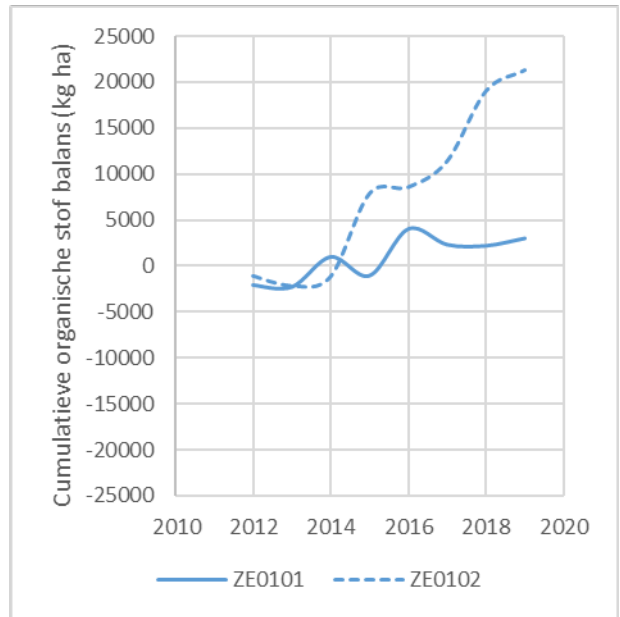
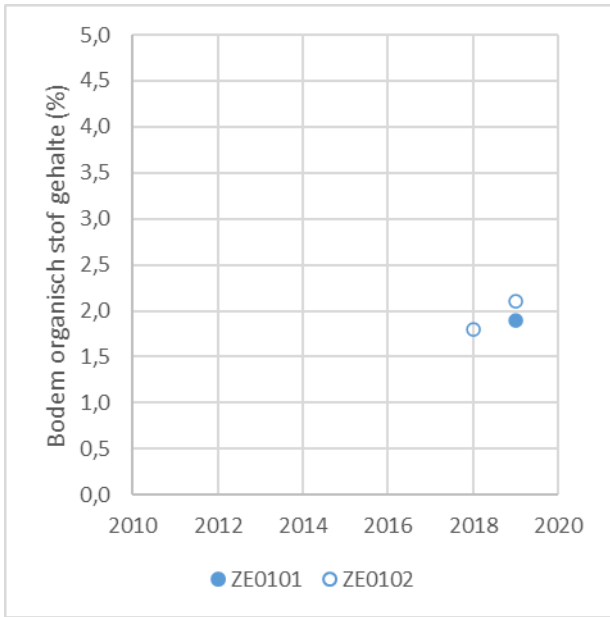
In de figuren in deze bijlage zijn de organische stof gemeten met NIRS gepresenteerd naast de cumulatieve organische stof balansen.

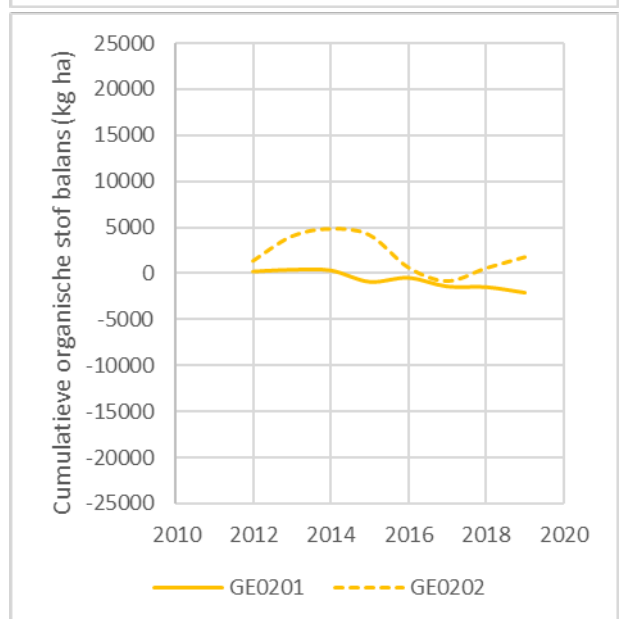
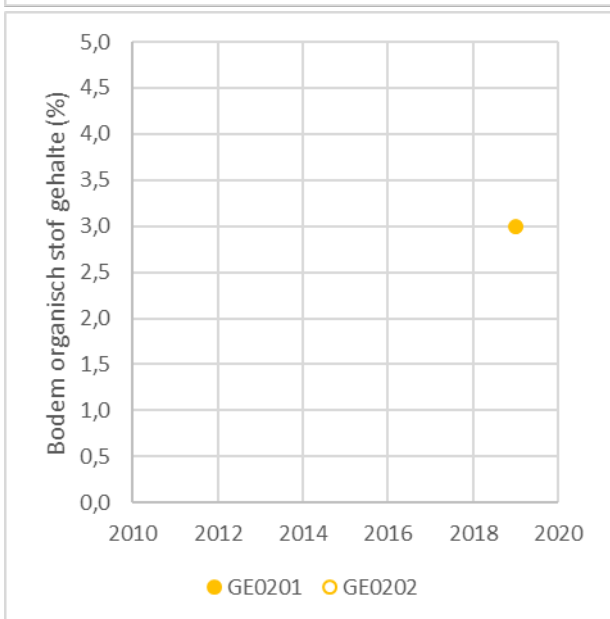
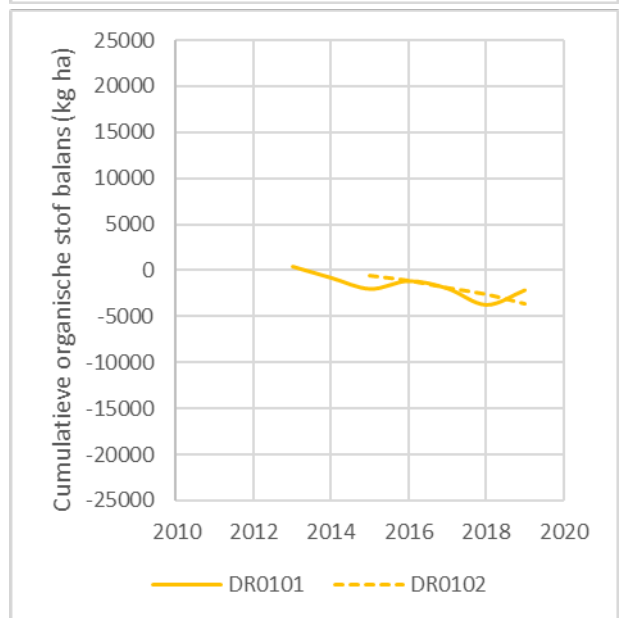
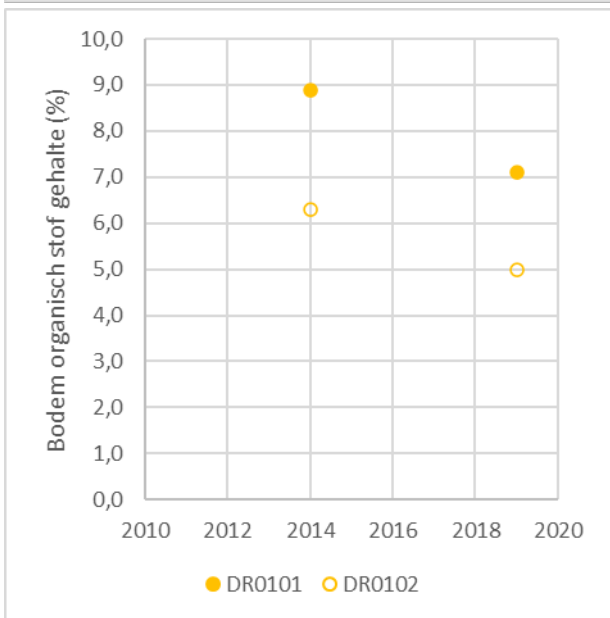
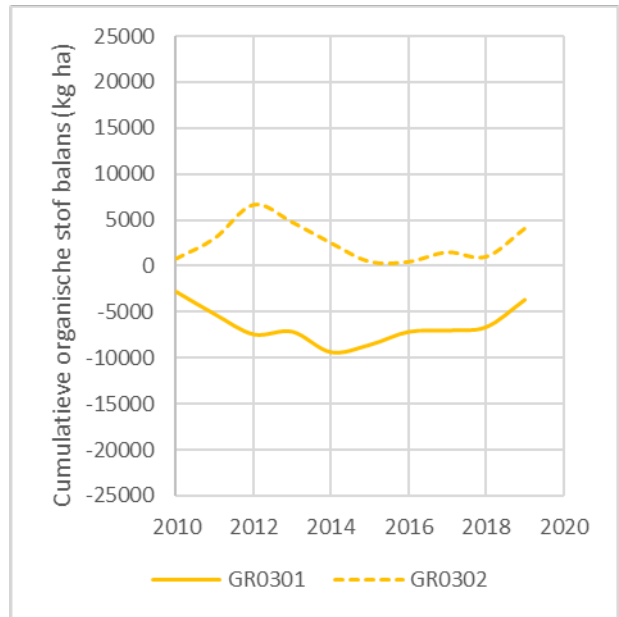
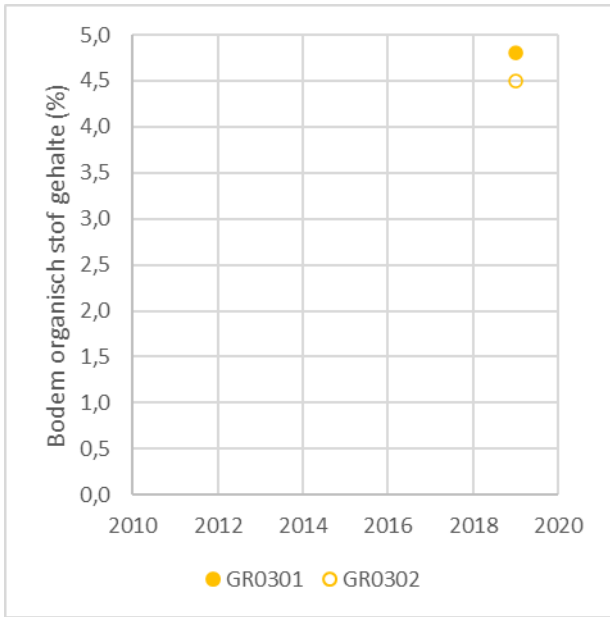


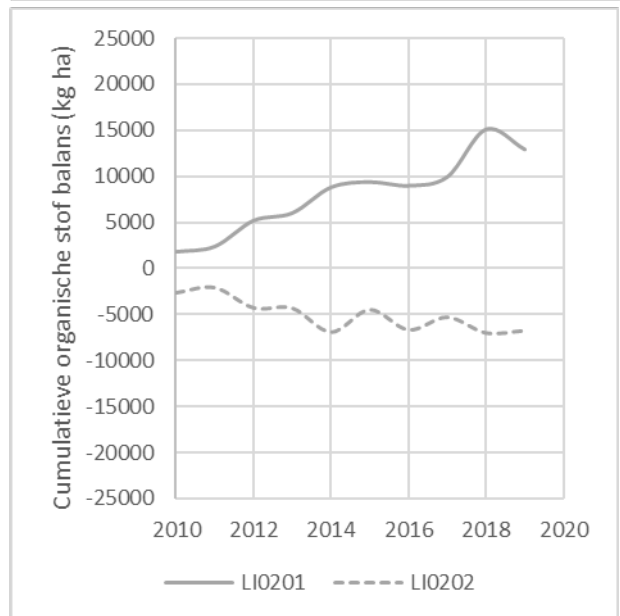
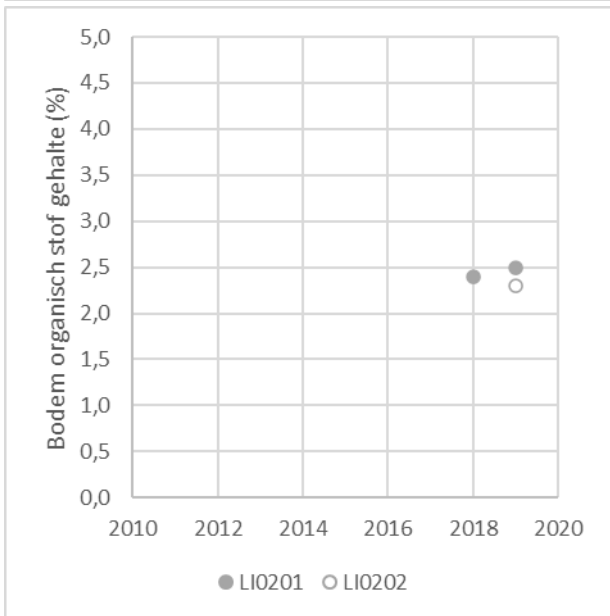
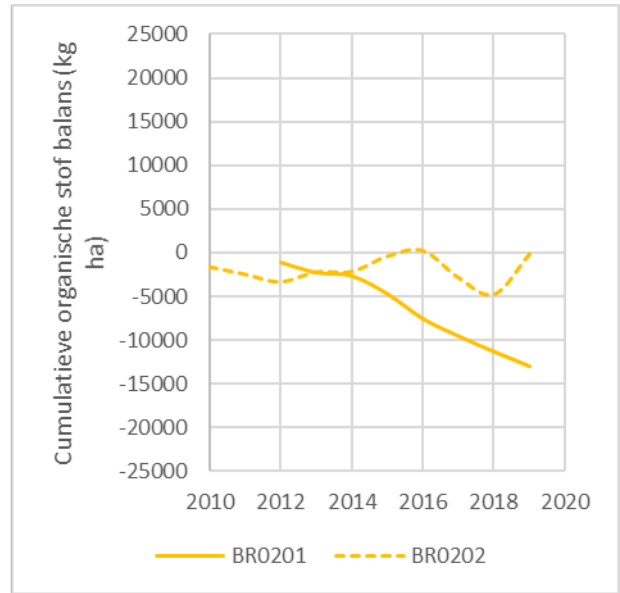
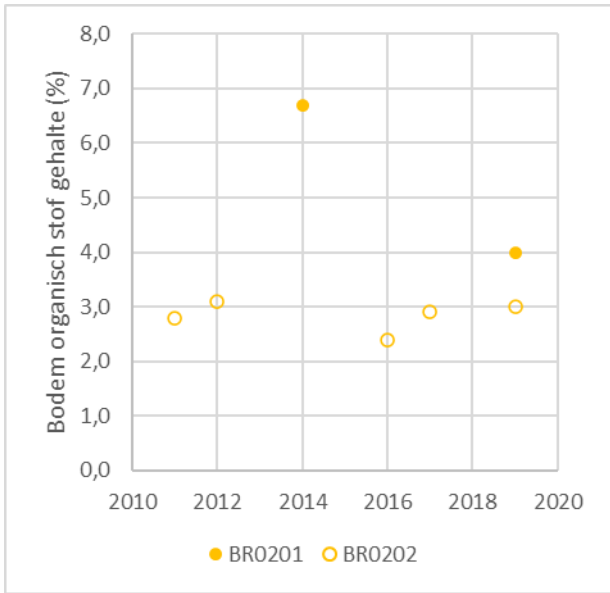






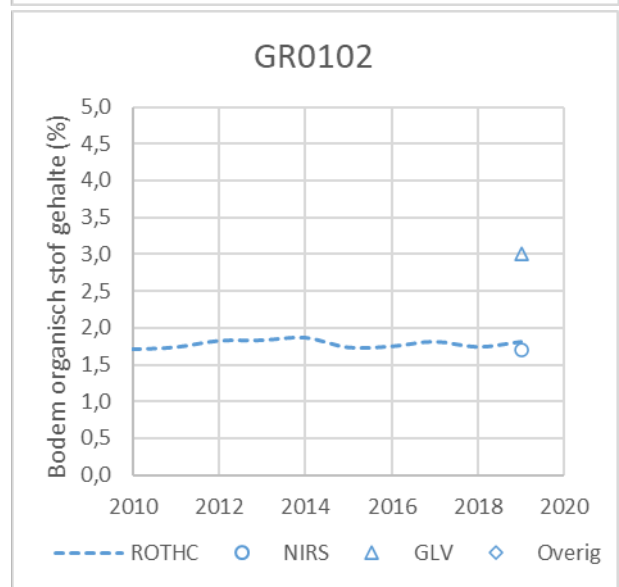
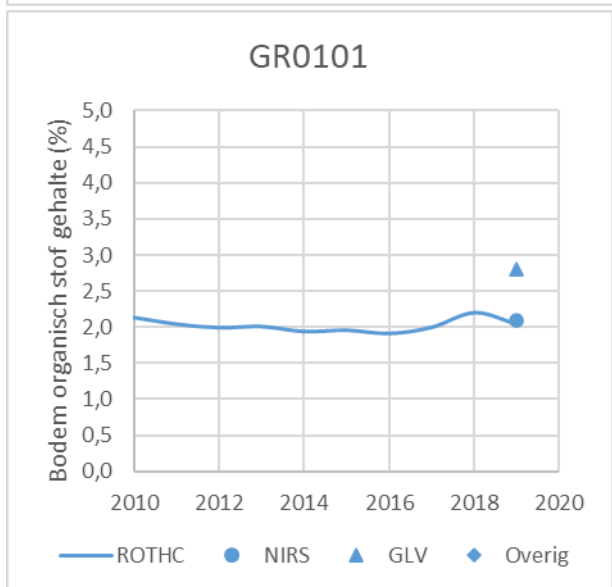
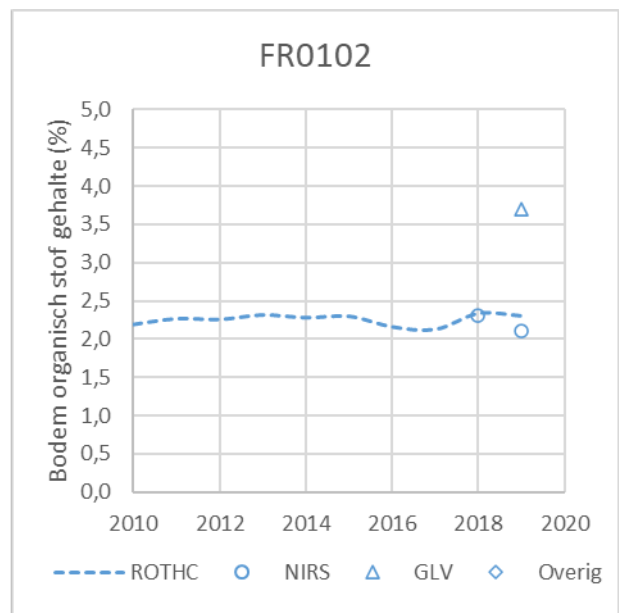
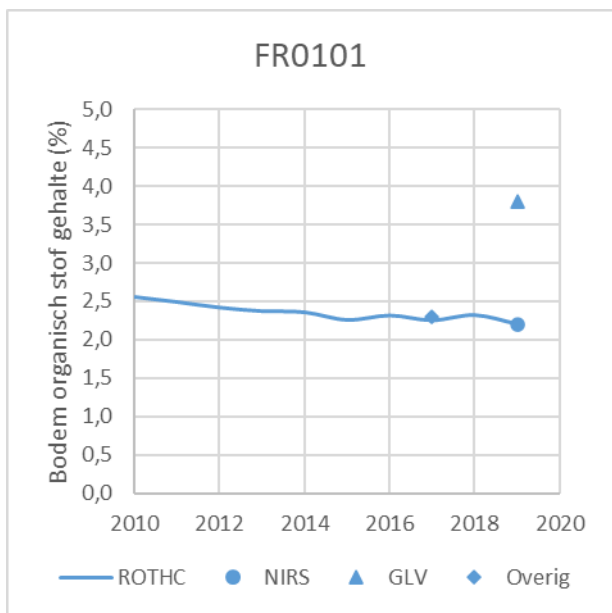


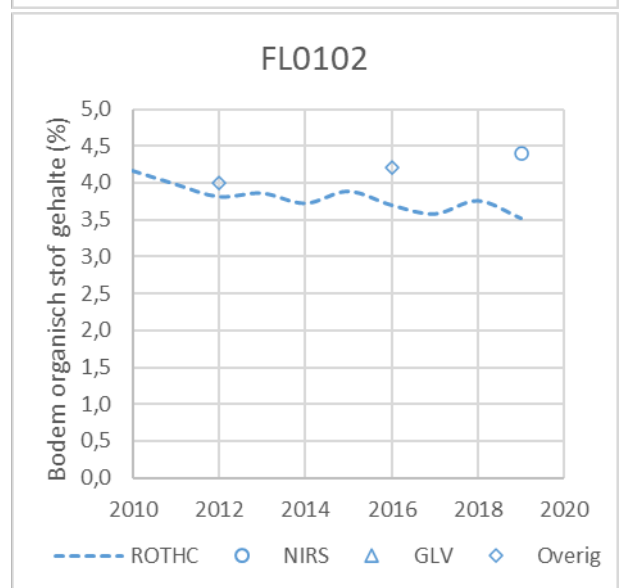
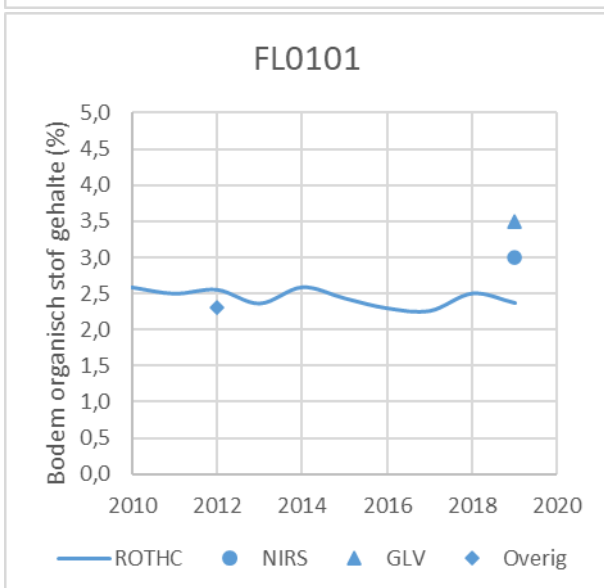
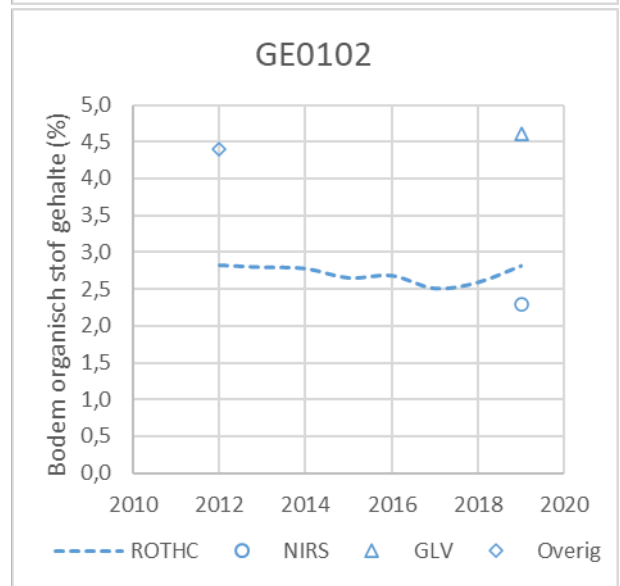
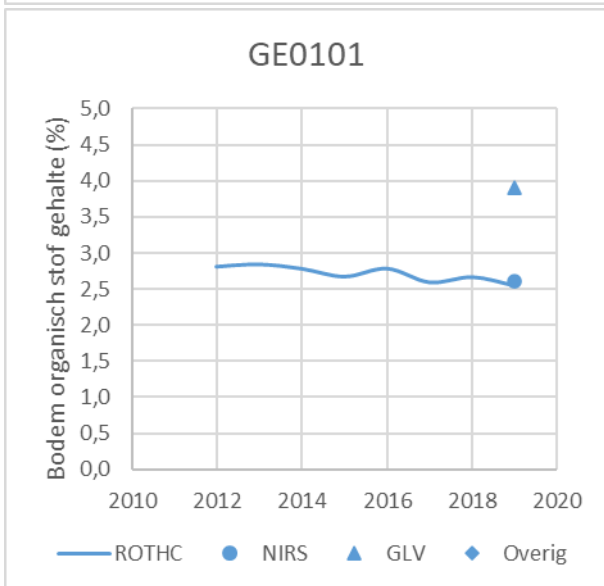
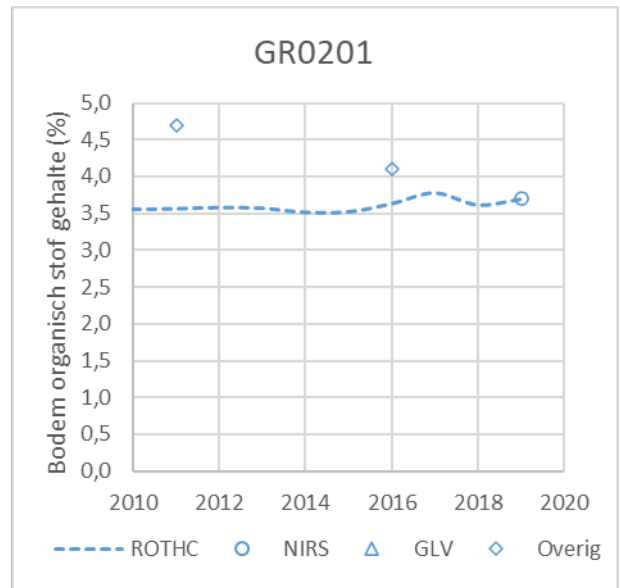
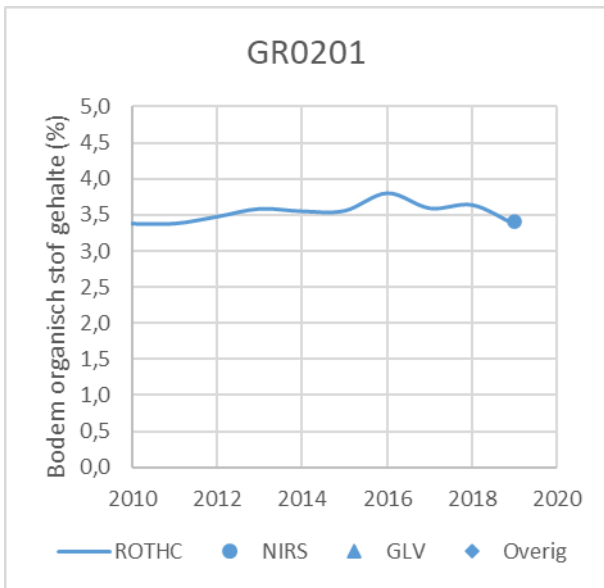


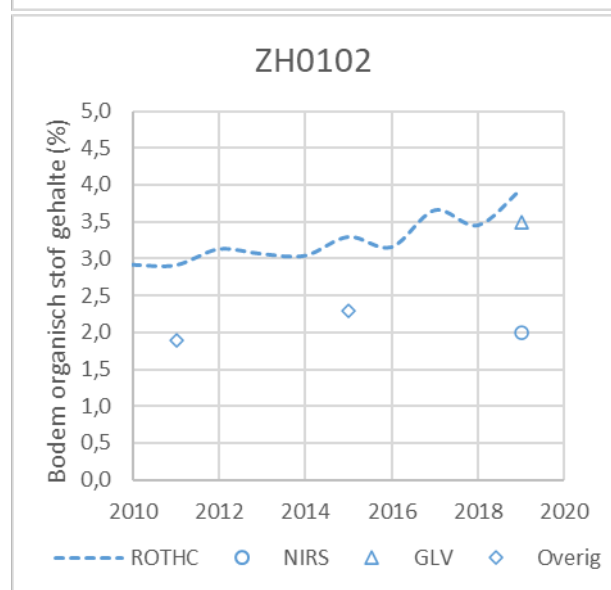
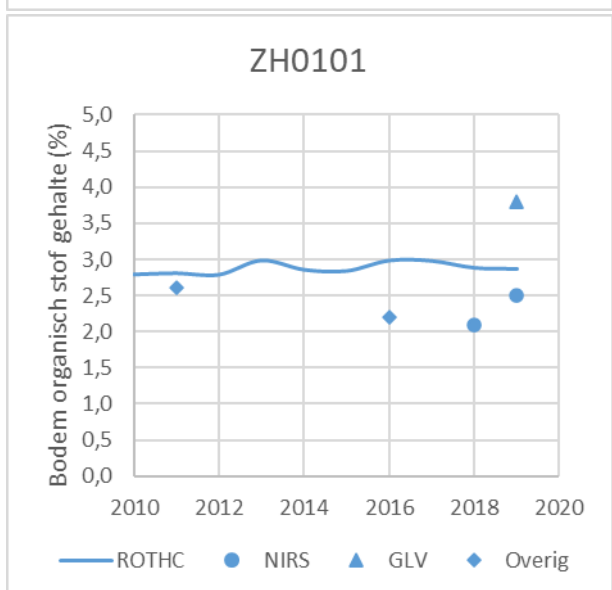
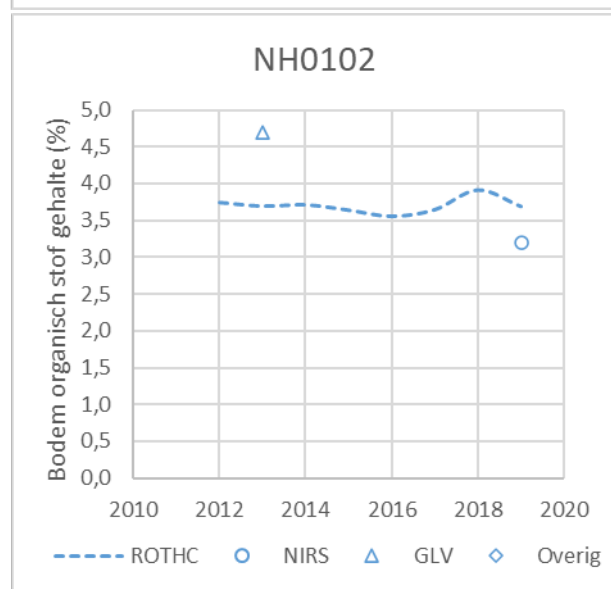
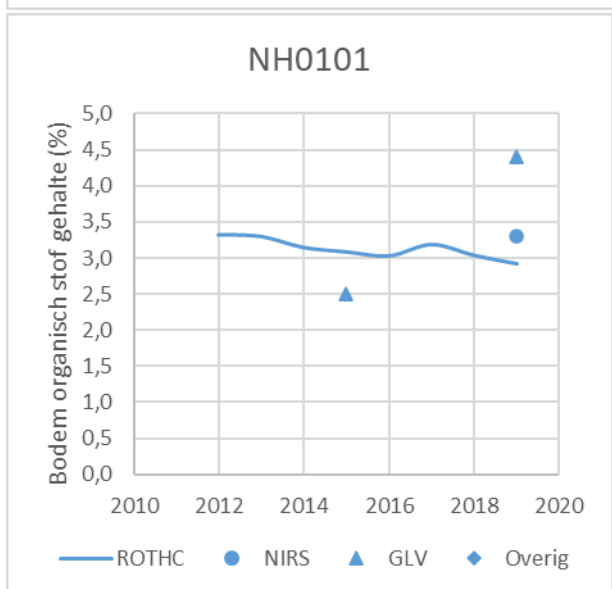
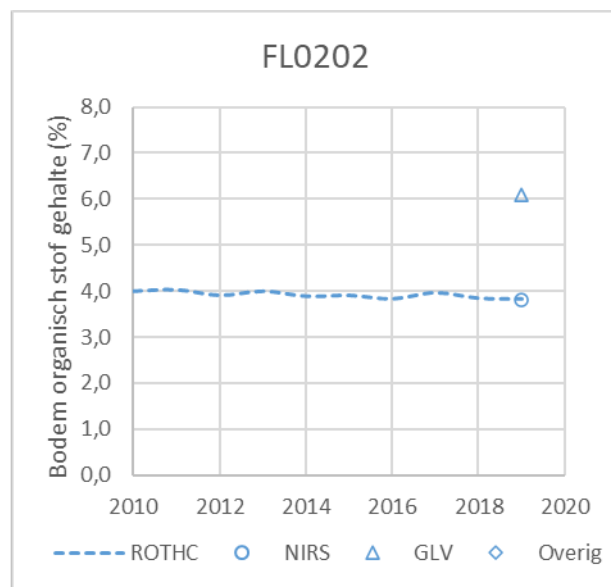
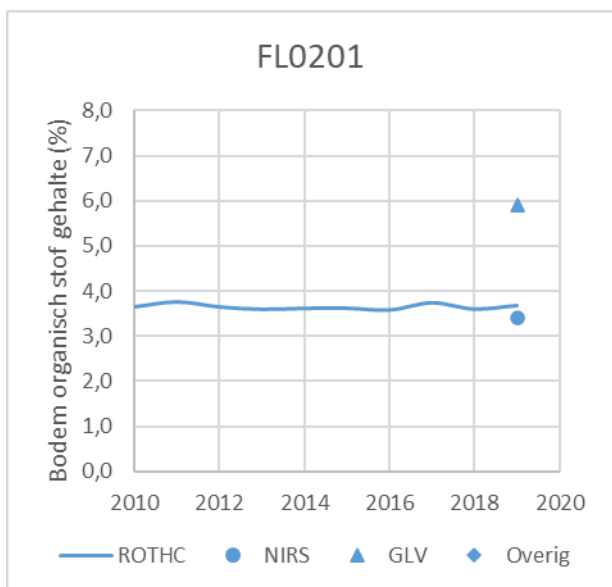


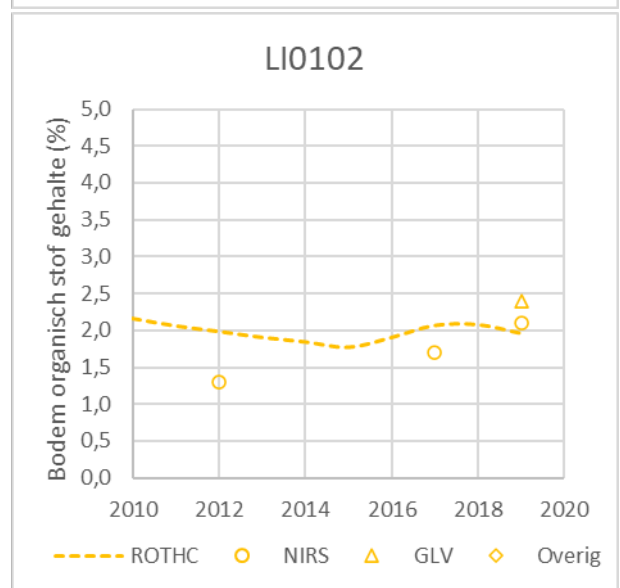
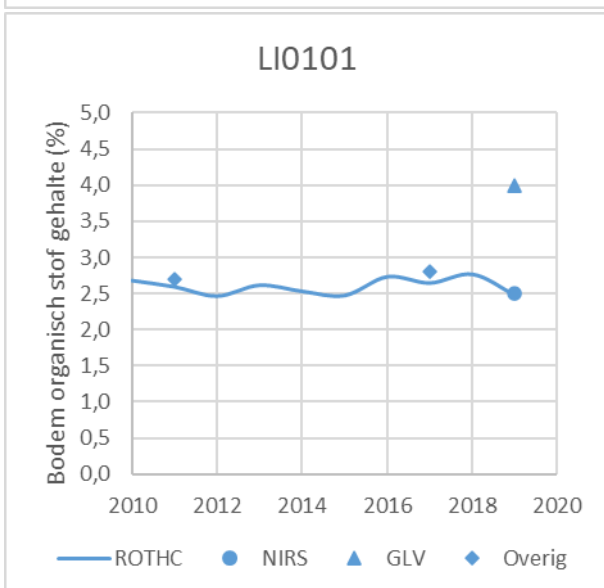
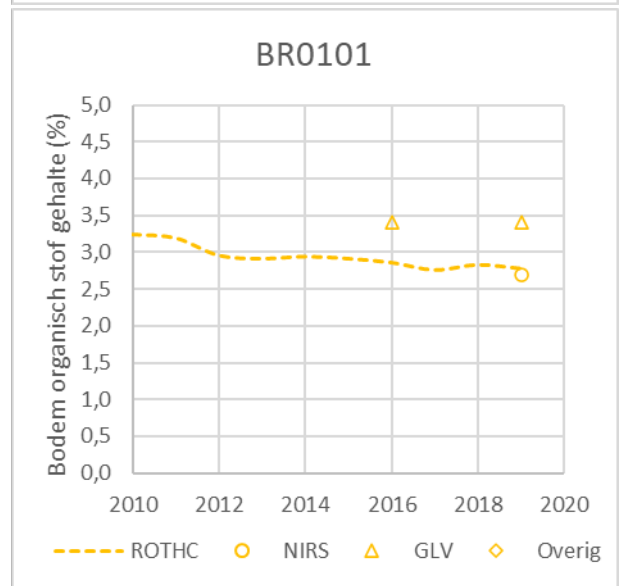
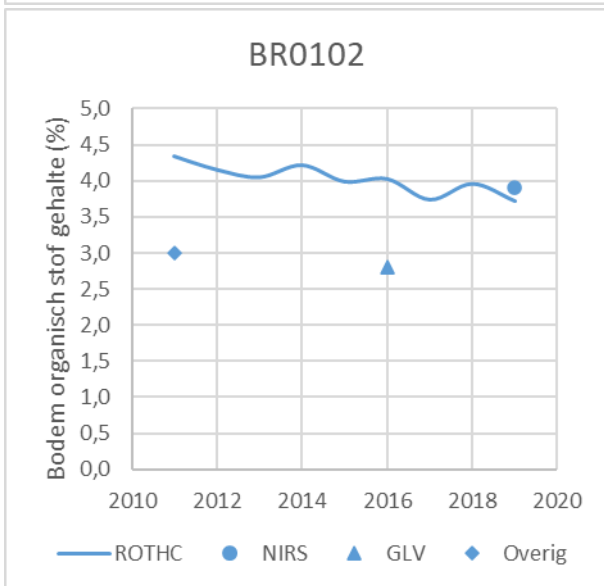
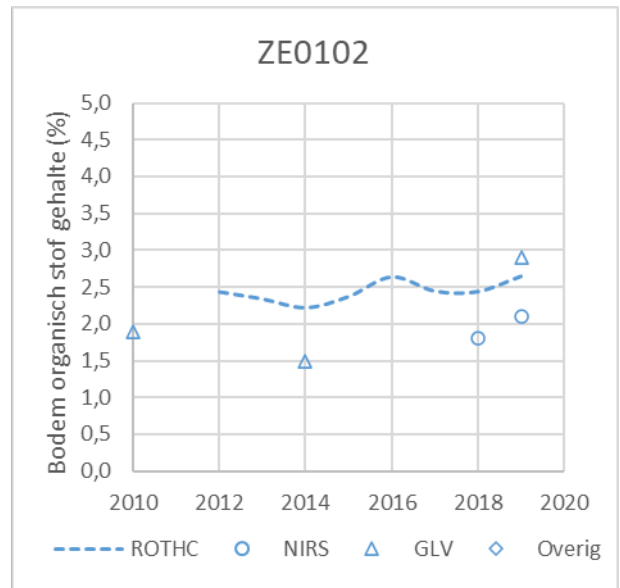
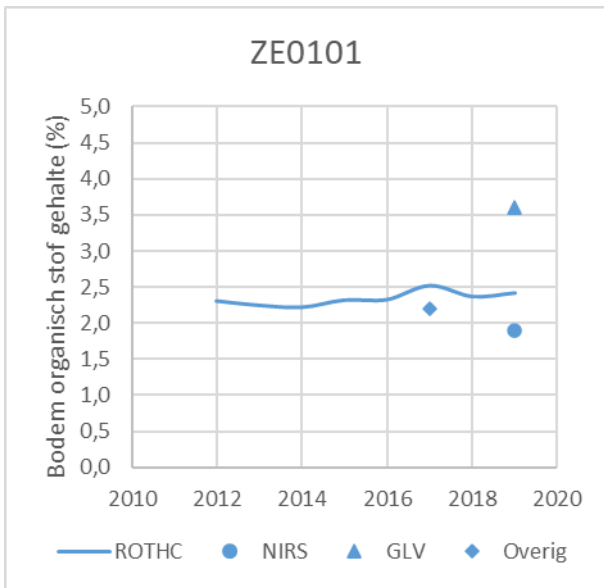
# Bijlage 4 Verloop bodem organisch stofgehalte gemodelleerd met ROTHC

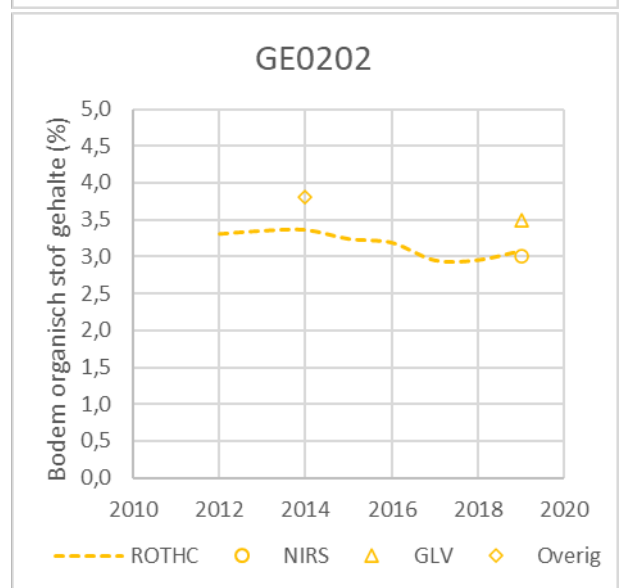
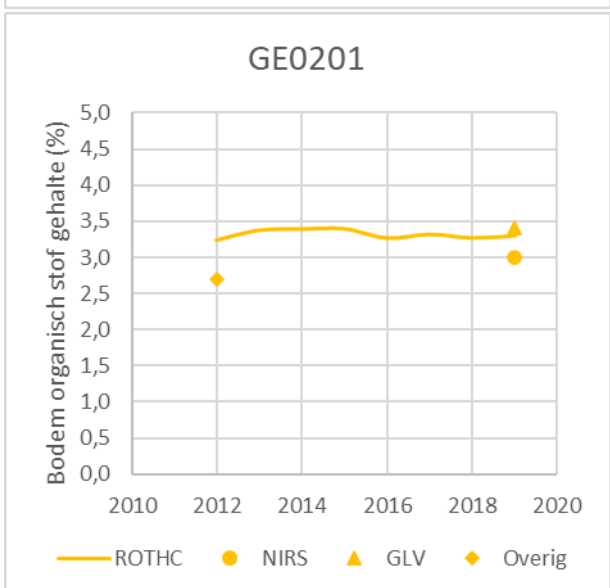
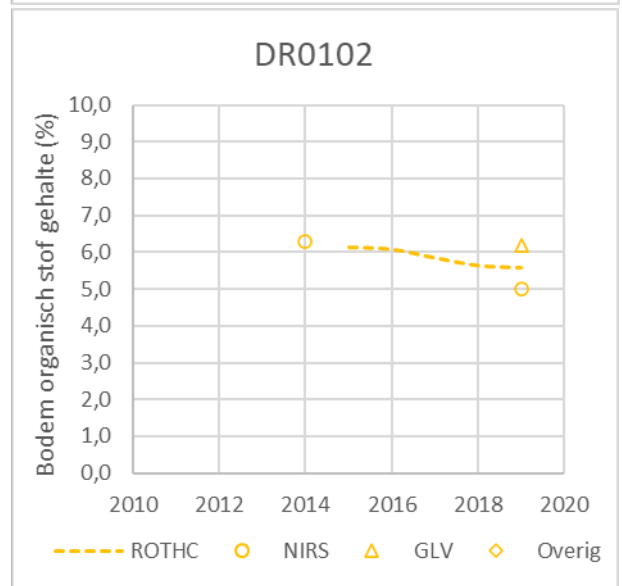
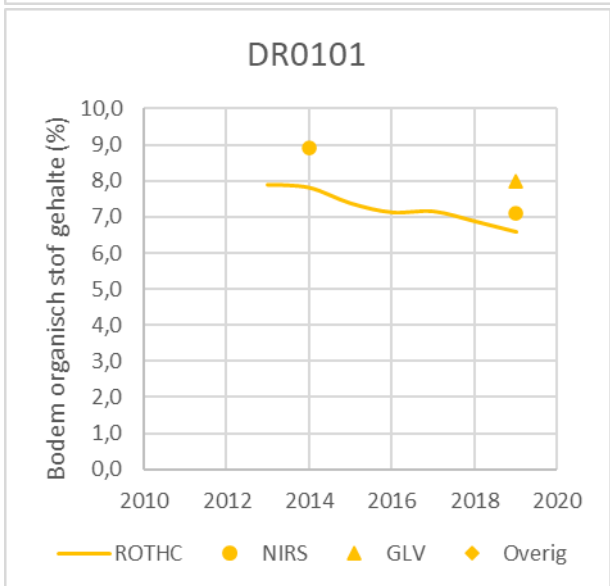
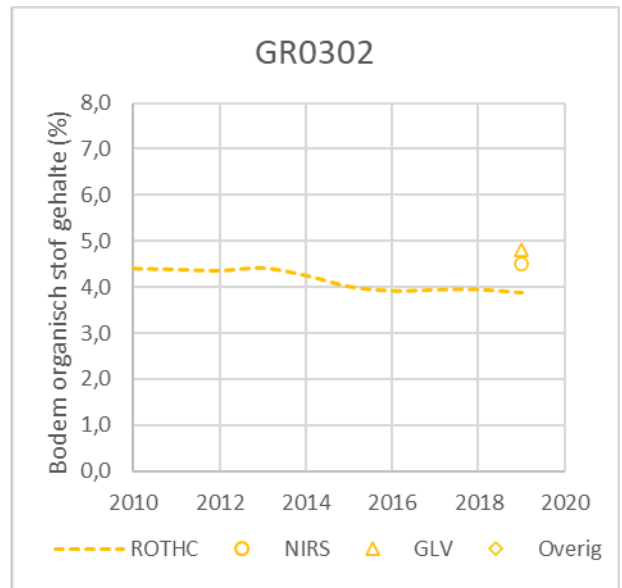
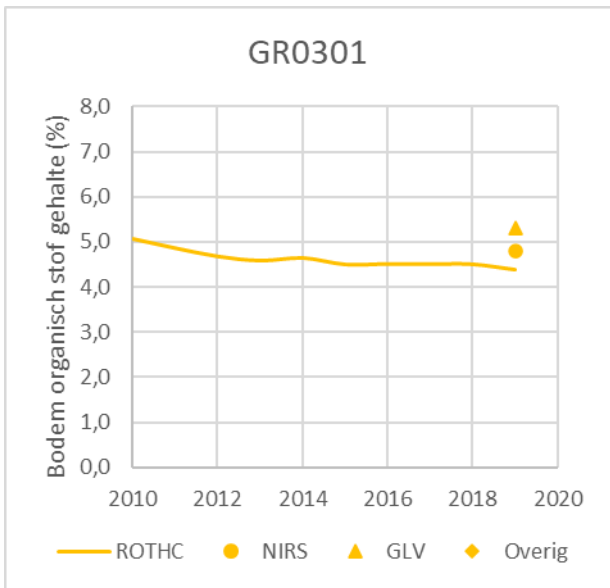
In onderstaande figuren worden de resultaten van de ROTHC modellering gegeven; ook zijn de verschillende gemeten en berekende waarden per perceel opgenomen (NIRS = Near Infra Red Spectroscopie, de standaard methode zoals gepresenteerd in de resultaten; GLV =gloeiverlies; Overig = ongespecificeerd.



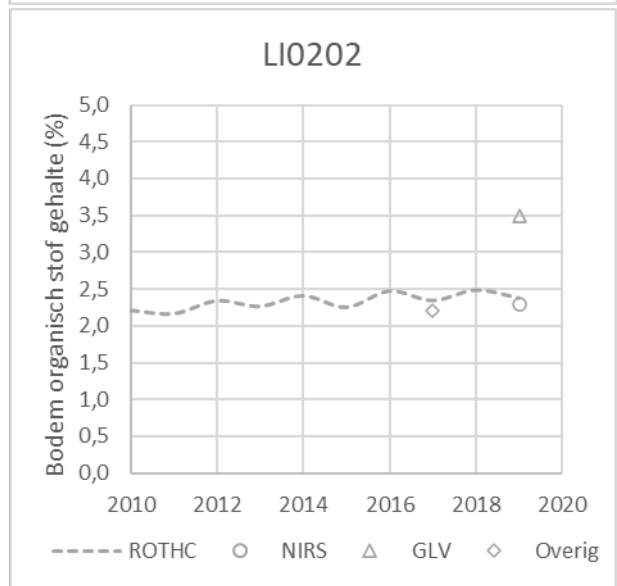
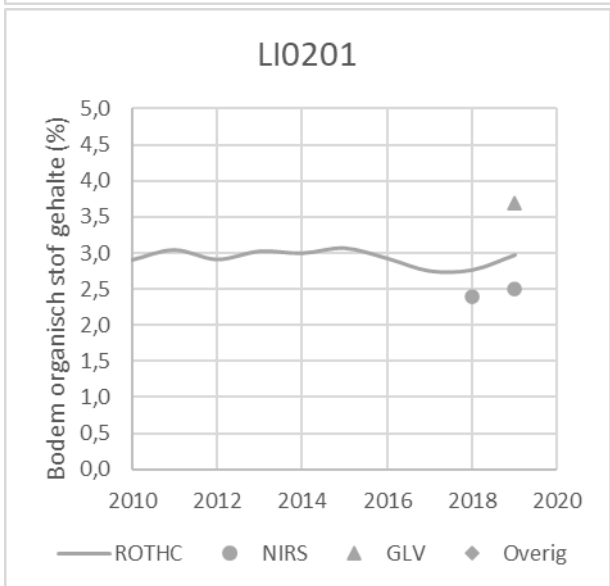
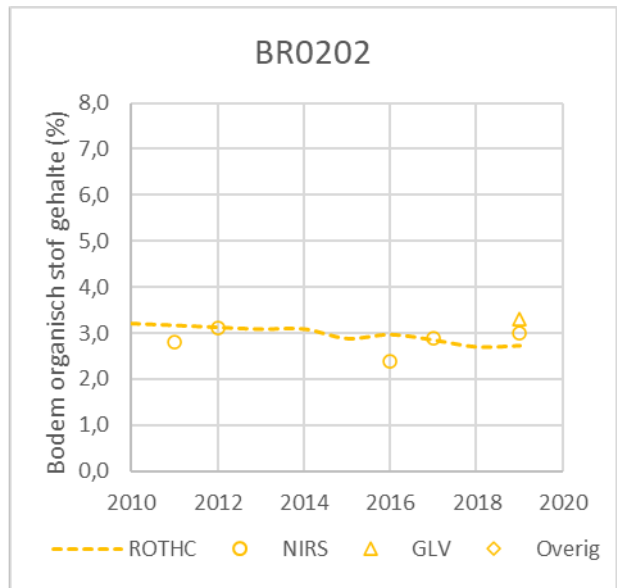
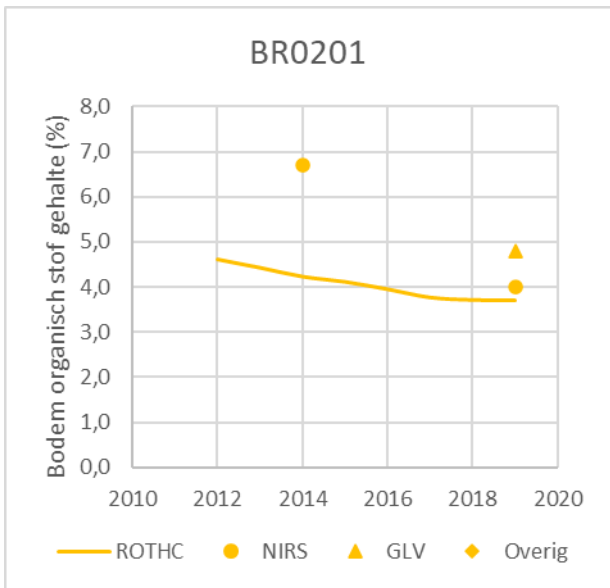














---

Correspondentie adres voor dit  
rapport:

Postbus 430

8200 AK Lelystad

T 0320 29 11 11

[www.wur.nl/plant-research](http://www.wur.nl/plant-research)

Rapport WPR-881

---

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



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



---

Wageningen University & Research

**Open Teelten**

Edelhertweg 1

Postbus 430

8200 AK Lelystad

T (+31)320 29 11 11

**[www.wur.nl/openteelten](http://www.wur.nl/openteelten)**

Rapport WPR-881

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 12.500 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

---