



Scenarioberekeningen met NDICEA

Modeltoepassing in de systeemprouven Bodemkwaliteit op Zand en BASIS

Auteurs | Geert Jan van der Burgt² en Marjoleine Hanegraaf¹

¹ Wageningen University & Research

² SPNA

WPR 880

Scenarioberekeningen met NDICEA

Modeltoepassing in de systeemprouven Bodemkwaliteit op Zand en BASIS

Auteur: Geert Jan van der Burgt² en Marjoleine Hanegraaf¹

1 WUR

2 SPNA

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen PPS Beter Bodembeheer van de topsector Agri & Food (TKI-AF-16064 / BO-56-001-005).

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.

Lelystad, maart 2021



TOPSECTOR
TUINBOUW & UITGANGSMATERIALEN

Van den Burgt, G.J., M.C. Hanegraaf, 2021. Modelleren van stikstof en organische stof met NDICEA; Toepassing op datasets van de systeemproeven Bodemkwaliteit op zand en BASIS. Wageningen Research, Rapport WPR-880.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/546370>

Samenvatting

Een modelleringsstudie is uitgevoerd met het model Ndicea naar de organische stofopbouw en stikstofdynamiek in de langjarige systeemproeven Bodemkwaliteit op Zand en BASIS. Geselecteerde objecten betreffen de maatregelen grondbewerking en aanvoer van organische stof. Vergelijking is gemaakt van de model- en meetresultaten.

Trefwoorden: NDICEA; Vredepeel; BASIS

© 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

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-880

Inhoud

Inhoud

Inhoud	3
Voorwoord	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Beknopte beschrijving van systeemproeven en model	11
2.1 Systeemproof Bodemkwaliteit Zand te Vredepeel	11
2.2 Systeemproof BASIS te Lelystad	12
2.3 Model Ndicea	13
2.3.1 Historie	13
2.3.2 Modelbeschrijving	14
2.4 Vraagstelling	16
3 Toepassing NDICEA op dataset BKZ	17
3.1 Inleiding	17
3.2 Methode	17
3.2.1 Opbouw van de Ndicea perceel scenario's	17
3.2.2 Beoordeling van scenario's	19
3.3 Resultaten en bespreking	20
3.3.1 Scenario's van behandeling zonder compost	20
3.3.2 Scenario's van behandeling met compost	21
3.3.3 Relatie organische stof opbouw en bodem N-totaal opbouw	23
3.4 Discussie	24
3.4.1 N-dynamiek	24
3.4.2 Organische stof dynamiek	25
3.5 Inzichten uit de toepassing van NDICEA voor BKZ	27
4 Toepassing NDICEA op dataset BASIS	28
4.1 Selectie van behandelingen	28
4.2 Methode	28
4.2.1 Opbouw van de Ndicea perceel scenario's	28
4.2.2 Beoordeling van scenario's	29
4.3 Resultaten en bespreking	29
4.3.1 Minerale stikstof	29
4.3.2 Relatie organische stof opbouw en bodem N-totaal opbouw	31
4.4 Discussie	32
4.5 Inzichten uit de toepassing van NDICEA voor BASIS	33
5 Conclusies en aanbevelingen	35
Literatuur	39
Bijlage 1 Bodemparameters die onderdeel zijn van het kalibratieproces	41
Bijlage 2 Figuren Vredepeel, verloop N-mineraal	42

Bijlage 3	Figuren Vredepeel, Organische stof (%); periode 2007-2018	44
Bijlage 4	Figuren Vredepeel, mutaties bodem N-totaal en C/N-ratio	46
Bijlage 5	Figuren BASIS, diverse modeluitkomsten	48

Voorwoord

Dit rapport is tot stand gekomen als onderdeel van de PPS Beter Bodembeheer (Werkpakket 1a 'Organische stof en bemesting'). Het model NDICEA is toegepast op beschikbaar gestelde datasets van de systeemprouven Bodemkwaliteit op zand (BKZ) en BASIS. Een eerdere versie van de resultaten is besproken met direct betrokkenen, waarvoor dank. De verantwoordelijkheid voor de inhoud berust geheel bij de auteurs.

Samenvatting

Effecten van maatregelen om de bodemkwaliteit te verbeteren vergen langjarig onderzoek. Wageningen University and Research heeft daartoe systeemprouven in uitvoering, onder andere Bodemkwaliteit op Zand (BKZ, Vredepeel) en BASIS (Lelystad). Als aanvulling op de statistische analyse van resultaten biedt modellering van de meerjarige datasets mogelijke extra inzichten op. Het model Ndicea is een stikstof en organische stof model voor vollegrondsteelten. Doel van dit rapport was de inzet van het model Ndicea op een selectie van de datasets van BKZ en BASIS.

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag is een selectie gemaakt van maatregelen met bijbehorende behandelingen. Voor BKZ is gekozen voor de maatregelen grondbewerking (ploegen – NKG) en aanvoer van organische stof (laag – hoog). Voor BASIS is gekozen voor de maatregel grondbewerking (ploegen – NKG). Beoordeling van modeluitkomsten vond onder andere plaats op basis van vergelijking tussen kalibratie- en validatiefase waarbij gebruik is gemaakt van het statistische kengetal RMSE. Voorts is een kwalitatieve beoordeling gemaakt van de mate waarin het gemodelleerde N-niveau de veranderingen in de tijd volgt.

De toepassing van Ndicea op de dataset van BKZ heeft beperkt nieuwe inzichten opgeleverd wat betreft de effecten van de geselecteerde maatregelen uit deze systeemprouf. Reden is dat de modelleringen van zowel de bodem organische stof als de stikstofdynamiek te veraf weken van de gemeten waarden en trendlijnen. Voor BASIS bleek het model de verschillen wat betreft bodem totaal-N gehalte tussen ploegen en NKG goed te beschrijven, zij het met een lichte onderschatting. Aanbevelingen zijn gedaan voor de verdere ontwikkeling van Ndicea en het opstellen van een meetplan.

1 Inleiding

Voor het meten van bodemkwaliteit zijn veel parameters beschikbaar. Een van de overeenkomsten tussen die parameters is dat ze veelal langzaam veranderen bij een verandering in maatregelen en/of landgebruik. Voor een gedegen onderzoek is dus een periode van jaren nodig. Dat is gerealiseerd op proefbedrijven van Wageningen University and Research: locatie Vredepeel en locatie Lelystad. Door proeven in herhaling uit te voeren kan een deel van de proefveldvariatie, bemonsteringsvariatie en analysevariatie opgevangen worden en kan een betrouwbare tijdreeks worden opgesteld en statistisch geanalyseerd worden. Daarnaast bestaat de mogelijkheid om met een model de bodemontwikkeling te beschrijven en het model zo mogelijk te valideren. Dit rapport gaat over de inzet van de App Ndicea op een selectie van de plots van zowel Vredepeel als Lelystad.

Ndicea (Nitrogen Dynamics In Crop rotations in Ecological Agriculture; van der Burgt et al 2006) is een stikstof en organische stof model voor vollegrondsteelten. Enkele outputs van de App zijn het niveau minerale stikstof in bouwvoor en tweede bodemlaag, de ontwikkeling van de organische stof in de bouwvoor en het verlies van stikstof door uitspoeling beneden de bewortelbare zone. Aanvoer en afbraak van organische stof, met de daaraan verbonden stikstof, is de kern van de berekening. Het berekende stikstofniveau in de grond en de verliezen naar de ondergrond zijn afgeleide resultaten op basis van diverse bodemparameters, gewasopname van stikstof, denitrificatie en waterhuishouding. De vraag bij deze werkzaamheden is of de inzet van Ndicea aanvullende informatie kan verschaffen die ondersteunend werkt voor de analyse van bodem- en systeemeigenschappen op basis van gemeten data. Daarvoor zal eerst aannemelijk moeten worden gemaakt of de App de waarnemingen kwantitatief redelijk beschrijft. Dat is dan mede afhankelijk van de kwaliteit van de input voor het model, en die was op beide locaties betrouwbaar. Als de App betrouwbaar blijkt kan kwalitatief beoordeeld worden of het iets toevoegt aan het inzicht hoe de verschillende systemen functioneren.

Dit rapport bestaat verder uit de volgende hoofdstukken.

- Het tweede hoofdstuk omschrijft op hoofdlijnen de systeemprouven die in deel 2 en deel 3 verder worden uitgewerkt, omschrijft het model Ndicea en geeft de vraagstelling voor dit onderzoek weer.
- Het derde hoofdstuk gaat over BKZ te Vredepeel: de proefopzet en de geselecteerde plots voor dit onderzoek; de resultaten en de bespreking ervan, en de conclusies voor dit deel.
- Het vierde hoofdstuk gaat over BASIS te Lelystad. De opbouw van de delen twee en drie verloopt grotendeels parallel.
- Het vijfde hoofdstuk betreft de vraag of de inzet van de App Ndicea toegevoegde waarde heeft, refererend aan beide onderzoeklocaties. Dit kan beschouwd worden als een concluderend hoofdstuk, inclusief aanbevelingen.

2 Beknopte beschrijving van systeemproeven en model

2.1 Systeemproef Bodemkwaliteit Zand te Vredepeel

In 2011 is op de WUR-locatie Vredepeel (gelegen in het zuidelijk zandgebied) het project "Bodemkwaliteit op zand" gestart (De Haan et al., 2018a, 2018b). Het project is een zgn. bedrijfssystemenonderzoek dat tot doel heeft om op semi-praktijkschaal een systeem met een dusdanige combinatie van strategieën en maatregelen te ontwerpen, testen en verbeteren zodat aan de gewenste doelstellingen voldaan kan worden. Deze doelstellingen liggen zowel op maatschappelijk vlak, zoals het verminderen van emissies, als op economisch vlak gericht op het realiseren van een economisch gezonde bedrijfsvoering. De opzet is dynamisch, de gehanteerde strategieën en maatregelen worden elk jaar geëvalueerd en zo nodig bijgesteld.

Het bedrijfssystemenonderzoek op Vredepeel is gestart in 1989 met projecten die vooral waren gericht op het voldoen aan de EU-nitraatrichtlijn in de akkerbouw en open teelten in het zuidelijk zandgebied. Daarvoor was het bedrijfssystemenonderzoek tussen 1989 en 2000 voornamelijk gericht op geïntegreerde gewasbescherming in de akkerbouw en minder op stikstofuitspoeling en het verbeteren van nutriëntenefficiëntie.

Proeflocatie Vredepeel ligt op een Peel-ontginningsgrond in het zuidoostelijk zandgebied van Nederland ca. 8 km ten westen van Venray. Deze regio heeft de hoogste uitspoeling van nitraat en fosfaat in Nederland. De bodem wordt geclassificeerd als een veldpodzol met een bouwvoor van 30-40 cm, daaronder een onregelmatige overgangslaag van 10-15 cm en daaronder het oorspronkelijke dekzand. De grond op de proefboerderij is in de mestwetgeving gekenmerkt als uitspoelingsgevoelig (GHG \geq 70 cm en een GLG \geq 120) en representatief voor zandgronden in Oost Brabant en Noord Limburg. De bodemtextuur van de bouwvoor is 93% matig fijn zand, 4,5% leem en 2,2% klei en een organische stofgehalte wat varieert van 3,4 tot 4,2% gemiddeld over de jaren 2011-2016 tussen de verschillende percelen, met een gemiddelde waarde over alle percelen over de periode 2011-2016 van 3,7% (zie paragraaf 3.3). Ook onder de bouwvoor wordt de bodemtextuur gedomineerd door matig fijn zand. Het zandpakket is 2-12 m dik met leem- en veenlenzen. De laag daaronder bestaat uit grof zand, grind en klei- en leemlenzen.

In de percelen van de systemen STANDAARD en LAAG in dit onderzoek zitten geen klei- of veenlenzen binnen twee meter onder maaiveld. De ondergrond is verdicht met dichtheden van rond de 1700 kg m⁻³. De percelen op het bedrijf zijn goed ontwaterd, ze zijn allen gedraineerd op een afstand van 6 meter en een diepte van 60-80 cm. Het Peelkanaal ten westen van de Proeflocatie heeft invloed op de ontwatering en grondwaterstanden van de proeflocatie, met name in de percelen die direct aan het kanaal grenzen. De grondwaterstand in de winter ligt gemiddeld tussen de 80 en 120 cm.

Het onderzoek in BKZ omvatte twee gangbare bedrijfssystemen en één biologisch bedrijfssysteem. De gangbare systemen zijn genoemd STANDAARD en LAAG. Beide systemen hebben eenzelfde vruchtwisseling. In STANDAARD is een gemiddelde aanvoer van organische stof nagestreefd zoals ook in de gangbare omliggende praktijk gedaan wordt. De gewassen zijn bemest met drijfmest en

kunstmest binnen de stikstof- en fosfaatgebruiksnormen. Hiermee is de verwachting dat de bodemvruchtbaarheid en het mineralisatieniveau gehandhaafd blijven. In LAAG is een lage aanvoer van organische stof nagestreefd door (nagenoeg) geen organische stof met dierlijke mest aan te voeren. De gewassen zijn bemest met kunstmest, mineralenconcentraten en spuiwater binnen de stikstof- en fosfaatgebruiksnormen. Alleen mineralenconcentraat bevat nog een zeer kleine hoeveelheid organische stof. Er is gestreefd naar een gelijke nutriëntenaanvoer voor beide systemen. In beide systemen is er naast aanvoer van organische stof uit mest, aanvoer van organische stof met gewasresten en groenbemesters.

Beide bedrijfssystemen omvatten elk zes percelen (voor de gewassen van de 6-jarige vruchtwisseling, zie 2.1.4) welke om en om naast elkaar liggen. De helft van elk perceel is geploegd en de andere helft is niet-kerend bewerkt. In deze rapportage wordt niet ingegaan op de verschillen in grondbewerking. Alle gegevens in deze rapportage zijn gemeten in de geploegde delen van het perceel. Op twee percelen van elk systeem (18.1 en 27.1 STANDAARD en 18.2 en 27.2 LAAG) zijn 4 plots aangelegd waar jaarlijks met compost extra organische stof wordt aangevoerd.

Het biologische systeem heeft eenzelfde opzet als de twee gangbare systemen; dezelfde vruchtwisseling, vergelijkende ploegen en niet-kerende grondbewerking op alle 6 de percelen en 2 van de 6 percelen (34.1 en 34.2) bevatten compostplots. Het biologische systeem heeft een SKAL certificering vanaf 2003. In het systeem worden geen gewasbeschermingsmiddelen en kunstmest gebruikt. Het systeem ligt sinds 2000 vanwege de SKAL-certificering in één blok op de huidige plaats. De omschakeling heeft tussen 2000 en 2003 plaatsgevonden.

2.2 Systeemproef BASIS te Lelystad

Binnen BASIS wordt het effect van gereduceerde grondbewerking op bodemkwaliteit van zavel/kleigrond gevolgd binnen een gangbaar en biologische akkerbouw bedrijfssysteem. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een systeem van onbereden beddenteelt (vaste rijpaden).

Op het proefbedrijf van WUR Open Teelten in Lelystad is eind 2008 een proefveld ingericht op de Proeftuin voor Agroecologie en Technologie (52° 32'N, 5° 34'E) . Deze locatie stond voorheen bekend als de Professor Broekemahoeve. De proef is zowel op het reguliere (gangbare) deel van het bedrijf als op het biologisch bedrijf (in 2004 omgeschakeld naar biologische teeltwijze) aangelegd.

De grondsoort is zeeklei met gemiddeld 61% zand, 22% silt en 17% klei een percentage lutum tussen 14 en 18% . Het organisch stofgehalte is gemiddeld 3,6% op de biologische percelen en 3,1% op de gangbare percelen. Op 30 tot 45 cm is er een overgang naar een bodemlaag van zwaardere klei afgewisseld met zandlaagjes. Op 50 tot 65 cm begint een zand ondergrond.

Voor het gangbare deel van de proef is gekozen voor een vruchtwisseling afgestemd op wat er in de regio op vergelijkbare grondsoort voorkomt. De gangbare vruchtwisseling is: Pootaardappel-suikerbiet-wintergraan of zomergerst-zaaiui/conservenerwt. De eerste 2 rotaties werden 1 op 4 zaaiuien geteeld. Dit is omgezet in 1 op 8 afgewisseld met conservenerwten. Er is geen dierlijke mest aangevoerd. Behalve na de teelt van suikerbieten is het mogelijk om groenbemesters in te zaaien. Getracht wordt om na suikerbieten een wintergraan in te zaaien maar de omstandigheden laten dat niet altijd toe. Stro van het graan wordt verhakseld.

De biologische vruchtwisseling is afgeleid van die welke in het bedrijfssystemenonderzoek op het OBS Nagele werd gehanteerd. De biologische vruchtwisseling is als volgt: consumptieaardappel-grasklavermengsel-kool-zomertarwe of haver-peen-peulvrucht. In de eerste jaren was de peulvrucht een mengteelt van zomertarwe en veldboon. Later zijn daarvoor stamslabonen in de plaats gekomen. Na peen en kool is het niet altijd mogelijk om een groenbemester in te zaaien. Er wordt gebruik gemaakt van onderzaai (klaver in zomertarwe) of groenbemester na de oogst van een gewas. Als bemesting wordt er gebruik gemaakt van biologische vaste rundveemest en drijfmest en incidenteel van gedroogde mestkorrels. De vlinderbloemigen in het bouwplan zorgen voor een aanzienlijk deel van de stikstofaanvoer in het systeem.

Als grondbewerking wordt standaard grondbewerking ploegen (25 cm) vergeleken met twee systemen van gereduceerde grondbewerking. In de gereduceerde grondbewerking wordt de grond tot een diepte van 12 cm of 15 cm (ruggenteelt) losgemaakt. Aangezien er met een systeem van onbereden beddenteelt wordt gewerkt is er in de gereduceerde grondbewerkingssystemen een onderscheid gemaakt in het wel of niet losmaken van de grond na de oogst. In dit rapport wordt de standaard grondbewerking ploegen vergeleken met gereduceerde grondbewerking zonder losmaken na de oogst ofwel minimale grondbewerking (NKG).

Het systeem van onbereden bedden bestaat uit vast rijpaden met een spoorbreedte van 315 cm. Aangezien niet alle teelten vanaf de vaste rijpaden geoogst kunnen worden is er sprake van seizoens onbereden beddenteelt.

Binnen de proef ligt een deelproef waarin organische stofaanvoer middels groenbemesters en bedrijfsinterne (maaimeststof) en bedrijfsexterne (compost) organische stofbronnen wordt gemonitord. Deze objecten zijn in dit onderzoek niet meegenomen.

2.3 Model Ndicea

2.3.1 Historie

Ndicea staat voor Nitrogen Dynamics In Crop rotations in Ecological Agriculture en is ontwikkeld in de jaren '80 van de vorige eeuw binnen Wageningen Universiteit (G. Oomen, F. Habets). De drijfveer was destijds tweeledig. Als eerste inzicht bieden in de lange termijn aspecten van de stikstofdynamiek in verband met het relatief grote belang daarvan binnen de biologische landbouw ten opzichte van de gangbare landbouw met de inzet van snelwerkende kunstmest-stikstof. Als tweede het model zo ontwerpen dat het gebruikt kan worden op basis van een keukentafelgesprek met een teler en er geen ingewikkelde of dure aanvullende metingen nodig zijn.

Sinds midden jaren '90 heeft het Louis Bolk Instituut het model ingezet bij een hele reeks van nationale en internationale projecten en daarbinnen het model verder ontwikkeld tot de huidige versie 6. Die is vrij beschikbaar op internet (www.ndicea.nl) . Het betreft een App die op de eigen pc (geen Apple-versie beschikbaar) geïnstalleerd moet worden. In 2006 is de wetenschappelijke beschrijving en de validatie van het model door LBI en WUR gepubliceerd (Burgt et al., 2006).

Op moment van publicatie van dit rapport wordt door Louis Bolk Instituut en Wageningen University and Research gewerkt aan een vernieuwde versie 7, die web-based zal zijn en weer een aantal verbeteringen en aanvullen zal meekrijgen. De verwachte datum van beschikbaarheid is maart 2022.

2.3.2 Modelbeschrijving

Ndicea 6 rekt op basis van tijdstappen van één dag en is vooral gericht op stikstofdynamiek in relatie tot organische stofdynamiek. Fosfaat en kalium zitten wel in de mineralenbalans, maar uitsluitend op basis van aanvoer / afvoer, niet dynamisch zoals dat wel het geval is voor stikstof, de organische stof afbraak en de stikstofopname door gewassen. Voor deze dynamische berekeningen zijn submodules nodig:

- Bodem en water. Deze submodule is voornamelijk gebaseerd data van de Staring reeks (watervolume bij verzadiging, pF verloop ten opzichte van het watervolume) (Wösten et al 2001). Er zijn twee bodemlagen waarvan de dikte kan worden ingesteld en waarvan de grondsoort kan worden gekozen. Ook een routine voor capillaire opstijging is hierin opgenomen.
- Afbraak organische stof en het vrijkomen van stikstof daarbij: mineralisatie van stikstof. Dit is gebaseerd op het werk van Janssen (1984, 1996), aangevuld door Yang (1996). Alle organische stof wordt afgebroken volgens één algoritme waarin (virtuele) leeftijd de variabele is. De afbraak is verder afhankelijk van temperatuur, pH en vochtgehalte. Negatieve mineralisatie oftewel immobilisatie van stikstof is onderdeel hiervan.
- Gewasopname. De submodule van de gewasopname van stikstof is doel-georiënteerd, dat wil zeggen gericht op de uiteindelijke totaalopname door het gewas. Door het invullen (of het gebruik van default data) van opbrengst van product en gewasrest en de stikstofgehalte daarvan ligt de totale N-opname vast. Dat is in tegenstelling tot veel modellen die de N-opname per dag uitrekenen aan de hand van diverse parameters van die dag zoals temperatuur, bodemvocht en potentiële transpiratie. De totale N-opname wordt in Ndicea rekenkundig verdeeld over de groeiperiode waarbij de transpiratie van het gewas (iedere dag verschillend) de verdeling bepaalt. De transpiratie wordt bepaald door de data van de evapotranspiratie van een nabij weerstation en een gewasafhankelijke correctiefactor.
- Denitrificatie wordt berekend aan de hand van het nitraatniveau in de bouwvoor, de omzet van organische stof aldaar als maat voor de bodemleven activiteit, en het vochtgehalte.
- Vervluchtiging van stikstof bij het uitbrengen van mest (zowel organische mest als kunstmest) wordt op een eenvoudige manier geschat. Bij organische mest zijn de bepalende factoren het minerale stikstof gehalte van de mest en de mate waarin het emissiearm is toegepast. Bij kunstmest gaat het om het verschil tussen nitraat, ammonium en ureum als ingrediënt, het wel of niet inwerken van de mest en de regenval of irrigatie in de dagen na toediening.

Er zijn inputgegevens nodig van de regio (N-depositie, neerslag, temperatuur, evapotranspiratie volgens Makkink (1957)), bodem (o.a. grondsoort, organische stof gehalte, grondwaterstand), gewassen in hun volgorde op een perceel (zaai- en oogstdatum, opbrengst) en bemesting (tijdstip, aard, hoeveelheid). Voor bodem, gewassen en bemesting zijn in het model databases meegegeven die default data bevatten. De gebruiker kan die aanpassen. De regiogegevens worden meegeleverd (verleden) of actueel opgehaald (heden). Alle andere gegevens kunnen in een keukentafelgesprek verzameld worden of worden ingeschat met behulp van defaultwaarden als registratie ontbreekt of het geheugen het laat afweten.

Een scenario gaat altijd over één perceel, dus één fysieke eenheid, waarop in de jaren na elkaar gewassen worden verbouwd. Op die manier kunnen effecten van handelingen in jaar 1, 2 etc doorberekend worden naar de stikstof- en organische stofdynamiek van jaar 2,3,4 etc. Een scenario begint met een zekere hoeveelheid bodem organische stof, uitgedrukt in %. Dat wordt op basis van een default bulkdichtheid van 1,35 omgerekend naar kilo's, en die hoeveelheid wordt

verdeeld over drie pools bodem organische stof: oud, jong, vers, met een bijbehorende Initial Age (IAge, uit de algoritmes van Janssen) en N-gehalte. Dat is een door de makers gekozen default verdeling. Er zitten daarmee twee bronnen van een foute beginsituatie ingebakken, wat onvermijdelijk is. Het organische stof gehalte is een meting met een vrij grote foutenmarge en de verdeling over de drie pools is weliswaar goed doordacht maar toch willekeurig en voor alle scenario's identiek. Met dit in gedachten wordt zeer sterk aanbevolen een scenario te laten bestaan uit ten minste drie jaar: twee jaar voorgeschiedenis en het jaar waar het om gaat. Daarmee wordt de onzekerheid die gekoppeld is aan de beginkarakteristieken van de bodem organische stof verplaatst naar twee jaar eerder, en is het effect van een eventuele beginfout, op 1 januari van het eerste jaar, in jaar 3 aanzienlijk kleiner.

Er zijn in de huidige versie vier manieren om het model te toetsen:

- N-mineraal metingen in bouwvoor en tweede bodemlaag: eenvoudig en goedkoop en voldoende betrouwbaar. Dit is tot nu toe altijd het middel geweest voor modelbeoordeling en validatie.
- Bodem organische stof metingen in de bouwvoor: vrij grote foutenmarge ten opzichte van een mogelijk verwachte verandering van het gehalte, en veranderingen in het gehalte treden slechts langzaam op. De organische stof kan dus alleen als toets ingezet worden in een langjarig scenario met jaarlijkse metingen, bij voorkeur in een proef met herhalingen.
- pF meting in de bouwvoor: tot op heden nog nooit een validatie uitgevoerd.
- Uitspoelingscijfers: Deze zijn moeilijk te toetsen aan berekende verliezen van stikstof uit de 2e bodemlaag

In de publicatie van Burgt et al (2006) wordt voor de beoordeling van het modelresultaat op basis van de vergelijking tussen gemeten en berekende N-mineraal niveau in de grond de RMSE voorgesteld (Wallach and Goffinet 1989) met een grenswaarde van 20 kg N ha⁻¹: een scenario met een RMSE ≤ 20 wordt gezien als een betrouwbare weergave van de werkelijkheid.

De app Ndicea kent een aantal bodem-gerelateerde parameters die nauwelijks of niet meetbaar zijn. Het model bevat een kalibratie-procedure. Daarin wordt volgens de algoritmes van Price (1979) een geselecteerde set van die bodem-gerelateerde modelparameters iteratief gefit op een zo klein mogelijk verschil tussen bijvoorbeeld gemeten en berekende N-mineraal niveaus. Zo kan de modeluitkomst 'verbeterd' worden in die zin dat meting en berekening dichter bij elkaar komen te liggen. Bij een losstaand scenario is dat het eindpunt: het modelresultaat past na kalibratie beter bij de gemeten waarden, maar er heeft verder geen enkele toets of validatie plaatsgevonden. Of dit de werkelijkheid beter beschrijft dan bij gebruik van de oorspronkelijke default parameter waarden kan echter niet op voorhand gezegd worden.

Indien er meerdere scenario's zijn op eenzelfde grondslag en er een vergelijkbaar landbouwsysteem aanwezig is, zoals in dit rapport, kun je de parameterwaarden van de verschillende scenario's (plots) na kalibreren met elkaar vergelijken. Als de richting van de verandering van waarde bij de verschillende scenario's goed overeenkomt geeft dat meer vertrouwen in de kwaliteit van de gekalibreerde set dan wanneer het alle kanten op springt. Als er daarnaast ook nog de mogelijkheid is om de gekalibreerde waarden te valideren aan een vervolg-dataset van het zelfde veld kan er nog een stap in betrouwbaarheid gezet worden. Dat is in dit onderzoek bij de dataset van Vredepeel tot op zekere hoogte het geval. Voor de praktijk is het echter aantrekkelijker om een 'redelijk' modelresultaat op basis van de default instellingen niet te gaan 'verbeteren' door middel van kalibreren. Dat vergroot het vertrouwen in het model en de bruikbaarheid in de praktijk waar geen reeksen van metingen beschikbaar zijn voor een toetsing.

2.4 Vraagstelling

Van de twee proeflocaties en proefvelden zijn uitgebreide en betrouwbare datasets beschikbaar van zowel teeltgegevens (gewas- en bemestingsgegevens) als resultaatgegevens van gewas (opbrengst, stikstofgehaltes product en gewasrest, soms ook van groenbemesters), N-mineraal bouwvoor en volgende bodemlaag, N-concentratie bovenste grondwater, organische stof gehalte. In de systeemprouven worden onder andere de effecten van de maatregelen zoals grondbewerking (ploegen vs. NKG) en aanvoer van organische stof getoetst. NKG wordt in de proeven uitgevoerd als minimale grondbewerking. In dit rapport worden de termen NKG en 'minimaal' door elkaar gebruikt. Op basis van meetresultaten kan voor beide systeemprouven al een gedegen analyse plaatsvinden. Voor Bodemkwaliteit Zand (Vredepeel) is dat gepubliceerd (De Haan et al., 2018a, 2018b), voor BASIS nog niet.

De vraag in relatie tot het gebruik van Ndicea was:

"Geeft het gebruik van Ndicea additionele inzichten in de relatie tussen genomen maatregelen enerzijds en de stikstof- en organische stof dynamiek anderzijds die niet verkregen zijn bij de statische analyse van de beschikbare datasets?"

Hiervoor zijn twee deelstappen nodig:

- Ndicea scenario's opbouwen en de betrouwbaarheid ervan bepalen.
- Beschouwing van de dynamiek van stikstof en organische stof in vergelijking met de dataset.

3 Toepassing NDICEA op dataset BKZ

3.1 Inleiding

In het bedrijfssysteemonderzoek Bodemkwaliteit op zand op WUR-proeflocatie Vredepeel worden twee gangbare bedrijfssystemen en een biologisch bedrijfssysteem naast elkaar gemonitord en, voor zover mogelijk, met elkaar vergeleken. Er is een gangbaar systeem met een gebruikelijke organische stofaanvoer met gebruik van drijfmest (STANDAARD) en een systeem met een lage organische stofaanvoer met gebruik van meststoffen zonder of met een laag gehalte organische stof (LAAG). Daarbinnen heeft zowel op gangbaar als op biologisch sinds 2011 op subplots een additionele gift van compost plaatsgevonden. Dit zijn intussen datasets van 2005 tot 2019 waarover al gepubliceerd is (onder andere De Haan et al., 2018a, 2018b).

Begrip van de processen van organische stof en stikstof heeft zijn weerslag gevonden in modellen. Andersom kunnen die modellen, mits gevalideerd, helpen om inzicht te verdiepen en om toekomstgerichte scenariostudies te doen. Die laatste mogelijkheid was de aanleiding om in 2012, nadat de additionele compostgiften op gang waren gekomen, de app Ndicea (Burgt et al, 2006) te gebruiken om te verkennen wat de effecten zouden zijn van die additionele giften op lange termijn. Daarbij ging het om organische stof opbouw, stikstofdynamiek en verliezen van stikstof door uitspoeling, bij normale grondbewerking en bij niet-kerende grondbewerking NKG. Om te kijken of de app de organische stof en stikstof dynamiek adequaat weergeeft zijn destijds gegevens gebruikt van 2005-2010, één volledige vruchtwisselingscyclus. De stikstofdynamiek bleek voldoende goed door de app weergegeven te worden. Wat de bodem organische stof betreft is een tijdvak van zes jaar onvoldoende om trends betrouwbaar te kunnen meten en kon dus geen toets van de App plaatsvinden (Hospers-Brands en Van der Burgt 2013).

In het kader van het project PPS Beter Bodembeheer is besloten Ndicea opnieuw in te zetten en te kijken of een langere periode nog tot nieuwe inzichten leidt. Daarvoor is de beschikbare dataset van een aantal percelen gebruikt tot en met 2018. Daarover gaat deze rapportage. De setting van proefbedrijf Vredepeel en de historie van de percelen is beschreven door de Haan et al., 2018a en 2018b.

3.2 Methode

3.2.1 Opbouw van de Ndicea perceel scenario's

Er is gebruik gemaakt van de geregistreerde gegevens van acht percelen (tabel 1) waarbij alle percelen een variant hebben met additionele compostgift. Dit zijn de zelfde percelen als waar Hospers-Brands en Van der Burgt (2013) mee gewerkt hebben. Het gaat dan om algemene bodemgegevens, zaai- en oogstdatum gewas en groenbemester, opbrengst, stikstofinhoud van product (altijd) en

groenbemester (vaak), bemesting datum, hoeveelheid en inhoudsstoffen, berekening datum en hoeveelheid, N-min metingen 0-30 cm (voorjaar), 0-30 en 30-60 cm (na oogst en begin uitspoeling), bodem organische stof metingen 0-30 cm eens per jaar. De methodiek van de metingen staat beschreven in de Haan et al., 2018a en 2018b.

Tabel 1 Geselecteerde behandelingen voor NDICEA¹

Systeem	Veld nr	Grondbewerking	Organische stof aanvoer
Gangbaar	18.1A	Ploegen	Standaard
Gangbaar	18.2A	NKG	Laag
Gangbaar	27.1A	NKG	Standaard
Gangbaar	27.2A	Ploegen	Laag
Bio	34.1A	Ploegen	nvt
Bio	34.1B	NKG	nvt
Bio	34.2A	NKG	nvt
Bio	34.2B	Ploegen	nvt

¹ Elk perceel heeft een variant met compost.

De reguliere metingen N-min in voorjaar en een of twee keer in najaar zijn bepaald door Eurofins. In enkele gevallen is er gedurende de teelt (vooral prei) aanvullend N-min onderzoek gedaan met de Nitracheck methode. De uitslagen van dit beperkte aantal metingen vielen vaak ver of heel ver buiten de (model)verwachtingen met als extreem een maximaal gemeten waarde van 446 kg beschikbare stikstof per hectare (preiteelt, perceel 18.2, 21 augustus 2018). Dat is een hoeveelheid die niet bij benadering bij elkaar geredeneerd kan worden op basis van bestaande kennis. Vanwege de afwijkende meettechniek en de zware impact die deze metingen zouden hebben op de beoordeling van de modelresultaten is besloten de Nitracheck metingen niet te gebruiken.

De bodem organische stof is jaarlijks in het najaar gemeten. Bij het starten van de compost-varianten is besloten de eerste jaren niet separaat te meten omdat effecten pas op langere termijn verwacht werden. Dat betekent dat voor de compost-varianten pas twee metingen beschikbaar waren: 2017 en 2018. De tussenliggende jaren 2011-2016 ontbreken. Er waren uit het voorgaande onderzoek Ndicea scenario's beschikbaar over het tijdvak 2005-2010. Er zijn nieuwe scenario's opgebouwd over het tijdvak 2007-2018: de app heeft een begrenzing van 12 jaar. Er is dus een grote maar geen volledige overlap met het eerdere werk. Bij de rapportage over 2005-2010 is gebruik gemaakt van scenario's die via kalibreren geoptimaliseerd zijn. Die procedure van kalibreren levert een set van 11 bodemparameter waarden op die verschillend zijn voor elk perceel.

Voor de analyse van het tijdvak 2007-2018 is gebruik gemaakt van de gemiddelde waarde van die parameters voor Bio ploegen, Bio NKG, Gangbaar Ploegen en Gangbaar NKG, dus vier sets (tabel 2). Deze zijn gebruikt in de nieuwe scenario's van 2007-2018. Daarmee krijgt deze periode tot op zekere hoogte het karakter van een validatie-fase. De 11 betrokken bodemparameters staan toegelicht in bijlage 1. De aansluiting tussen de modelresultaten van 2005-2010 en die van 2007-2018 is gedaan door de scenario's van het eerste tijdvak te verkorten tot 2005-2006, de karakteristieken van de bodem organische stof 31 december 2006 te bepalen (drie pools met elk de eigenschappen Initial Age, hoeveelheid, N-gehalte) en deze negen waarden te gebruiken als startwaarden van de bodem organische stof voor de scenario's 2007-2018.

Tabel 2. Gebruikte waarden van 11 bodem-gerelateerde parameters afkomstig uit kalibratie van de scenario's 2005-2010

									IAge	IAge	IAge	
		Afbr	N-uitsp	N-uitsp 2	C/N	A/D	Nbind	Den	Humus	Jong	Vers	MWO
Default		1,00 / 0,85	0,85	0,85	6,50	0,40	5	0,10	24,00	4,00	1,40	0,75
Gemid. Gangbaar	Ploegen	0,76	1,02	1,10	6,72	0,36	14	0,08	23,55	9,82	2,00	0,79
Gemid. Gangbaar	NKG	0,72	0,99	1,11	6,81	0,37	13	0,09	22,80	9,94	2,10	0,79
Gemid. Bio	Ploegen	0,86	0,83	1,09	6,47	0,39	10	0,11	23,19	9,42	2,05	0,75
Gemid. Bio	NKG	0,73	0,79	1,10	6,93	0,37	10	0,11	21,84	7,95	2,00	0,78

3.2.2 Beoordeling van scenario's

De zeggingskracht van Ndicea scenario's kan op verschillende manieren in beeld worden gebracht. In dit onderzoek zijn de volgende methoden toegepast. Op de mogelijkheden en beperkingen van deze beoordelingscriteria wordt in de discussie nader ingegaan.

- Vergelijking van kalibratie-fase (2005-2010) met validatie-fase (2007-2018). Dit is vanwege de overlap geen zuiver onderscheid tussen kalibratie en validatie.
- RMSE van gemeten N-min ten opzichte van gesimuleerde waarde (Wallach and Goffinet 1989). Hiervoor is door Burgt et al 2006 een grenswaarde van 20 kg N per hectare voorgesteld. Bij een RMSE hoger dan 20 wordt de modellering als onvoldoende betrouwbaar bestempeld.
- De gemiddelde richting van de afwijking tussen gemeten en gemodelleerde waarde N-min. Is er sprake van een structurele over- of onderschatting van het niveau beschikbare stikstof? Deze beoordeling is onafhankelijk van de RMSE.
- Aantal keren dat een gewas volgens de modellering onvoldoende stikstof ter beschikking zou hebben gehad om de veronderstelde (en in dit geval: gemeten) opbrengst te kunnen halen. Deze beoordeling is niet onafhankelijk van de voorgaande.
- De mate waarin het gemodelleerde N-min niveau de veranderingen in de tijd (hoger, lager) van de metingen volgt. Dit is een kwalitatieve beoordeling.
- De mate waarin de gemodelleerde waarde van de bodem organische stof overeenkomt met de metingen. In tegenstelling tot de Nmin met de RMSE is hiervoor geen standaard procedure.

3.3 Resultaten en bespreking

3.3.1 Scenario's van behandeling zonder compost

In tabel 3 zijn de verschillende resultaten en beoordelingen van de Ndicea scenario's van de percelen zonder compost samengevat.

Tabel 3. Kwantitatieve beoordeling van de scenario's

				A	B	C	D	E	F	G	H	I
				n	RMSE	RMSE			# Gewassen	Nmin	Vershil o.s.	Vershil o.s.
Systeem	perceel	Grondbew.	OS aanvoer	05-'10	'07-'18	# Sim>Obs	# Sim<Obs		N-tekort	Patroon	App	Trendlijn metingen
GB	18.1A	Ploegen	Standaard	50	16	25	16	34	8/20		0,08	0,42
GB	27.2A	Ploegen	Laag	44	24	23	17	27	7/18		-0,01	0,01
GB	18.2A	NKG	Laag	49	19	16	21	27	9/20		-0,08	0,23
GB	27.1A	NKG	Standaard	44	25	19	20	24	6/18		0,12	-0,06
Bio	34.1A	Ploegen	nvt	47	18	20	14	33	8/22		0,04	0,79
Bio	34.2B	Ploegen	nvt	42	9	16	9	33	7/20		0,10	0,84
Bio	34.1B	NKG	nvt	40	18	17	14	27	6/22		0,11	0,79
Bio	34.2A	NKG	nvt	34	13	15	9	27	7/20		0,15	0,92

G: Visuele (kwalitatieve) beoordeling of het patroon van gemeten N-min goed gevolgd wordt door de simulatie. Groen = goed, oranje = matig, rood = slecht

Toelichting op tabel 3:

A: aantal metingen N-min waarop de RMSE 2007-2018 is gebaseerd

B-C: RMSE van eerste en tweede tijdvak. In rood waarden > 20

D-E: Aantal waarden N-min gesimuleerd hoger respectievelijk lager dan gemeten

F: Aantal gewassen met gesimuleerd N-tekort / totaal aantal gewassen (inclusief groenbemesters)

G: Visuele beoordeling of het patroon van gemeten N-min goed gevolgd wordt door de simulatie

H: Verschil eind minus begin % o.s in Ndicea

I: Verschil eind minus begin % o.s. lineaire trendlijn van de metingen (n = 12)

De kolommen A t/m G zijn afgeleid uit de data achter de grafiek 'verloop N-mineraal' in Ndicea, bijlage 2. Kolom H is afgeleid uit de organische stof grafiek van Ndicea. Kolom I is afgeleid uit de trendlijn van de organische stof uit de metingen gedurende 12 jaar. Grafische weergave van H en I: bijlage 3.

De RMSE voor N-min over 2007-2018 is vergeleken met die van 2005-2010 in drie gevallen minder goed geworden en in vijf gevallen beter, maar de verschillen zijn beperkt. Over beide periodes voldoen twee scenario's niet aan de eis RMSE < 20, waarvan één scenario in beide periodes (rode getallen in tabel 3).

Bij alle scenario's is het aantal keren dat de N-min overschat wordt aanzienlijk kleiner dan het aantal keren dat het onderschat wordt. De berekening onderschat dus de beschikbare stikstof.

Deze onderschatting wordt ook zichtbaar in het aantal gewassen en groenbemesters dat volgens de berekening onvoldoende stikstof beschikbaar zou hebben gehad terwijl de opbrengst en de N-inhoud gemeten is en dus betrouwbare input vormt.

Het patroon van toename en afname van het N-mineraal niveau in de bouwvoor wordt vrij goed gevolgd door de berekening. De meeste meetmomenten liggen in het vroege voorjaar en het najaar, vrijwel nooit gedurende de teelt. Het gaat meestal om lage waarden N-mineraal. De zeggingskracht zou veel groter zijn als er ook metingen gedurende de teelt beschikbaar waren; vandaar de kleur oranje in plaats van groen.

Het gemeten verloop van de bodem organische stof (n = 12 voor elk scenario) wordt in geen van de scenario's adequaat beschreven. Dit heeft vergaande consequenties die in de discussie verder worden besproken. Met één uitzondering laat de trendlijn van de organische stof een groei van het organische stof gehalte 0-30 cm zien, waarbij Bio aanzienlijk sterker stijgt dan GB. De modellering blijft daar meestal ver bij achter en geeft in twee scenario's zelfs een afname. Een verschil tussen Ploegen en NKG wordt niet duidelijk zichtbaar in de modellering maar ook niet eenduidig in de metingen. Het verschil in organische stof aanvoer bij de gangbare percelen komt in de modellering wel tevoorschijn, maar in de metingen niet eenduidig.

Ter toetsing is de standaard berekening van de organische stof balans uitgevoerd voor de gangbare percelen op basis van de kengetallen uit het Handboek bodem en bemesting (<https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting.html>) en de vuistregel van 2% afbraak. Dit is dus een berekening op basis van tabelwaarden, niet gemeten waarden. Indien gemeten productiewaarden gebruikt worden met naar rato omrekening naar EOS is de toevoer rond 2000 kg EOS per hectare per jaar (De Haan et al., 2018a) aanzienlijk lager dus. Het is op zich al interessant dat deze twee werkwijzen zo'n groot verschil in resultaat opleveren, wat vraagtekens oproept bij de bruikbaarheid van de 'standaard EOS berekening' op basis van tabelwaarden. Bij de vuistregel afbraak en een bulkdichtheid van 1,35 zou 3000 kg EOS aanvoer resulteren in een evenwicht organische stof gehalte van 3,6% . De modellering komt daar ook ongeveer op uit (bijlage 3, figuren perceel 18.1A en 27.1A). De gemeten waarden bodem organische stof laten echter in beide percelen een doorgaande stijging zien op basis van een lineaire trendlijn. Een zelfde berekening voor Bio levert 4,0% als evenwichtssituatie op. Voor 34.2B klopt dat aardig met de modellering, voor 34.1A niet.

Dit resulteert in aanvoer van bijna 3000 kg Effectieve Organische Stof, mede door het gebruik van rundvee drijfmest. Bij de vuistregel afbraak en een bulkdichtheid van 1,35 zou dit resulteren in een evenwicht organische stof gehalte van 3,6% . De modellering komt daar ook ongeveer op uit (bijlage 3, figuren perceel 18.1A en 27.1A). De gemeten waarden laten echter in beide percelen een doorgaande stijging zien op basis van een lineaire trendlijn. Een zelfde berekening voor Bio levert 4,0% als evenwichtssituatie op. Voor 34.2B klopt dat aardig met de modellering, voor 34.1A niet.

3.3.2 Scenario's van behandeling met compost

Binnen de modelberekening is het effect van de toediening van compost op de bodem organische stof in een vergelijking met een perceel zonder compost verregaand onafhankelijk van de verdere agronomische parameters van de (verder identieke) scenario's. Er kunnen twee verschillen verwacht worden:

- Bij toepassing van NKG wordt verondersteld dat de algemene afbraak van organische stof vermindert waardoor de groei van het bodem organische stof gehalte sneller zal verlopen dan bij ploegen (Lesschen et al., 2012).
- Door composttoediening zou de gewasgroei beter kunnen verlopen. Dat resulteert in hogere opbrengsten en daarmee grotere hoeveelheden (wel of niet gemeten) gewasresten en groenbemesters.

De opbrengsten zijn gemeten, de bodem organische stof is zoals gezegd na 2010 pas weer gemeten in 2017 en 2018. Toetsing op basis van twee metingen is uitsluitend indicatief.

In tabel 4 staat de vergelijking tussen de behandelingen zonder en met compost weergegeven.

Tabel 4. Resultaten Ndicea modellering zonder en met composttoediening.

				A	B	C	D	
				zonder	met		verschil	
Systeem	perceel	Grondbew.	OS aanvoer	compost	compost	verschil	gemiddeld	Grondbew.
GB	18.1A	Ploegen	Standaard	0,08	0,42	0,34		
GB	27.2A	Ploegen	Laag	-0,01	0,36	0,37	0,36	Ploegen
GB	18.2A	NKG	Laag	-0,08	0,25	0,33		
GB	27.1A	NKG	Standaard	0,12	0,47	0,35	0,34	NKG
Bio	34.1A	Ploegen	nvt	0,04	0,23	0,31		
Bio	34.2B	Ploegen	nvt	0,10	0,36	0,42	0,36	Ploegen
Bio	34.1B	NKG	nvt	0,11	0,32	0,37		
Bio	34.2A	NKG	nvt	0,15	0,38	0,43	0,40	NKG

Toelichting op tabel 4:

A: Verschil % OS 2018 minus 2007 in Ndicea zonder compost

B: Verschil % OS 2018 minus 2007 in Ndicea met compost

C: A minus B

D: Gemiddelde van twee grondbewerkingsvarianten

De toediening van compost sinds 2011 leidt tot een forse berekende toename (kolom C) van het organische stof gehalte in de laag 0-30 cm van gemiddeld 0,37 % bij een aangenomen bulkdichtheid van 1,35 kg/l (default waarde Ndicea). Dat komt overeen met 15 ton organische stof per hectare. Een ruwe berekening door een exponentiele functie af te leiden uit de cijfers van het handboek bodem en bemesting (EOS 161 kg per ton, na 5 jaar nog 122 kg, na 10 jaar nog 101 kg over) resulteert in een toename van 14 ton. Dynamische modelberekening en statische 'tabel' berekening liggen dus zeer dicht bij elkaar.

Een verschil tussen Ploegen en NKG komt bij Bio zwak tot uitdrukking, bij GB eerder omgekeerd. Bij Bio gaat het om een berekening met n=2, bij Gangbaar om n=1, dus veel betekenis kan er niet aan worden toegekend.

Bij een overigens gelijke dataset zou het resultaat van de toevoer van compost onafhankelijk zijn van de overige aanvoer van organische stof (Gangbaar Standaard versus Gangbaar Laag). Er zijn echter wel degelijk verschillen ontstaan in opbrengst, en na de kalibratie is de gemiddelde waarde van Ploegen en NKG genomen voor verdere analyse, niet de gemiddelde waarde van OS toevoer Standaard en Laag. Bij de discussie wordt hierop verder ingegaan.

De gemeten organische stof percentages in 2017 en 2018 staan in tabel 5.

Tabel 5. Gemeten en gemodelleerde waarden o.s.

				A	B	C	D
				Meting	Meting	Meting	Modellering
				zonder	met	zonder	met
				compost	compost	compost	compost
Systeem	perceel	Grondbew.	OS aanvoer	Gemidd.	Gemidd.	Trendlijn	2018
GB	18.1A	Ploegen	Standaard	4,4	4,5	4,3	4,1
GB	27.2A	Ploegen	Laag	3,9	4,3	4,2	4,0
GB	18.2A	NKG	Laag	3,8	4,1	3,7	4,0
GB	27.1A	NKG	Standaard	3,9	4,2	4,0	4,0
Bio	34.1A	Ploegen	nvt	4,7	5,0	4,7	4,8
Bio	34.2B	Ploegen	nvt	4,2	4,2	4,4	4,3
Bio	34.1B	NKG	nvt	4,9	5,6	4,8	4,8
Bio	34.2A	NKG	nvt	4,1	4,3	4,3	4,3
GB	Gemiddeld			4,0	4,2	4,0	4,0
Bio	Gemiddeld			4,5	4,7	4,5	4,5
Gemiddeld				4,2	4,5	4,3	4,2

Toelichting op tabel 5:

A en B: gemiddelde waarde meting 2017 en 2018

C: eindwaarde 2018 van de trendlijn van de metingen o.s. % zonder compost

D: eindwaarde 2018 van gemodelleerde niveau o.s. % met compost

Er zijn voor de periode na 2010 twee metingen beschikbaar. Vanwege de meetonnauwkeurigheid van de meting wordt de gemiddelde waarde van 2017-2018 als uitgangspunt genomen (kolom A en B). De trendlijn zonder compost (kolom C) zou naar verwachting in de buurt moeten komen van de meting zonder compost (kolom A) en lager dan de meting met compost (kolom B). Dat is met uitzondering van 34.2B en 34.2A (in rood) inderdaad het geval. Gemiddeld is het gemeten verschil tussen 2017 en 2018 (kolom B minus kolom A) 0,3% oftewel 11 ton o.s. per hectare. Dat komt in de buurt van de eerder berekende 14 tot 15 ton. De modellering met compost blijft over het algemeen achter bij zowel de meting 2018 met compost als de trendlijn zonder compost. Hier lijkt dus sprake van een aanzienlijke onderschatting door het model van de opbouw van organische stof zoals ook al in tabel 3 is getoond.

3.3.3 Relatie organische stof opbouw en bodem N-totaal opbouw

Organische stof en stikstof zijn nauw met elkaar verweven. Daarom is ook gekeken naar de data van totaal stikstof in de bodem en naar de ontwikkeling van de C/N verhouding. Dat staat samengevat in tabel 6. Hierbij is in systeem Gangbaar gekeken naar standaard versus lage organische stof aanvoer, niet naar Ploegen versus NKG. Per behandeling gaat het om $n = 2$, en de metingen zelf hebben ook een foutenmarge, dus de cijfers zijn uitsluitend indicatief.

Tabel 6. *Toename gemeten N-totaal 2012-2018: trendlijn met intercept en helling (kg/ha); gemeten C/N (idem), gemeten OS toename 2007-2018 (trendlijn) in %; alles zonder composttoediening.*

			A	B	C	D
			Meting	Meting	Modellering	Meting
			7 jaar	7 jaar	12 jaar	12 jaar
Systeem	Grondbew.	OS aanvoer	N-totaal	N-totaal	N toename/jr	OS toename
			intercept	helling	kg	%
GB	-	Standaard	4396	86	18	0,18
GB	-	Laag	4258	46	-5	0,12
Bio	Ploegen	-	4973	93	23	0,82
Blo	NKG	-	4802	114	24	0,86
			C/N	C/N		
GB	-	Standaard	20,6	0,22		
GB	-	Laag	20,3	0,01		
Bio	Ploegen	-	19,8	-0,31		
Blo	NKG	-	19,6	-0,21		

In bijlage 4 staan de grafieken weergegeven van N-totaal en C/N. De uitgangssituatie in 2012 laat in Bio een grotere hoeveelheid N-totaal zien dan in GB (kolom A). De gemeten toename van stikstof per jaar (kolom B) loopt in GB en in Bio afzonderlijk bekeken grotendeels vergelijkbaar met de gemeten OS toename (kolom D). Tussen GB en Bio zit echter een groot hiaat: bij Bio is de OS toename veel sterker dan de stikstof toename. De gemodelleerde N-toename per jaar (kolom C) volgt de gemeten mutatie niet. Gemiddeld wordt de N-toename in het model zwaar onderschat, net als de OS toename (tabel 3). De C/N in 2012 lijkt voor GB iets hoger dan voor Bio (kolom A) en de mutatie in de tijd lijkt tegengesteld (kolom B).

Een vergelijkbare benadering is toegepast voor het verschil tussen wel/niet composttoediening. Daarbij is, net als bij de organische stof, gewerkt met gemiddelde gemeten waarden van 2017 en 2018. Dit leverde op geen enkele manier interpreteerbare getallen op (data niet getoond).

3.4 Discussie

3.4.1 N-dynamiek

Bij een vluchtige blik op de resultaten kan de indruk ontstaan dat de toetsing van de modellering aan de gemeten N-mineraal waarden redelijk voldoet en dat de toetsing aan de organische stof metingen tekort schiet (tabel 3). Dat is echter te eenvoudig. Als de organische stof dynamiek onvoldoende nauwkeurig in beeld wordt gebracht heeft dat verregaande gevolgen voor de stikstofdynamiek.

Kort door de bocht gaat het om het volgende. Het over de acht scenario's gemiddelde verschil tussen de gemodelleerde en de gemeten (in dit geval: trendlijn) organische stof ontwikkeling in 12 jaar is 0,46% (tabel 3, kolom H en I). Dat komt bij een bulkdichtheid van de grond van 1,41kg/ (Visser et al, 2014) neer op 19.458 kg. Bij een C-gehalte van 58% en een C/N = 20 van de organische stof (tabel 6) is dat equivalent aan 47 kg stikstof die jaarlijks zou worden vastgelegd. Dat is iets meer dan de helft van wat de metingen (7 jaar) laten zien (tabel 6, bijlage 4). Een verklaring voor deze

discrepancie is niet zo maar te geven, behalve een mix van meetonnauwkeurigheden, en niet-lineair verloop van OS-toename en/of N-toename en een flinke mutatie in C/N die echter niet gemeten is. En een belangrijke vraag daarbij is: waar komt al die stikstof vandaan die blijkbaar in de bodem organische stof is vastgelegd?

De voorlopige conclusie is: de stikstofdynamiek in de modellering klopt niet. Het grote aantal gewassen dat volgens de berekening onvoldoende stikstof ter beschikking heeft duidt daar ook op (tabel 3, kolom F). De beoordeling op basis van de RMSE van de N-min lijkt redelijk evenals die van de visuele beoordeling, maar ook hier is meer aan de hand. De metingen hebben vrijwel allemaal plaatsgevonden in het vroege voorjaar of in het najaar, na oogst of bij begin uitspoeling. Het zijn vrijwel zonder uitzonderingen lage waarden. Het najaar- en winter seizoen heeft in het algemeen, en zeker op zandgrond, door neerslagoverschotten het karakter van een 'reset': de N-min gaat altijd naar een zeer laag niveau. Een lage RMSE is snel gescoord als quasi los van de behandeling de N-min in 0-30 cm altijd wel ergens tussen 0 en 30 kg/ha ligt (bijlage 2). Kortom: vanwege het ontbreken van metingen gedurende met seizoen is de RMSE in dit geval eigenlijk geen geschikt middel voor beoordeling van de simulatie.

3.4.2 Organische stof dynamiek

In tabel 3 vallen de grote verschillen op in OS bij de GB percelen; er valt geen lijn uit te halen. Bij Bio laat perceel 34.2 wel, maar 34.1 geen extra toename van de organische stof zien bij NKG vergeleken met Ploegen.

Kijkend naar het verloop van de metingen zelf (bijlage 3) valt het grillige verloop in de tijd op. Dat wordt voor een deel veroorzaakt omdat in de doorlopende meetreeks organische stof vaak de NIRS methode is gehanteerd maar soms de gloeiverlies methode. Dat geeft sprongen. Ook de meetnauwkeurigheid speelt een rol. De routinemetingen van Eurofins wat betreft organische koolstof en organische stof hebben, bij een organische koolstofmeting van 1,0% of hoger, een foutenmarge van 5% aan beide zijden (mondelijke mededeling K. Brotsma, Eurofins Wageningen). Deze marge staat weergegeven in de grafieken van bijlage 3.

Grote stijgingen in het organische stof gehalte op jaarbasis zijn alleen mogelijk na een grote toediening van organische stof. Grote dalingen zijn onmogelijk. Met dit gegeven en de marge van +/- 5% bij ieder meting in gedachte kan naar de grafieken van bijlage 3 gekeken worden. De daar aanwezige sprongen zijn dusdanig dat er een verklaring gezocht zou moeten worden. Dat zit dan in bemonsteringsfouten, procedurefouten zoals verwisseling van monsters of lang niet-gekoeld bewaren, procedurefouten bij het schrijven van dit rapport, wijzigingen in protocollen of analysemethodieken en/of in een groter dan veronderstelde analyse-onnauwkeurigheid. Daar kan deze dataset geen licht op werpen. Wel staat vast dat het verloop in de tijd van metingen zoals in bijvoorbeeld perceel 27.1A geen getrouwe weergave van de werkelijkheid kan zijn. Ook een zeer plotselinge stijging zoals in perceel 34.1B tussen 2014 en 2015 is volgens de huidige inzichten niet mogelijk. Dit bevestigt dat een losse meting van het organische stof gehalte volgens de hier toegepaste routine-procedure nooit een betrouwbaar beeld kan geven van het werkelijke gehalte aan organische stof. De combinatie van mogelijke fouten leidt tot een aanzienlijk grotere onzekerheid dan 5% naar boven en beneden. Meetreeksen zoals hier met continue reeksen van 12 jaarlijkse metingen het geval is bieden wel richting maar lijken ook in de onderhavige analyse van de cijfers soms problematisch

Bij een substantiële verandering van de agronomie heeft, volgens de huidige kennis, een bodem veel tijd nodig om het organische stof gehalte op een nieuw evenwichtsniveau te brengen. Behalve in het geval van de additionele compostgiften lijkt er op Vredepeel geen sprake van een enorme verandering in landgebruik voorafgaand aan 2005. In een beperkt tijdvak (enkele jaren) is een lineaire regressie passend. Bij langere tijdvakken zou een exponentiële regressielijn meer voor de hand liggen. In dit geval gaat het om twaalf jaar. Voor de volledigheid is dit verkend door van de meetreeksen organische stof niet alleen de lineaire trendlijn op te stellen maar ook een exponentiële trendlijn. Dit leverde geen enkele verbetering op (data niet getoond).

Zowel metingen als de trendlijn van de organische stof eindigen op een hoger niveau dan de modellering. Berekend volgens de standaard methode van de organische stof balans zouden de gangbare percelen met standaard toevoer van organische stof toegroeien naar 3,6% (zie paragraaf 3.1). Deze methodiek kent geen expliciete 'inerte' organische stof. Ndicea veronderstelt in deze scenario's een hoeveelheid inerte organische stof van rond 1,7% en rond 2% actieve organische stof. Met deze uitgangspunten is het organische stof gehalte in perceel 18.1A en 27.2A (Gangbaar, Standaard o.s. aanvoer) modelmatig vrijwel stabiel. Dat zou inhouden dat de afbraak van de actieve organische stof hoger ligt dan de 2% van de vuistregel. Meer dan dit constateren kan niet. Onderzoek naar de verschillende pools organische stof en hun bijbehorende afbraakarakteristiek zou tot verder inzicht kunnen leiden.

Ndicea is in deze dataset niet in staat gebleken de organische stof dynamiek adequaat te beschrijven. De vraag is of andere modellen dat dan wel kunnen. In een vergelijking tussen Ndicea en RothC bleek de afbraak van organische stof door beide modellen vergelijkbaar beschreven te worden (mondelijke mededeling B. Timmermans, Louis Bolk Instituut; Lesschen et al., 2020). Inzet van RothC op deze dataset zou een onderbouwing kunnen geven aan het antwoord of de mismatch ligt aan Ndicea zelf of aan andere factoren.

De prognose van de ontwikkeling van de organische stof bij toevoeging van compost zoals beschreven door Hospers-Brands en Van der Burgt (2013) ligt rond 0,2% toename in zes jaar bij toediening van 10 ton compost per jaar. De modellering 2007-2018, met jaarlijkse compostgiften vanaf 2011, laat ruwweg een toename zien van 0,37% (tabel 4). Dit verschil is verklaarbaar uit drie factoren die allen tot een hogere uitkomst leiden. 1. Het gaat om een langer tijdvak: acht ten opzichte van zes jaar. 2. In werkelijkheid is er niet jaarlijks 10 ton gegeven maar gemiddeld 13,75 ton. 3. De default IAge van compost is verhoogd van 3,4 naar 4,9, in overeenstemming met de nieuwe waarde van humificatiecoëfficiënt van compost in het Handboek Bodem en Bemesting. Daarnaast spelen nog twee factoren een rol waarvan niet bekeken is of die tot een verhoging of verlaging van de te verwachten uitkomst leiden. Het gaat om de samenstelling van de compost (met name organische stof gehalte) die kan afwijken van de standaard die voor de prognose gebruikt is, en om gebruik van werkelijke weersgegevens in plaats van gestandaardiseerde weersgegevens. Temperatuur en vochttoestand van de bodem hebben invloed op de berekende afbraak.

Overblijvende vragen

- Het gemeten gemiddelde organische stof gehalte lijkt redelijk verklaard te kunnen worden op basis van de modellering en ook op basis van de vuistregels voor aanvoer en afbraak. De gemeten stijging echter niet. De stijging is aannemelijk ondanks de grote onzekerheid rondom losse metingen. Waar komt de organische stof voor die stijging dan vandaan? Langzamere afbraak van vers toegediend materiaal (dus hoger humificatiecoëfficiënten) dan

-
- gedacht? Grotere pool inerte organische stof en een aanzienlijke stijging van de aanvoer van organische stof in het recente verleden ten opzichte van langer geleden? Grotere aanvoer via wortellexudaten die niet in het model en niet in de vuistregels voorkomen?
- De stijging van het organische stof gehalte moet gepaard gaan met een stijging van de totale bodem stikstof voorraad. Dat is ook het geval. De gemeten toename aan stikstof (meting N-totaal) ligt hoog en komt niet overeen met een berekening via toename organische stof en C/N verhouding daarvan. Het stikstofoverschot per hectare op jaarbasis zou voor ruwweg de helft gaan zitten in organische N opbouw. Hoewel een gesloten N-balans opstellen zo goed als onmogelijk is kan het wel helpen om de verliezen naar de ondergrond (uitspoeling) er alsnog bij te betrekken.
 - Ligt de mismatch van Ndicea ten aanzien van de organische stof dynamiek aan het model of aan andere factoren, waaronder de grote onzekerheden in de meetreeks wat betreft continuïteit van methode en foutenmarge?

3.5 Inzichten uit de toepassing van NDICEA voor BKZ

Het gebruik van NDICEA op een subset van de data van BKZ heeft geleid tot de volgende inzichten:

- De modellering met Ndicea schiet zowel wat betreft organische stof als wat betreft stikstof dynamiek te kort. Verkenning van organische stof opbouw of stikstofverliezen door uitspoeling door middel van prognose-studies met Ndicea is in dit geval niet aan de orde.
- Beoordeling van de Ndicea resultaten met behulp van RMSE van gemeten en berekend niveau N-mineraal is gebrekkige methode als er geen metingen zijn gedaan in het groeiseizoen.
- Meetonnauwkeurigheid in organische stof, zowel wat betreft wisselingen in analysemethode als foutenmarge, draagt vermoedelijk bij aan de slechte modelresultaten maar kan dat zeker niet volledig verklaren
- Los van het model lijkt de groei van het organische stof percentage en van de N-totaal sterker dan op grond van vuistregels en ruwe berekeningen geschat kan worden. Dat kan duiden op een kennis-hiaat.
- Verdere karakterisering van de verschillende organische stof pools (waaronder de inerte pool) zou kunnen bijdragen aan een beter begrip.

Aanbevelingen

- Probeer niet de verkregen resultaten te verbeteren door ook nog de data van 2019 en 2020 toe te voegen
- Maak een snelle verkenning (een of twee percelen) van de prestaties van RothC om te kijken of daar het zelfde probleem opduikt wat betreft mismatch ten aanzien van de organische stof opbouw.
- Maak een verkenning (een of twee percelen) van de metingen van de uitspoeling in relatie tot de model uitkomsten. Dat kan bijdragen aan het ophelderen van de mismatch in de N-dynamiek.

4 Toepassing NDICEA op dataset BASIS

4.1 Selectie van behandelingen

Voor de analyse met Ndicea is gebruik gemaakt van vier contrasterende behandelingen:

Perceel J9-4

- Gangbaar, Ploegen (standaard)
- Gangbaar, Minimale grondbewerking (NKG)

Perceel 10-6

- Biologisch, Ploegen (standaard)
- Biologisch, Minimale grondbewerking (NKG)

4.2 Methode

4.2.1 Opbouw van de Ndicea perceel scenario's

De teeltregistraties van Wageningen Plant Research vormen de basis van de input voor de App. Waar relevant zijn de gemiddelde waarden van herhalingen gebruikt.

Eerder is gerapporteerd over de periode 2009-2016 (van der Burgt, 2018). Delen van die tekst worden hieronder aangehaald, al dan niet licht gewijzigd en aangevuld. Aan deze data zijn de gegevens van 2017 t/m 2019 toegevoegd, waarna de scenario's opnieuw zijn doorgerekend en geanalyseerd. De weersgegevens (neerslag, temperatuur, evapotranspiratie) komen van meteorostation Lelystad. Er is gebruik gemaakt van Ndicea versie 6.2.1 zoals die op internet vrij beschikbaar is (www.ndicea.nl).

De beginwaarden van de drie pools bodem organische stof op 1 januari 2009 zijn bepaald aan de hand van Ndicea scenario's over de jaren 2006-2008 (data hier niet getoond, wel beschikbaar). Op 1 januari 2006 is uitgegaan van 3,2% organische stof bij alle scenario's met de default verdeling over de drie pools. De eindwaarden van die drie jaar zijn gebruikt als beginwaarden voor de scenario's van 2009-2019. Dit betekent dat, omgerekend naar percentage organische stof, de Gangbare percelen in 2009 startten met 3,09 % organische stof en de Biologische percelen met 3,27 %.

De minerale stikstof in de grond is gemeten op verschillende dieptes: 0-15cm, 15-30 cm, 30-60 cm en 60-90 cm. Ndicea kent slechts twee bodemlagen. De metingen zijn daarom samengevoegd tot 0-30 cm en 30-90 cm.

Aan de default (bodem) parameters van het model zijn geen wijzigingen doorgevoerd op één na. Dat is de parameter die de relatie beschrijft tussen het niveau van N-mineraal in de bouwvoor en de mate van stikstofbinding door vlinderbloemige gewassen. Deze bodemparameter, standaard op 15 kg N per hectare, is verlaagd naar 5 kg N per hectare. De consequentie is dat, modelmatig, de gewassen éérs en vooral de bodem-stikstof opnemen voordat ze tot stikstofbinding overgaan. Dit wordt bevestigd

door metingen die inderdaad een zeer laag N-mineraal niveau laten zien onder vlinderbloemige gewassen. Deze zelfde wijziging is toegepast bij onderzoek op Kollumerwaard, project Planty Organic, om dezelfde reden (van der Burgt et al, 2017). Modeldeskundige Gerard Oomen hanteert inmiddels ook standaard 5 kg N per hectare als parameter-waarde (mondelinge mededeling). Voor deze dataset heeft het potentieel vooral gevolgen voor de Biologische scenario's met grasklaver in de vruchtwisseling.

4.2.2 Beoordeling van scenario's

Om iets te kunnen zeggen over de verschillen in bodem organische stof en stikstof op basis van deze modellering moet eerst een uitspraak worden gedaan over de betrouwbaarheid van de modelscenario's. De beoordeling heeft plaatsgevonden op de volgende criteria:

- RMSE van gemeten N-min ten opzichte van gesimuleerde waarde (Wallach and Goffinet 1989). Hiervoor is door Burgt et al (2006) een grenswaarde van 20 kg N per hectare voorgesteld. Bij een RMSE hoger dan 20 wordt de modellering als onvoldoende betrouwbaar bestempeld.
- De gemiddelde richting van de afwijking tussen gemeten en gemodelleerde waarde N-min. Is er sprake van een structurele over- of onderschatting van het niveau beschikbare stikstof? Deze beoordeling is onafhankelijk van de RMSE.
- Aantal keren dat een gewas volgens de modellering onvoldoende stikstof ter beschikking zou hebben gehad om de veronderstelde (en in dit geval: gemeten) opbrengst te kunnen halen. Deze beoordeling is niet onafhankelijk van de voorgaande.
- De mate waarin het gemodelleerde niveau N-min de veranderingen in de tijd (hoger, lager) van de metingen volgt. Dit is een kwalitatieve beoordeling.
- De mate waarin de gemodelleerde waarde van de bodem organische stof overeenkomt met de metingen. In tegenstelling tot de N-mineraal met de RMSE is hiervoor geen standaard procedure.

4.3 Resultaten en bespreking

4.3.1 Minerale stikstof

In tabel 7 zijn de resultaten samengevat. De grafieken staan in bijlage 5. Dit zijn resultaten zonder toepassing van de kalibratie functie in Ndicea, in tegenstelling tot bij de Vredepeel dataset. Er heeft dus geen aanpassing van bodemparameters plaatsgevonden, en de model default waarden zijn voor alle scenario's gelijk. Dit heeft de voorkeur omdat het, als het goed uitpakt, een ondersteuning is voor de bruikbaarheid van het model in praktijk. Daarna is alsnog kallibratie toegepast om de effecten daarvan te kunnen beoordelen.

Tabel 7. Kwantitatieve beoordeling van de scenario's zonder kalibratie

				A	B	C	D	E	F
								N tekort	N-min
Perceel	GB/Bio	Grondbewerking	Diepte	n=	RMSE	#Sim>Obs	#Sim<Obs	#gewassen	Patroon
J9-4	GB	Ploegen	0-30	27	19,3	20	7		
			30-90	22	16,9	18	4		
			0-90	49	18,3	38	11	0/18	
		Minimaal	0-30	27	22,5	13	14		
			30-90	22	21,3	14	8		
		0-90	49	22,0	27	22	2/18		
J10-6	Bio	Ploegen	0-30	23	14,9	16	7		
			30-90	18	17,5	10	8		
			0-90	41	16,1	26	15	3/16	
		Minimaal	0-30	18	15,2	8	10		
			30-90	16	30,3	10	6		
		0-90	34	23,5	18	16	4/17		

B = Berekende RMSE van het verschil tussen meting en berekend niveau N-mineraal. Oranje = waarde boven 20, de grenswaarde voor een acceptabel resultaat

F = Visuele (kwalitatieve) beoordeling of het patroon van gemeten N-min goed gevolgd wordt door de simulatie Groen = goed, oranje = matig, rood = slecht

Toelichting op tabel 7:

A = Aantal N-mineraal metingen

B = Berekende RMSE van het verschil tussen meting en berekend niveau N-mineraal

C = Aantal keren dat de simulatie hoger is dan het gemeten niveau

D = Aantal keren dat de simulatie lager is dan het gemeten niveau

E = Aantal gewassen met berekend N-tekort / totaal aantal gewassen (inclusief groenbemesters)

F = Visuele beoordeling of het patroon van gemeten N-min goed gevolgd wordt door de simulatie

De RMSE ligt met slechts één uitzondering tussen 15 en 24, dus rond de maximum aanvaardbare waarde van 20. Alleen de twee scenario's 'Ploegen' scoren integraal beneden de 20; de scenario's 'Minimaal' scoren onvoldoende maar niet slecht. Bij de interne rapportage over de periode tot en met 2016 (van der Burgt 2018) waren de RMSE resultaten vergelijkbaar, dus het toevoegen van drie meetjaren heeft niet geleid tot drastische verschillen in uitkomst. Gemiddeld over de scenario's is het aantal keren dat de N-mineraal in de berekening overschat wordt hoger dan het aantal keren dat het onderschat wordt. De berekeningen overschatten dus de beschikbare stikstof. Bij 'Minimaal' lijkt het verschil wat kleiner dan bij 'Ploegen' en is in 0-30 cm zelfs net andersom.

Ondanks de overschatting van beschikbare stikstof is er bij enkele gewassen sprake van een berekend tekort aan opneembare stikstof. Bij een goede modellering mag dat alleen voorkomen binnen de onzekerheidsmarges van het model. Bij de Gangbare scenario's gaat het om suikerbiet (2012) en aardappel (2015) met 20-25 kg berekend N-tekort. Dit is nog in de grootteorde van de veronderstelde onzekerheidsmarge van het model. Bij de Biologische scenario's gaat het om winterpeen en aardappel. Met name de teelten van 2016 (peen) en 2018 (aardappel) vertonen tekorten van 50 respectievelijk 75 kg N, en dat valt ver buiten de onzekerheidsmarge van het model. Hier klopt dus echt iets niet.

Het patroon van toename en afname van het niveau N-mineraal in de bouwvoor wordt vrij goed gevolgd door de berekening (Bijlage 5, middelste grafieken). De meeste meetmomenten liggen echter in het vroege voorjaar en het najaar en slechts enkele gedurende de teelt. Het gaat in voor- en najaar meestal om lage waarden N-mineraal. De zeggingskracht zou veel groter zijn als er meer metingen gedurende de teelt beschikbaar waren.

Het kalibreren van de berekeningen op de gemeten waarden van N-mineraal en bodem organische stof leverde geen structurele verbetering op, zie tabel 8. De RMSE berekend over de N-mineraal

gemeten en berekende waarden werd niet beter. De parameters bewegen zich wel in grote lijnen, maar niet altijd, in de zelfde richting na kalibratie. Er vallen twee dingen op. Ten eerste: de textuurfactor, waar een grondbewerkingscomponent in zit, ligt na kalibratie voor Ploegen en Minimaal in de zelfde grootteorde terwijl er een flink verschil verondersteld wordt bij de default waarden. Dit betekent dat er na kalibratie een sterkere afbraak van organische stof berekend wordt bij Minimaal dan op voorhand verondersteld werd. Dat effect wordt versterkt door de lagere IAge (in alle gevallen) van de oude organische stof bij aanvang van het scenario. Een lagere virtuele beginleeftijd betekent een hogere afbraaksnelheid gedurende de hele scenarioperiode. De hogere IAge van de jonge organische stof betekent een lagere afbraak, maar het effect daarvan beperkt zich vooral tot de eerste jaren. Ten tweede: de uitspoelingsfactor van de bouwvoor (Uitsp 1) ligt bij Ploegen aanzienlijk boven de default waarde terwijl dat bij Minimaal identiek is aan de default waarde. Minimaal zou dus iets beter de stikstof vasthouden bij neerslagoverschot. Bovenstaande opmerkingen kunnen niet anders dan als indicatief gezien worden gezien het geringe aantal scenario's dat betrokken is.

Tabel 8. RMSE, default en door kalibratie gewijzigde parameterwaarden

		RMSE		Textuur	Uitsp 1	IAge		lage		Uitsp 2	MWO	C/N	As/Dis	N_bind	DenF
		Oud	Nieuw			Oud	Jong	Vers							
	Default			0,82/0,57	0,85	24	4	1,5	0,85	0,75	6,5	0,4	5	0,1	
J9-4	Ploegen	18,3	16,6	0,78	1,03	21,77	8,42	2	1,06	0,82	5,81	0,42	12	0,09	
	Minimaal	22	22,2	0,83	0,85	22,22	8,63	2,4	1,01	0,73	6,03	0,43	10	0,07	
J10-6	Ploegen	16,1	16,98	0,82	1,04	17,11	6,58	1,9	0,95	0,82	6,43	0,38	7	0,09	
	Minimaal	23,5	23,91	0,88	0,85	20,07	7,05	1,7	1	0,77	5,73	0,39	9	0,12	

Toelichting tabel 8: De default textuurfactor bij Ploegen is 0,82; bij Minimale grondbewerking 0,57.

4.3.2 Relatie organische stof opbouw en bodem N-totaal opbouw

De grafieken van het verloop van de organische stof en de gemeten waarden staan in bijlage 5, onderste grafieken. Het betreft een gering aantal metingen. Behalve de getoonde metingen van 2013 – 2016 – 2018 van alle vier de scenario's zijn er nog enkele losse metingen in 2009 en 2012 die dusdanig ver afwijken van de latere metingen dat ze hier zijn weggelaten. Dit biedt onvoldoende materiaal voor een toets of Ndicea de organische stof niveaus adequaat beschrijft. Over de bodemstikstof valt echter wel wat te zeggen.

Zowel bij J9-4 (Gangbaar) als bij J10-6 (Biologisch) is volgens de modelberekeningen sprake van duidelijke verschillen in bodemprocessen tussen Ploegen en Minimaal. Die wijzen allemaal in de zelfde richting. Modelmatig ligt de basis voor dit verschil in de parameter 'textuurfactor', inclusief grondbewerkingscomponent, die de overall afbraaksnelheid van organische stof in de grond bepaalt. Die is bij Minimaal in het model aanzienlijk lager dan bij Ploegen. Deze geringere overall afbraak bij Minimaal heeft vervolgens effecten op diverse bodemprocessen (zie ook de grafieken van bijlage 5):

- Als de gewassen bij verschillende grondbewerking vrijwel dezelfde stikstofopname realiseren (en dat is hier het geval) zal het leiden tot gemiddeld iets lagere niveau's van bodem stikstof. De grafieken tonen dat inderdaad.
- Als er gemiddeld een lager niveau N-mineraal aanwezig is zou de uitspoeling lager uit kunnen vallen. Dat is rekenkundig inderdaad het geval.
- Bij een gemiddeld lager niveau N-mineraal in de bouwvoor zal de denitrificatie afnemen omdat die modelmatig daaraan gekoppeld is. Bovendien is er modelmatig sprake van een

iets kleinere netto activiteit van het bodemleven (want er is minder afbraak), wat op zich zelf ook leidt tot iets lager berekende denitrificatie. Het berekende niveau van de denitrificatie valt voor Minimaal inderdaad wat lager uit dan voor Ploegen.

- De verminderde netto afbraak van organische stof komt tot uitdrukking in verschillend verloop van de grafiek van het bodem organische stof gehalte. Ook komt het tot uitdrukking in verschillen in bodemvoorraad organische stikstof. Mutaties in organische stof en organische stikstof lopen niet helemaal parallel; dat wordt veroorzaakt door optredende verschillen (in de modelberekening; in de werkelijkheid niet getoetst) in C/N verhouding van de bodem organische stof. Dat daarin verschillen kunnen ontstaan is geen verrassing.
- Bovenstaande vier punten vormen niet een ondersteuning van de betrouwbaarheid van de modellering. Ze laten alleen de interne logica van het model goed zien.

De beperking van deze redenering is dat het allemaal is opgehangen aan één bodemproces, namelijk verminderde afbraak van organische stof door verminderde grondbewerking, getoetst aan de resultante N-mineraal in bouwvoor en 2e bodemlaag. Het betoog zou sterker worden als er op meerdere punten getoetst zou worden. Dat is echter niet eenvoudig. Zowel het meten van de uitspoeling als het meten van de denitrificatie is ingewikkeld, en het is de vraag of de relatief kleine verwachte verschillen in de metingen teruggevonden zouden kunnen worden. De kwaliteit van de verschillende bronnen aangevoerde organische stof worden in het model verondersteld tot uitdrukking te komen in de gebruikte gewasparameters en de Initial Age als startpunt op de afbraakcurve.

Het meten van de bodem organische stof en de bodem organische stikstof is op zich niet moeilijk maar de uitslagen worden gekenmerkt door een relatief grote foutmarge. Dat betekent dat je je niet kunt baseren op slechts enkele metingen. In dit geval gaat het echter gedeeltelijk om meerjarige meetreeksen in herhalingen en kan er wel meer over gezegd worden. De metingen van de totale bodem stikstof voorraad lijken er op te wijzen (mondelijke mededeling D. van Balen; Hoek et al., 2019) dat er in 2016 bij Minimaal sprake is van een grotere bodemvoorraad organische stikstof, rond 400 kg méér, dan bij Ploegen. Over een periode van 8 jaar betekent dat een netto opgebouwd verschil tussen Minimaal en Ploegen van 50 kg N per hectare per jaar. In de Ndicea berekening wordt die trend bij beide systemen (Gangbaar en Biologisch) helemaal gevolgd maar ligt het niveau lager: 26 kg per jaar bij Gangbaar en 39 kg per jaar bij Biologisch in 2016 (van der Burgt, 2018), respectievelijk 23 en 32 kg bij de langere scenario's tot en met 2019. De trend blijft overeind en kan verklaard worden met de hierboven beschreven bodemprocessen.

4.4 Discussie

In de voorgaande paragraaf is al bespiegeld op de resultaten. Hier volgen nog enkele aanvullingen.

De kwaliteit van de modellering, beoordeeld op de RMSE van N-mineraal, is redelijk. De metingen liggen echter grotendeels in de winterperiode, en dat fungeert jaarlijks min of meer als een 'reset': door neerslagoverschot en dus uitspoeling liggen de N-min niveaus bijna per definitie laag, op zand misschien nog wat sterker dan op klei. Dat verkleint de zeggingskracht van deze beoordeling aanzienlijk, en dat komt terug in de aanbevelingen.

De kalibratie leidt niet tot een verbetering van de resultaten. Dat komt deels doordat gekalibreerd wordt op zowel de N-mineraal als de organische stof metingen, terwijl de beoordeling zich beperkt tot de RMSE van de N-mineraal. De grote sprongen (relatief grote potentiële meetfout) in gemeten organische stof gehalte wegen dan relatief zwaar mee. Bij Biologisch liggen de meeste meetpunten beneden het berekende niveau waardoor in de kalibratie-procedure de afbraak opgestuwd wordt. Op deze manier heeft een verkeerde berekening of inschatting van de beginwaarde van de organische stof een relatief grote invloed op de kalibratie.

Gemodelleerde tekorten van N-opname in gewassen treden op in bieten, aardappel en peen. De laatste twee zijn gewassen die op ruggen worden verbouwd, dus met relatief sterke grondbewerking. Bij die teelt is, ten opzichte van vlakveldse teelt, mogelijk sprake van een versterkt grondbewerkingseffect. Dat kan in Ndicea nu niet gemodelleerd worden omdat de textuurfactor een vaste waarde heeft over de hele scenariolengte. Dit onderwerp staat op de agenda bij de vernieuwing van Ndicea.

4.5 Inzichten uit de toepassing van NDICEA voor BASIS

Het gebruik van NDICEA op een subset van de data van BASIS heeft geleid tot de volgende inzichten:

- De kwaliteit van de modellering is redelijk en ligt rond de gehanteerde grens van 20 kg N ha⁻¹. Dit is misschien geflatteerd door dat de meeste metingen in de winterperiode hebben plaatsgevonden.
- De verwachting op basis van de modelbenadering is dat het bodem organische stof gehalte bij Minimaal uitstijgt boven Ploegen en dat Bio uitstijgt boven Gangbaar. Het geringe aantal metingen van de organische stof en de meetfout daarvan maken het echter niet goed mogelijk de modellering daarop te toetsen.
- Het model geeft een aannemelijke en consistente verklaring voor een sterkere toename van de bodem N-totaal bij Minimaal ten opzichte van Ploegen.

Aanbevelingen

- Indien het kengetal 'N-mineraal' ingezet wordt als beoordelingsinstrument voor een modellering dient niet alleen in de winterperiode, maar ook regelmatig in het groeiseizoen gemeten te zijn gemeten.
- Aangezien de OS-meting niet zo nauwkeurig is zou het een goede zaak zijn om jaarlijks te meten om er uiteindelijk een betrouwbare lijn uit te kunnen halen.

5 Conclusies en aanbevelingen

De toepassing van Ndicea op de dataset van Vredepeel heeft beperkt nieuwe inzichten opgeleverd over deze systeemproof. Dit komt doordat de modelleringen van zowel de bodem organische stof als de stikstofdynamiek te veraf wijken van de gemeten waarden en trendlijnen. Wat betreft de beginvraagstelling betreft het in dit geval niet zozeer nieuwe inzichten als nieuwe vragen.

- De meetreeksen zijn atypisch in die zin dat ze een sterke stijging van het organische stof gehalte laten zien die noch door de Ndicea modellering noch door de 'standaard' berekeningswijze met Effectieve Organische Stof adequaat beschreven worden. Er lijkt dus iets een rol te spelen dat nog niet tot ons standaard kennisdomein rondom bodem organische stof behoort.
- Tegen de verwachting in is er in de meetreeks geen eenduidig effect te zien van NKG ten opzichte van Standaard wat betreft verandering van het bodem organische stof gehalte. De lengte van de periode is lang genoeg om eventuele effecten te kunnen meten hoewel de meeton nauwkeurigheid een rol blijft spelen. Daarmee voegt dit onderzoek zich in de reeks resultaten die soms wel en soms niet wijzen op een positief effect van NKG op het organische stof gehalte van de bodem.

Bij BASIS ligt de kwaliteit van de modellering, beoordeeld aan de hand van de RMSE over de N-mineraal waarden, op de rand van 'net niet goed' tot 'goed'. Gemeten verschillen in bodem totaal-N tussen Minimaal en Ploegen (Hoek et al., 2019) worden door het model als trend goed beschreven; de absolute waarde van gecumuleerde N is in de berekening lager dan in de meting. De modelberekeningen beschrijven kwalitatief goed en kwantitatief redelijk de bodemprocessen, en dit is goed en consistent te begrijpen. Hier biedt de dynamische benadering van Ndicea dus een zekere meerwaarde. De bodem organische stof kan wegens het geringe aantal metingen niet in de beoordeling betrokken worden.

Aanbevelingen

Indien Ndicea in de toekomst gebruikt gaat worden in onderzoeksprojecten zal aan een aantal voorwaarden voldaan moeten worden. Onderstaande kan derhalve gelezen worden als een reeks van aanbevelingen, zowel voor de uitvoering van het onderzoek als voor de verdere ontwikkeling van Ndicea. Deze aanbevelingen volgen deels uit dit rapport maar komen ook naar voren uit ander onderzoek en uit de begeleidingsgroep van de vernieuwing van Ndicea tot web-versie, Ndicea7.

- Wat betreft modelinput is het van groot belang dat de ingevoerde waarden realistisch zijn. Het model is gevoelig voor fouten in de N-opname. Daarom is het aan te bevelen niet alleen de opbrengst en N-gehalte van het product te meten maar ook die van de gewasresten en de groenbemesters. Die dragen bij aan de totale N-opname én dragen bij aan de mineralisatie van stikstof in de nakomende tijd. De default waarden van de verdeling van de productie over product en gewasrest is een goede schatting maar kan substantieel afwijken van metingen. Dat is ook in deze datasets meermaals gebleken.
- Voor de bodem organische stof en bodem N-totaal metingen is het van belang dat er reeksen zijn die niet onderbroken zijn. De metingen hebben een te grote foutenmarge om op zichzelf staan betrouwbaar te zijn. Een doorlopende reeks biedt meer zekerheid, zeker als die gebaseerd is op metingen in herhalingen.

- De directe relatie tussen gemeten uitspoeling of gemeten nitraat-gehalte in het bovenste grondwater en de modeloutput 'N-verlies uit de bewortelbare zone' heeft nog nooit plaatsgevonden. Dit zou verkend kunnen worden met een daarvoor geschikte dataset. De dataset van proefbedrijf Vredepeel is daarvoor misschien een goede kandidaat.
- De aanwezigheid van nitraat wordt bepaald, naast de belangrijke processen van N-mineralisatie en N-opname, door de vocht karakteristiek van de grond. Die wordt nu met default data uit de bodem database gevuld. Er is nog nooit gestructureerd gekeken naar de invloed van die vocht karakteristiek op de modelresultaten (RMSE van N-mineraal). Hieruit volgen twee aanbevelingen. Ten eerste: doe dat alsnog, bij bestaande datasets die al in Ndicea gemodelleerd zijn. Ten tweede: pas de kalibratiemethodiek in Ndicea zó aan dat er de mogelijkheid bestaat om eerst de water karakteristiek te fitten en dan de rest (mondeling advies Gerard Oomen).
- De bodemparameter 'Textuurfactor' is als het ware de 'hoofdkraan' waarmee de afbraak van organische stof beïnvloed wordt. Voor zand is die 1,00 (onbelemmerd), voor zware kleigronden ligt die rond 0,60 . De ratio erachter is de veronderstelling dat naarmate het kleigehalte toeneemt er meer organische stof afgeschermd is voor afbraak. Er is een relatie met grondbewerking: door grondbewerking wordt verondersteld dat de afbraak (tijdelijk) toeneemt door het afnemen van de bescherming van organische stof en de extra toevoer van zuurstof. In die zin is de textuurfactor ook een grondbewerkingsfactor, en zo zit het ook in Ndicea 6 geprogrammeerd: gereduceerde en minimale grondbewerking verlagen de textuurfactor. De textuur(grondbewerking)factor is nu een bodemeigenschap die voor het hele scenario onveranderd blijft. Of het nu aardappelteelt is met ruggenopbouw of tijdelijk grasland met 1,5 jaar afwezigheid van grondbewerking: de textuurfactor verandert niet. Voor de vernieuwing van Ndicea wordt overwogen om dit anders in te richten en misschien gewasafhankelijk te maken waarbij de 'gebruikelijke' grondbewerking als maat wordt genomen: bij rugopbouw (tijdelijk) een sterkere afbraak, bij afwezigheid van grondbewerking (tijdelijk) een sterk verminderde afbraak.
- Gras(klaver) en luzerne, als meerjarige teelten, lijken in Ndicea niet goed te matchen met een sterke toename van het organische stof gehalte. Dit is een complex vraagstuk. De textuurfactor, namelijk de grondbewerkingscomponent daarin, zie vorige punt, zou een rol kunnen spelen.
- De default bulkdichtheid van de grond in Ndicea is 1,35 kg l-1. Dat is gemiddeld voor Nederland een aannemelijke waarde. Er zijn datasets beschikbaar van de relatie tussen organische stof gehalte en bulkdichtheid. Die relatie zou geïntegreerd kunnen worden in Ndicea. Bij lage of juist hoge gehalte organische stof valt de omrekening van procent naar kilogrammen dan hoger respectievelijk lager uit. Dat kan de modelresultaten eigenlijk alleen maar ten goede komen.
- Ndicea kent twee bodemlagen. De toplaag, bouwvoor, waarin de meest organische stof omzettingen plaatsvinden. Daarnaast de tweede bodemlaag, door de gebruiker in te vullen als 'maximale bewortelingsdiepte'. Zowel de water- als de stikstof berekeningen baseren zich op het theoretische 'midden' van elke van die twee lagen. Differentiatie binnen de lagen is niet mogelijk. Dat zou anders worden als het model zou uitgaan van meerdere bodemlagen (bij voorbeeld elk 15 cm, of instelbaar). Dat is technisch wel een hele ingreep maar goed uitvoerbaar. Dat zou een nieuwe optie bieden en misschien een verbetering inhouden van de modelresultaten. De nieuwe optie is: modellering van NKG waarbij twee bodemlagen 0-15 en 15-30 cm onderscheiden worden. De mogelijke verbetering is een betere berekening van de uitspoeling van stikstof uit de bewortelbare zone. In zijn huidige vorm heeft ieder dagelijks neerslagoverschot een direct effect op de N-verliezen uit de tweede bodemlaag, berekend

over dat theoretische 'midden' van die bovenlaag terwijl de uitspoeling plaatsvindt uit het onderste deel. Een verdere onderverdeling in bodemlagen verkleint die potentiële fout.

- Het model begon op basis van tijdstappen van een week. Over de periode van een week mag je redelijkerwijs aannemen dat de bodem na neerslagoverschot weer op veldcapaciteit is beland. Dat is de basis voor de berekening van de waterbeweging. Bij tijdstappen van een dag is het maar de vraag of dat zo is. De introductie van een maximale infiltratiesnelheid zou hierop een antwoord kunnen zijn, met als nadeel dat dat niet een waarde is die in een gesprek aan de keukentafel tevoorschijn komt.

Literatuur

- Burgt, G.J.H.M. van der, G.J.M Oomen, A.S.J. Habets en W.A.H. Rossing 2006. The NDICEA model, a tool to improve nitrogen use efficiency in cropping systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 74: 275-294.
- Burgt, G.J.H.M van der, C. Rietema en M. Bus (2017). *Planty Organic 5 jaar: evaluatie van bodemvruchtbaarheid, stikstofhuishouding en productie*. Louis Bolk Instituut, publicatienummer 2017-037.
- Burgt, G.J.H.M. van der 2018. *Stikstof en organische stof dynamiek grondbewerkingsproef Broekemahoeve*. Interne publicatie van Burgt Agrarische Diensten in opdracht van Wageningen Plant Research.
- Haan, J. de, M. Wesselink, W. van Dijk, H. Verstegen, W. van Geel en W. van den Berg 2018a. Effect van organische stofbeheer op opbrengst, bodemkwaliteit en stikstofverliezen op een zuidelijke zandgrond. Wageningen UR, rapport WPR-754.
- Haan, J. de, M. Wesselink, W. van Dijk, H. Verstegen, W. van Geel en W. van den Berg 2018b. *Biologische teelt op een zuidelijke zandgrond: opbrengst, bemesting, bodemkwaliteit en stikstofverliezen*. Wageningen UR, rapport WPR-755.
- Handboek Bodem en Bemesting.
<https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting.html>
- Hoek, J, D. van Balen, W. Haagsma, W. van den Berg, P. van Asperen, W. Sukkel, J. de Haan, J. Bloem. 2019. *Bodemindicatoren in BASIS Identificatie van de belangrijkste biologische en chemische bodemparameters ("bodemindicatoren") in het project BASIS over de periode 2009 – 2016*. Wageningen UR, rapport WPR-798.
- Hospers-Brands, M. en G.J. van der Burgt 2013. *Verkenningen organische stof - Proefbedrijf Vredepeel*. Louis Bolk Instituut, publicatienummer: 2013-023
- Janssen B.H. 1984. A simple method for calculating decomposition and accumulation of 'young' soil organic matter. *Plant and Soil* 76: 297-304.
- Janssen B.H. 1996. Nitrogen mineralisation in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. *Plant and Soil* 181: 39-45.
- Lesschen, J.P., H.I.M. Heesmans, J.P. Mol-Dijkstra, A.M. van Doorn, E. Verkaik, I.J.J. van den Wyngaert en P.J. Kuikman 2012. *Mogelijkheden voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw en natuur*. Wageningen UR, Alterra-rapport 2396.
- Lesschen, J.P., C. Hendriks, A. van der Linden, B. Timmermans, J. Keuskamp, D. Keuper, M.C. Hanegraaf, S. Conijn, T. Slier. 2020. *Ontwikkeling praktijktool voor bodem C*. Wageningen UR, rapport WenR-2990.
- Makkink G.F. 1957. Testing the Penman formula by means of lysimeters. *J. Intern. Water Engineering*, 11: 277-288.
- Ndicea Stikstofplanner. <https://www.ndicea.nl>.
- Price, W.L. 1979. A controlled random search procedure for global optimization. *The Computer Journal* 20: 367-370.
- Visser, J., J.R. van der Schoot, G. Korthals en J. de Haan 2014. *Bodemkwaliteit Op Zand: T nul meting bodem*. Wageningen UR, rapport WPR-614.
- Wallach D. and B. Goffinet 1989. Mean squared error of prediction as a criterion for evaluating and comparing system models. *Ecological Modelling* 44: 209-306.
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolt 2001. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*. Wageningen Alterra rapport 153.
- Yang H.S. 1996. *Modelling organic matter mineralization and exploring options for organic matter management in arable farming in northern China*. PhD thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands.

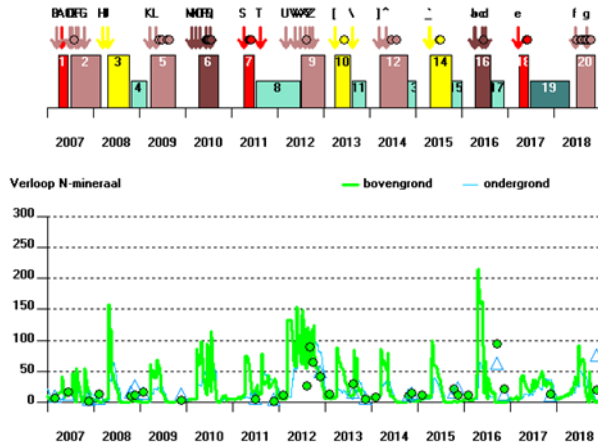
Bijlage 1 Bodemparameters die onderdeel zijn van het kalibratieproces

Parameter	Standaard waarde	Omschrijving
Afbraakfactor 1)	1,00	Algemene factor ('hoofdkraan') voor afbraak
N uitspoelingsfactor bouwvoor	0,85	Relatie tussen uitspoelend water en uitspoeling van stikstof met dat water
N uitspoelingsfactor 2e bodemlaag	0,85	Relatie tussen uitspoelend water en uitspoeling van stikstof met dat water
Maximum water opname uit bouwvoor	0,75	Verdeling van wateropname tussen bouwvoor en tweede bodemlaag
N-binding drempel	5	in kg nitraat-N per hectare (bouwvoor). Verondersteld wordt bij vlinderbloemigen een voorkeur voor opname uit de grond tov N-fixatie. Benden deze drempelwaarde: 100% N-fixatie. Boven het dubbele van deze drempelwaarde: volledige opname uit de grond.
Denitrificatiefactor bouwvoor	0,10	Algemene factor voor denitrificatie
C/N microorganismen	6,50	Gemiddelde C/N van al het bodemleven
Assimilatie/Dissimilatie microorganismen	0,40	Gemiddelde Assimilatie / Dissimilatie van al het bodemleven
Initiele virtuele leeftijd oude organische stof 2)	24	Virtuele beginleeftijd op de afbraakcurce (Janssen 1984)
Initiele virtuele leeftijd jonge organische stof 2)	4,00	Virtuele beginleeftijd op de afbraakcurce (Janssen 1984)
Initiele virtuele leeftijd verse organische stof 2)	1,40	Virtuele beginleeftijd op de afbraakcurce (Janssen 1984)
		1) In geval van zandgrond en ploegen. Textuur en grondbewerking veranderen de standaard waarde.
		2) Ndicea onderscheidt drie pools bodem organische stof bij aanvang van het scenario waarbij het totaal gelijk is aan het (gemeten) organische stof gehalte omgerekend naar kg/ha. Uitsluitend op zandgrond is er ook nog een inerte pool.

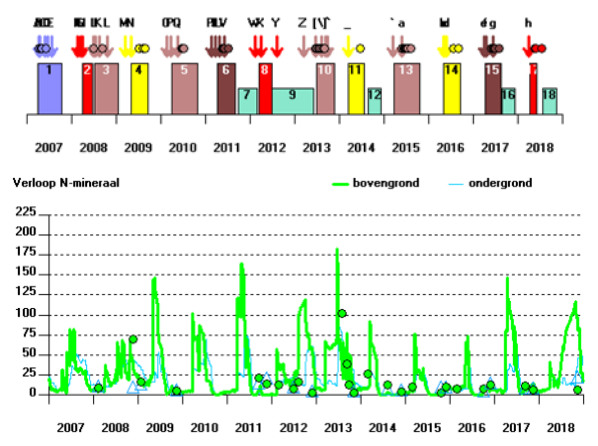
Bijlage 2 Figuren Vredepeel, verloop N-mineraal

Voor elk scenario: gewasvolgorde, bemesting (boven); verloop N-min en N-min metingen (onder)

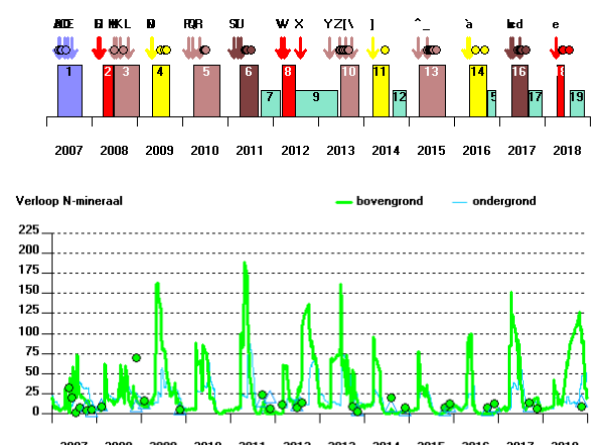
18.1A Gangbaar Ploegen



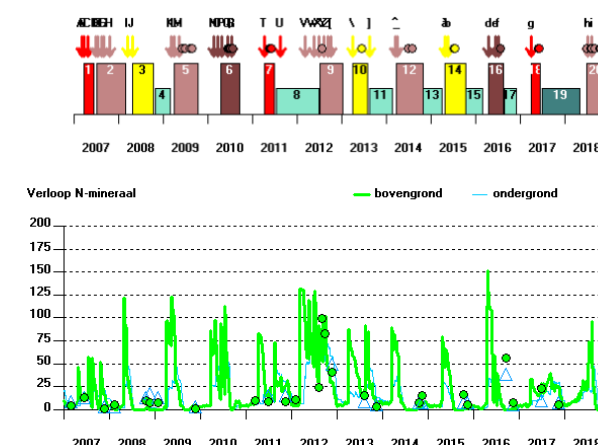
27.2A Gangbaar Ploegen lage o.s. aanvoer



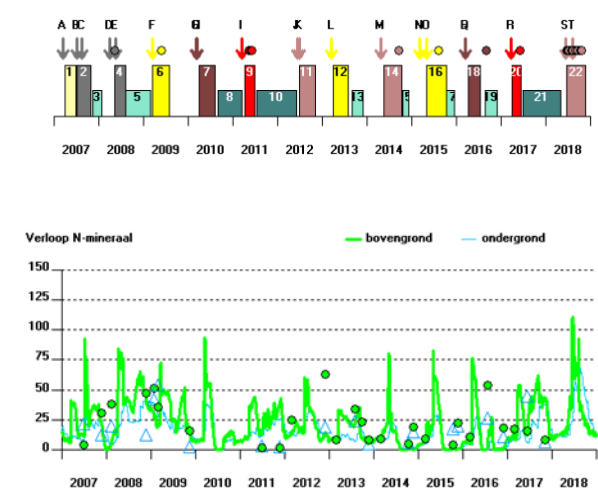
27.1A Gangbaar NKG



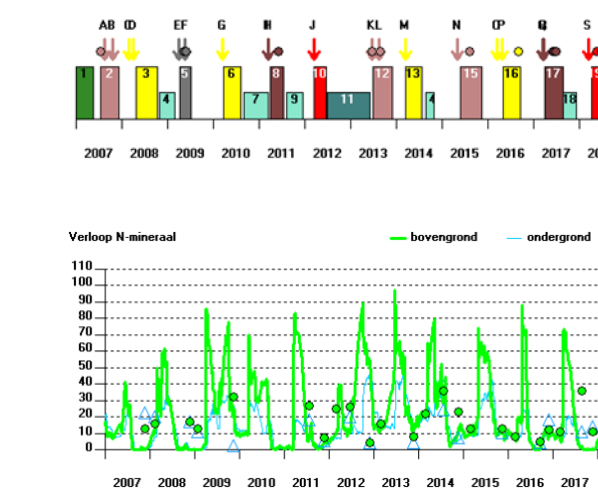
18.2A Gangbaar NKG lage o.s. aanvoer



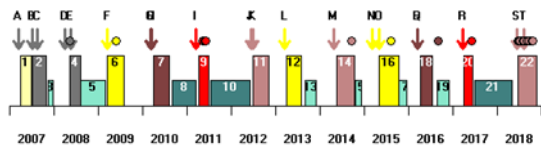
34.1A Bio Ploegen



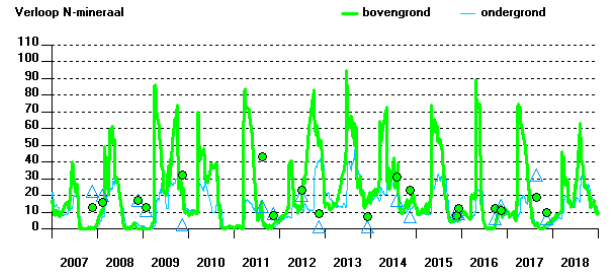
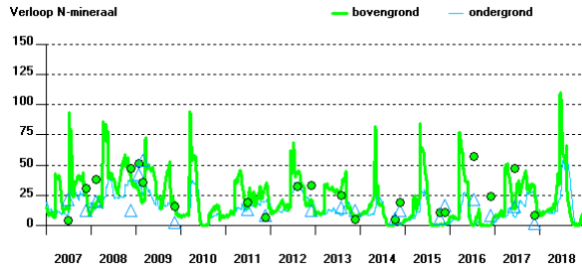
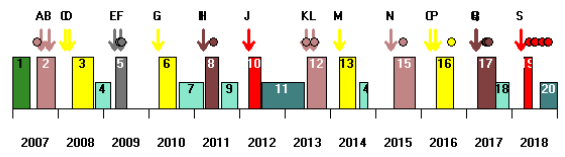
34.2B Bio Ploegen



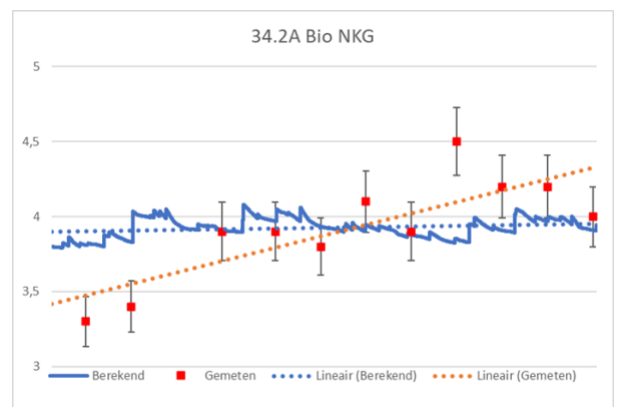
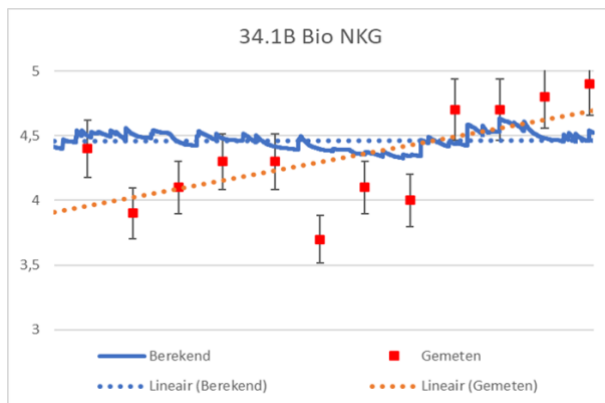
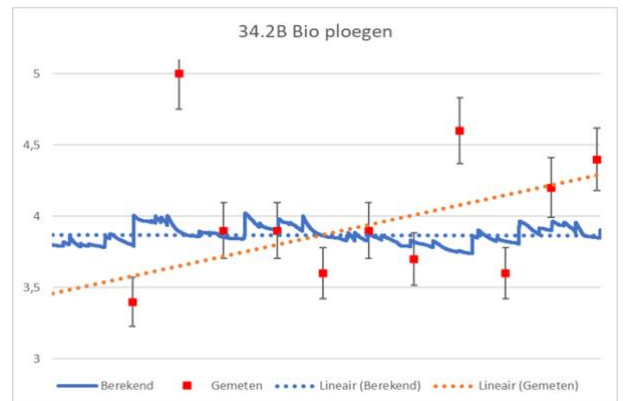
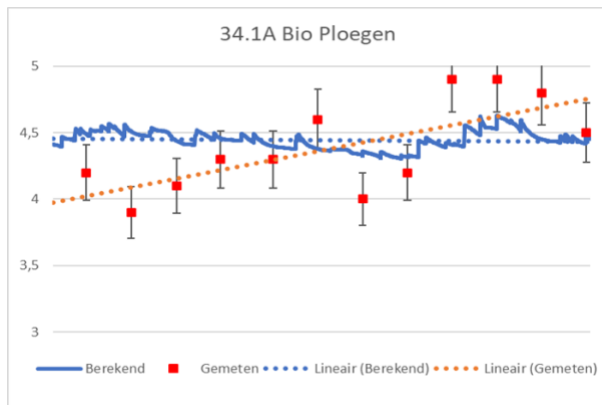
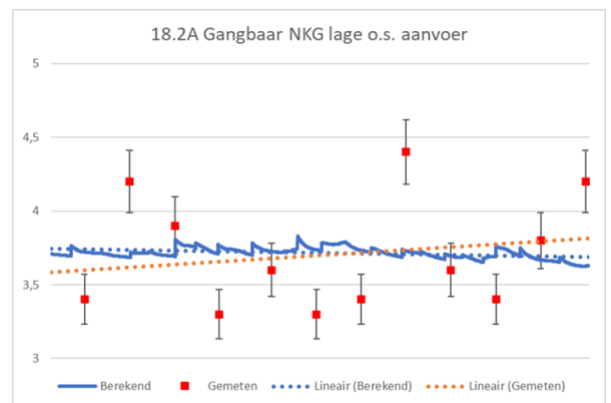
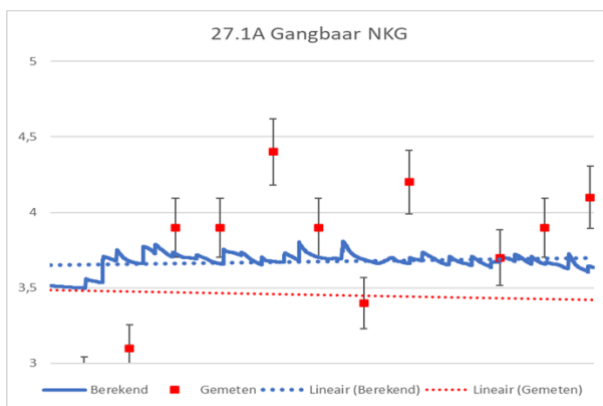
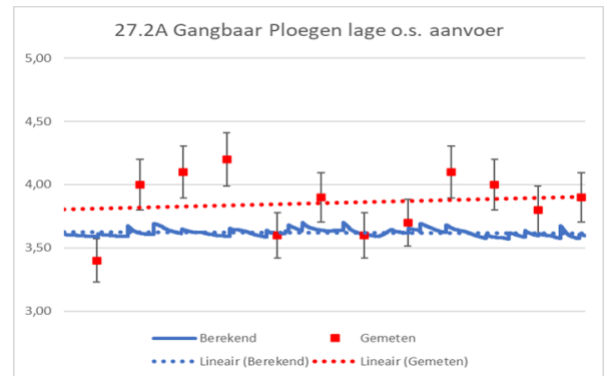
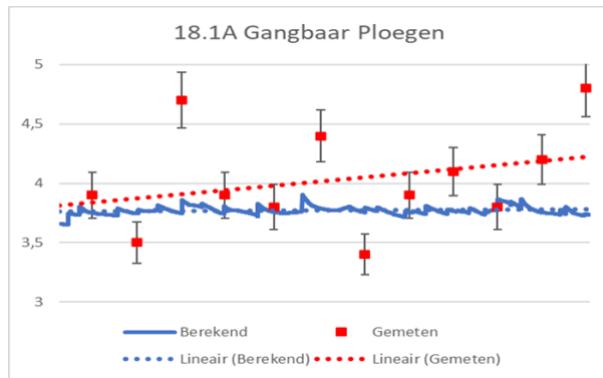
34.1B Bio NKG



34.2A Bio NKG



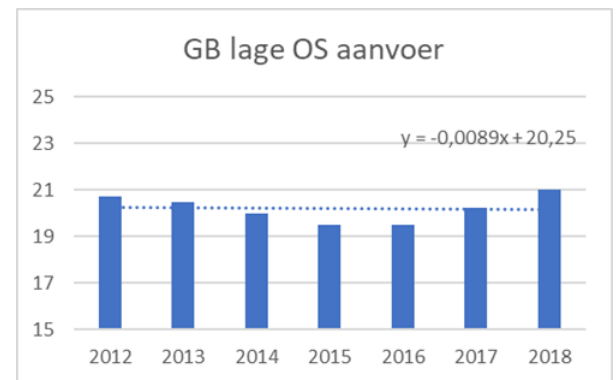
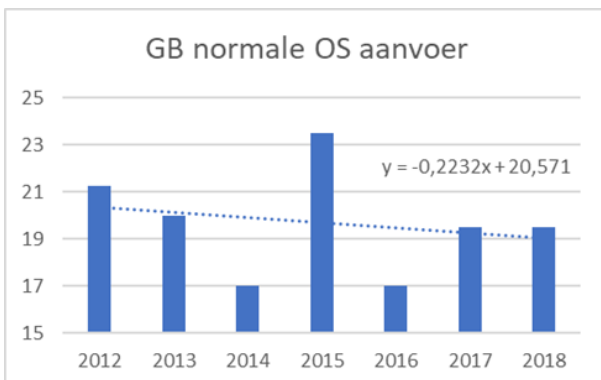
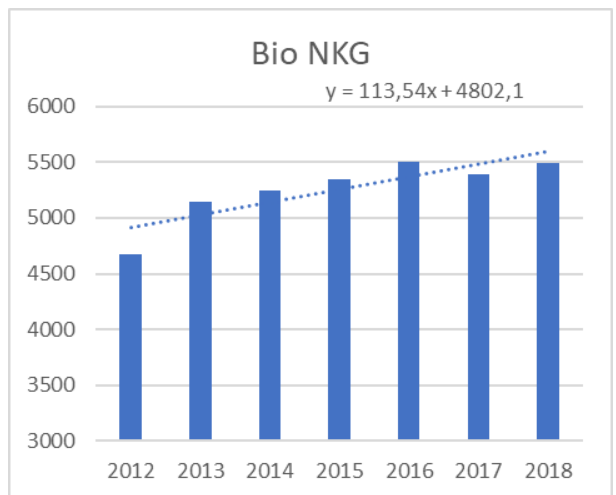
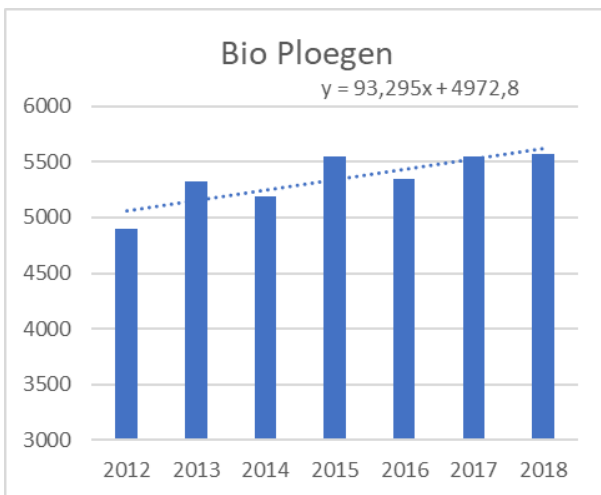
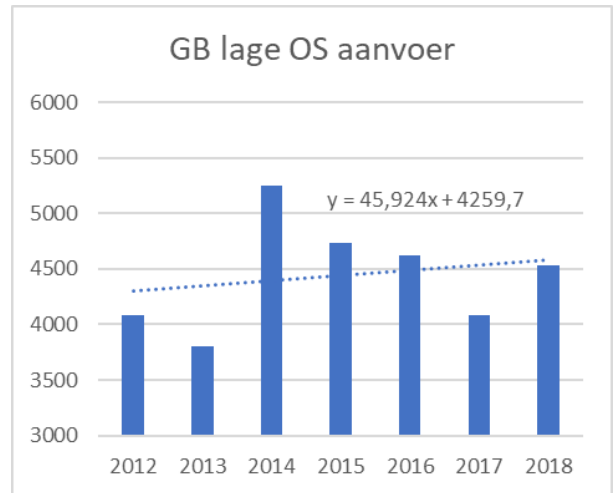
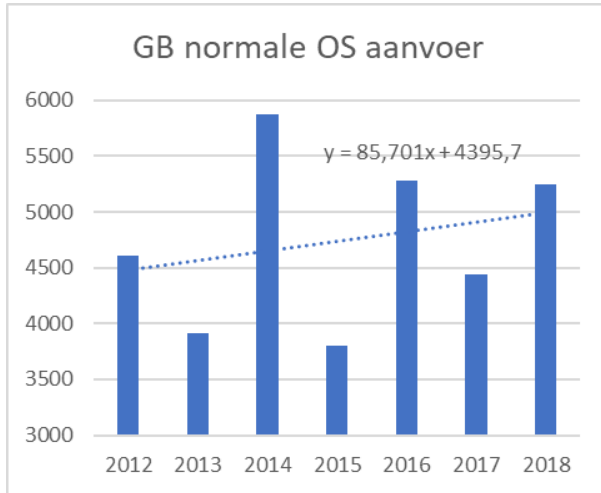
Bijlage 3 Figuren Vredepeel, Organische stof (%); periode 2007-2018

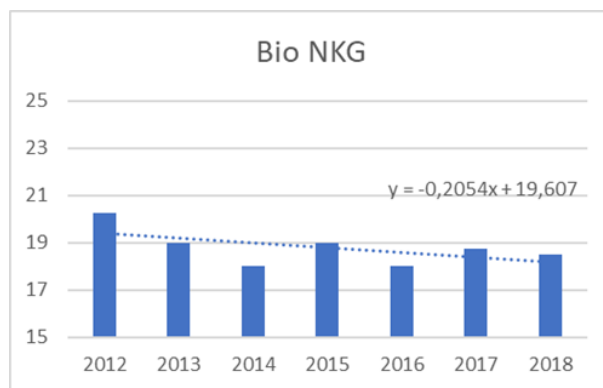
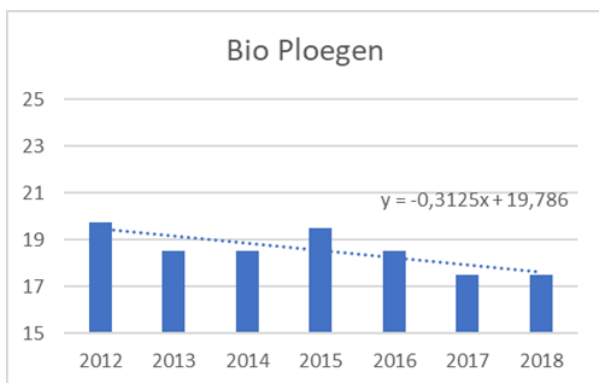




Bijlage 4 Figuren Vredepeel, mutaties bodem N-totaal en C/N-ratio

Bodem N-totaal (kg/ha)

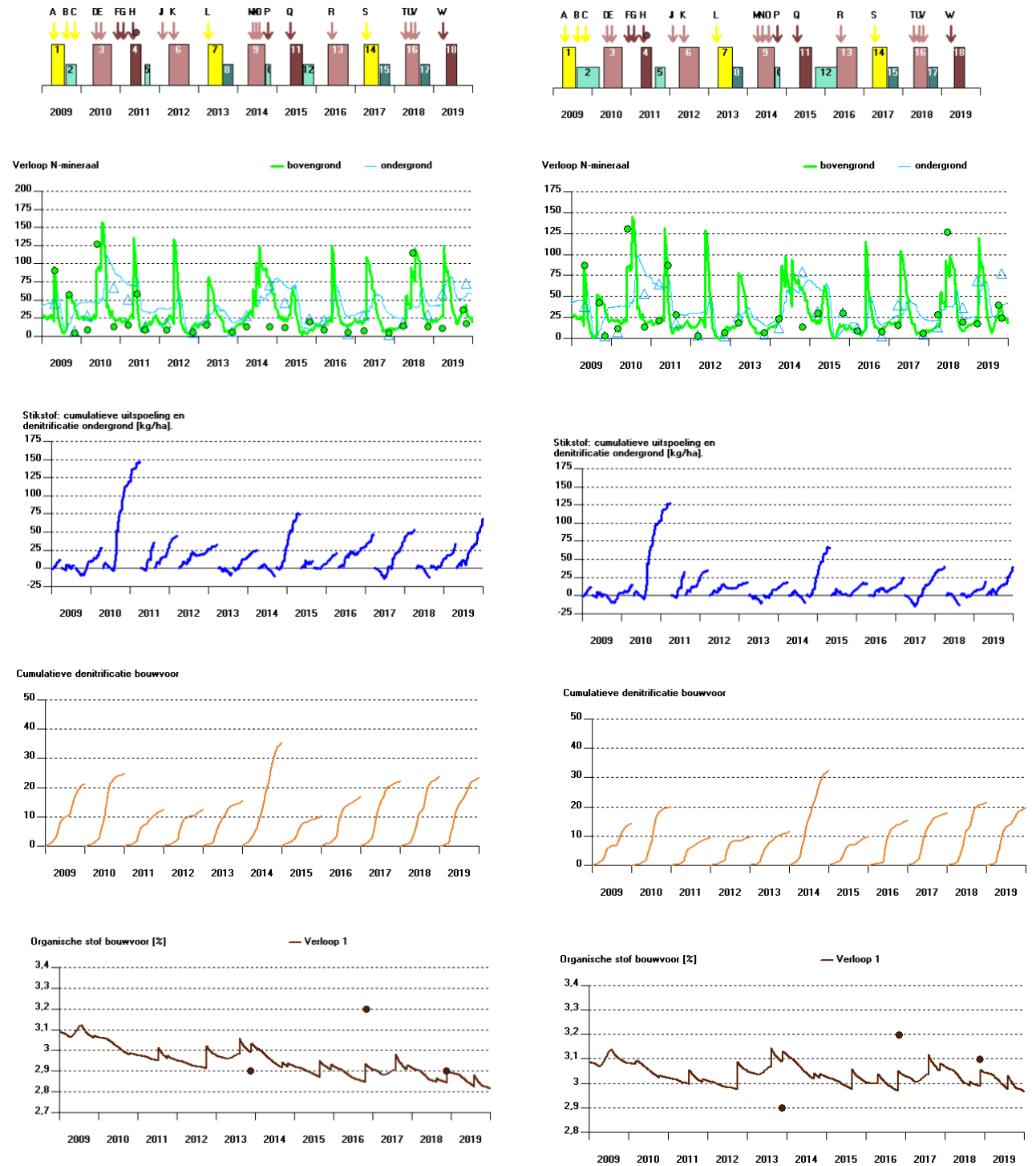




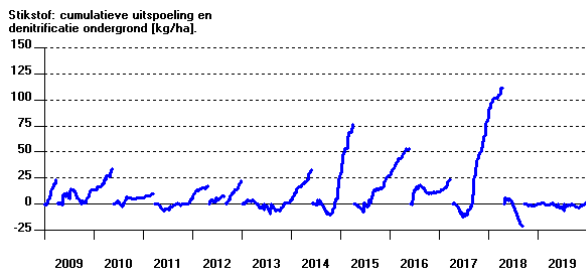
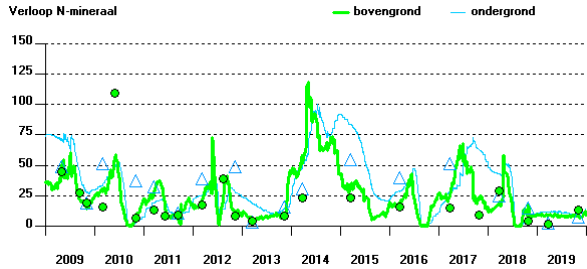
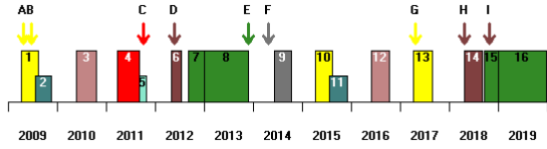
Bijlage 5 Figuren BASIS, diverse modeluitkomsten

Voor elk scenario: gewasvolgorde, bemesting (boven); verloop N-min en N-min metingen (2e); uitspoeling (3e); denitrificatie (4e); verloop organische stof bouwvoor (onder)

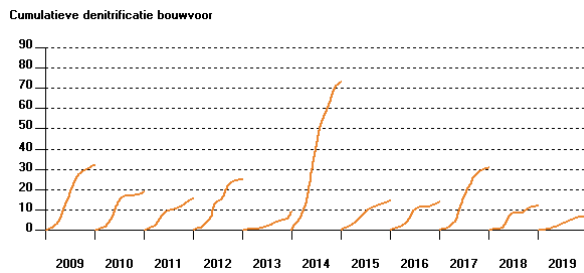
J9-4 Gangbaar Ploegen J9-4 Gangbaar Minimaal



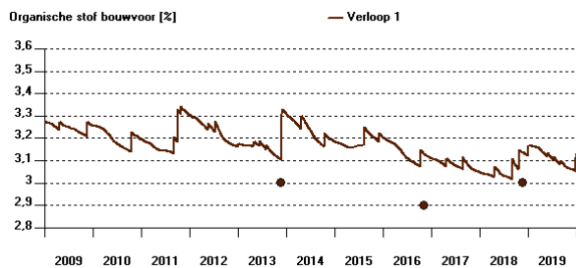
J10-6 Biologisch Ploegen



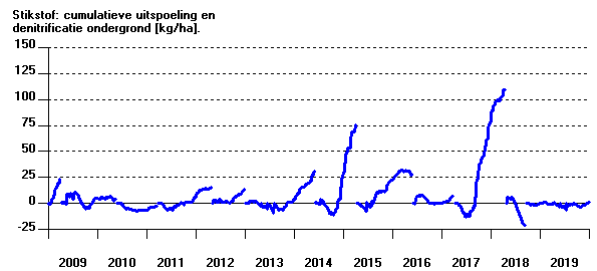
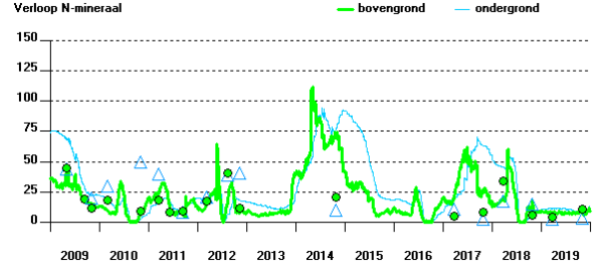
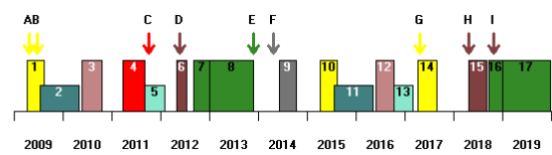
Netto uitspoeling naar ondergrond: 35 kg/ha/jr



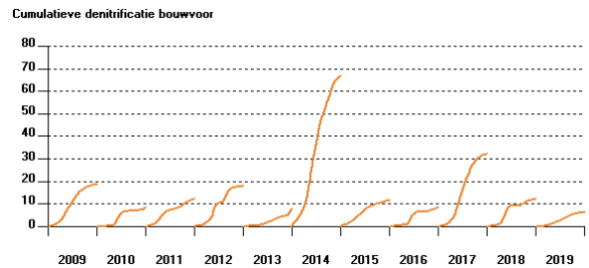
Denitrificatie: 23 kg/ha/jr



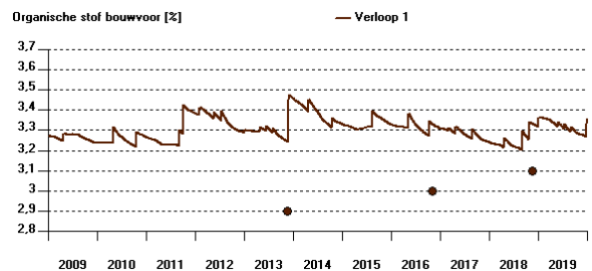
J19-6 Biologisch Minimaal



Netto uitspoeling naar ondergrond: 35 kg/ha/jr



Denitrificatie: 18 kg/ha/jr



Correspondentie adres voor dit rapport:

Postbus 430
8200 AK Lelystad
T 0320 29 11 11
www.wur.nl/plant-research

Rapport WPR-880

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

Rapport WPR-880

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.
