

Planty Organic 5 jaar: evaluatie van bodemvruchtbaarheid, stikstofhuishouding en productie

Geert-Jan van der Burgt
Carina Rietema
Michiel Bus

Onderzoek Louis Bolk Instituut
in opdracht van:

de natuurlijke kennisbron

© 2017 Biowad, Louis Bolk Instituut

Planty Organic 5 jaar: evaluatie van bodemvruchtbaarheid, stikstofhuishouding en productie.

Geert-Jan van der Burgt, Carina Rietema, Michiel Bus

Zoekwoorden Planty Organic, stikstof, bodem organische stof, maaimeststoffen, fosfaat, kringloop, Ndicea

Publicatienummer 2017-037 LbP

40 pagina's

Dit rapport kunt u downloaden via www.louisbolk .nl en via www.biowad.nl

www.louisbolk.nl
info@louisbolk.nl
T 0343 523 860
Kosterijland 3-5
3981 AJ Bunnik
@LouisBolk

Louis Bolk Instituut: onafhankelijk, internationaal kennisinstituut ter bevordering van duurzame landbouw, voeding en gezondheid

Voorwoord

Planty Organic is een ambitieus project. We willen laten zien dat biologische akkerbouw met volledig eigen stikstofvoorziening en niet-kerende grondbewerking in praktijk haalbaar is met goede resultaten op het terrein van People – Planet – Profit, en dat de hier toegepaste agro-ecologische mechanismen van nut kunnen zijn voor de verduurzaming van de hele landbouw. Het zou ons echter niet verbaasd hebben als zonder mestaanvoer de productie binnen enkele jaren in zou zakken. We zijn inmiddels zeven jaar onderweg. Deze tussentijdse evaluatie van vijf jaar, 2012-2016, laat zien dat onze eerdere bedenkingen ten aanzien van het systeem onterecht waren. De ambities zijn helemaal waargemaakt en het systeem is levend en robuust gebleken. Er ligt echter ook nog een flink aantal vragen open die om beantwoording vragen. Daar is voortzetting van Planty Organic voor nodig, in aansluiting op andere onderzoeksprojecten. Met deze publicatie willen we zowel de reguliere als de biologische akkerbouw inspireren om verdere stappen richting duurzaamheid en CO_2-neutraliteit te zetten. Daarnaast willen we andere stakeholders van de groene buitenruimte uitnodigen om als partner in te stappen in Planty Organic. Met een op andere onderzoeklocaties afgestemde onderzoekagenda kan Planty Organic ook de komende vijf jaar baanbrekende en inspirerende resultaten opleveren.

We bedanken de initiatiefnemers van Planty Organic: de Vereniging van biologische boeren in het Waddengebied 'BioWad'. We bedanken uiteraard de organisaties die met financiële bijdragen het Planty Organic project mogelijk hebben gemaakt: provincie Friesland, Provincie Groningen, Rabobank en Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie. Tevens danken we SPNA, Louis Bolk Instituut en Avestura voor respectievelijk de verzorging van de proefvelden, de wetenschappelijke begeleiding en de projectleiding. Speciale dank ten slotte gaat uit naar de twee genoemde provincies die de voortgang van dit project in 2017, en daarmee ook deze tussentijdse evaluatie mogelijk hebben gemaakt.

Namens de Stichting BioWerk,
Wridzer Bakker
Voorzitter

Inhoud

Samenvatting **7**

Summary **9**

1 Inleiding en achtergrond **11**

2 Vraagstelling binnen de evaluatie **12**

3 Modellering met Ndicea **13**
3.1 Korte modelbeschrijving 13
3.2 Voorbeeld perceelmodellering Planty Organic 15
3.3 Kwaliteit van de modellering van Planty Organic 17
3.4 Bedrijfsontwerp-2 18

4 Werkwijze en resultaten **20**
4.1 Uitvoerbaar in praktijk 20
4.2 Opbrengstniveau 21
4.3 Bodemvruchtbaarheid 22
4.4 Nutriënteninhoud gewassen 25
4.5 Milieuprestaties 27
4.6 Klimaatprestaties 28
4.7 Interne processen 29

5 Discussie **32**

6 Algemene conclusies **35**

7 Aanbevelingen **36**

Literatuur **37**

Bijlage 1: Gemeten en gesimuleerde waarden N-mineraal **38**

Bijlage 2: Selectie van geïndexeerde bodemparameters **39**

Bijlage 3: Nutriënteninhoud van gewassen **40**

LOUIS BOLK INSTITUUT

Samenvatting

In het Planty Organic proefveld, gelegen op proefbedrijf 'Kollumerwaard' van SPNA, wordt een volwaardig biologisch akkerbouwsysteem ontwikkeld met drie basis uitgangspunten:

- volledig eigen stikstofvoorziening middels leguminosen
- inzet van (eigen) maaimeststoffen
- niet-kerende grondbewerking

De gegenereerde kennis en ervaring zal ten goede komen aan zowel de reguliere als de biologische akkerbouw. Het proefveld omvat zes percelen van bijna 0,8 hectare. Er is sprake van een zesjarige vruchtwisseling, dus ieder gewas is ieder jaar aanwezig.
Het project is gestart in 2011. Van ieder afzonderlijk jaar is sindsdien een rapportage verschenen. Voor deze evaluatie van de systeemontwikkeling en –prestaties is het opstartjaar achterwege gelaten en zijn de vijf jaren van 2012 tot en met 2016 geanalyseerd.

Het blijkt dat de gekozen uitgangspunten daadwerkelijk gerealiseerd kunnen worden. Vanaf aanvang is er uitsluitend bedrijfseigen stikstof via leguminosen aangevoerd en door middel van maaimeststoffen, groenbemesters en gewasresten beschikbaar gekomen voor de gewassen. De opbrengsten liggen op een redelijk niveau en de onkruiddruk was beheersbaar. De bodem- en gewasanalyses op NPK en sporenelementen laten geen dalende tendens zien. Dit type grond heeft een dusdanige voorraad aan mineralen dat vijf jaar bedrijfsvoering zonder externe aanvoer geen analyseerbare verarming van bodem of gewas tot gevolg heeft.
Het organische stof gehalte van de grond is jaarlijks gemeten. Deze metingen hebben een te grote foutenmarge om uitsluitsel te geven. De trend over de vijf jaar toont echter een bescheiden groei van 0,03 % per jaar. Dat is opmerkelijk voor een systeem zonder externe aanvoer van organische stof.
De zes percelen zijn ingevoerd in het stikstof en organische stof model Ndicea. De gemeten en de gemodelleerde waarden van N-mineraal in de grond komen voldoende goed overeen. Het model lijkt de stikstofdynamiek van de grond goed te beschrijven.
De modelberekeningen van de zes percelen laten een evenwicht zien in het organische stof gehalte van de bodem. Net als bij de metingen is er sprake van een onzekerheidsmarge.
De in het model berekende uitspoeling ligt zeer laag. Dat kan verklaard worden door de gemiddeld zeer lage niveaus N-mineraal en een zeer grote mate van grondbedekking gedurende het jaar door gewassen, waaronder de maaivrucht gras/klaver en in latere jaren luzerne/klaver voor de maaimeststof, en waar mogelijk groenbemesters.
De modellering maakt het mogelijk de interne stromen in detail in beeld te brengen. Het blijkt dat er, ten opzichte van de afvoer in producten, zeer veel stikstof en fosfaat (en dus ook de overige nutriënten) intern circuleert in de vorm van wortel- en gewasresten, groenbemesters en de maaivrucht (maaimeststof). In hoeverre deze intensieve interne kringloop een wezenlijk onderdeel is van de systeemstabiliteit en productiviteit zou verder bestudeerd kunnen worden.

Waar de stikstoflevering uit organische stof in toenemende mate betrokken wordt bij het bemestingsadvies voor stikstof is dat bij fosfaat niet het geval. Dit proefveld biedt de mogelijkheid het belang van interne fosfaatstromen voor de fosfaatvoorziening van gewassen en het fosfaat bemestingsadvies nader te bestuderen.
De negatieve mineralenbalans van de voorgaande vijf jaar (alleen afvoer van producten, geen aanvoer van wat dan ook) is geen duurzaam systeem. Het leeghalen van fosfaatmijnen is dat echter

ook niet. Ter compensatie van de afvoer met producten zou vanaf 2018 een bescheiden aanvoer van compost kunnen komen te staan om de fosfaatbalans op nul te krijgen. Vanuit onderzoekstechnisch oogpunt kan het echter aantrekkelijk zijn om de negatieve fosfaatbalans nog een of meer jaren te handhaven.

Naast een redelijke fysieke en financiële opbrengst levert Planty Organic de volgende producten zonder dat daar vergoeding tegenover staat:
zeer lage nitraatuitspoeling, geen ammoniakemissie, vermoedelijk zeer geringe methaan- en lachgasemissie, behoud of verbetering van bodemvruchtbaarheid, geen emissie van gewasbeschermingsmiddelen naar lucht of water, hoge bovengrondse biodiversiteit, vermoedelijk hoge bodembiodiversiteit, bescheiden koolstofopslag in de bodem, geen gesleep met dierlijke mest, geen dierenwelzijnsvraagstukken.

De volgende onderwerpen voor vervolgonderzoek liggen open:

- Stikstofdynamiek: zijn er nog keuzes wat betreft gewassen, bemestingsmomenten en kwaliteit van de meststoffen zodat de stikstofbeschikbaarheid voor de hoofdgewassen iets toeneemt (en dus de opbrengstpotentie) zonder dat het systeem wezenlijk verandert?
- Organische stof: hoeveel CO_2 wordt vastgelegd en wat zijn de (maatschappelijke en bedrijfskundige) baten van een verdere groei van het bodem organische stof gehalte?
- Systeemstabiliteit: wat is de rol van de (diepte en intensiteit van) beworteling, de interne organische stof stromen en nutriënten stromen t.a.v. stabiliteit en productiviteit?
- Wat is de rol van het bodemleven t.a.v. stabiliteit en productiviteit van het systeem?
- Fosfaatdynamiek: welk deel van de fosfaatopname van gewassen komt rechtstreeks uit mineralisatie van bodem organische stof, en kan deze kennis benut worden om het fosfaat bemestingsadvies in Nederland aan te passen? In hoeverre dragen de gewassen bij aan fosfaatmobilisatie vanuit minder makkelijk opneembare fosfaatvoorraden?
- CO_2 footprint: wat is de CO_2 footprint van dit akkerbouwsysteem zonder mestaanvoer en met minimale grondbewerking in vergelijking met andere akkerbouwsystemen, zowel biologisch als conventioneel?

Summary

In the Planty Organic experimental field, located at the SPNA location 'Kollumerwaard', an organic arable farming system is developed based on three principles:

- Nitrogen input fully based on leguminous crops
- Use of farm-produced cut-and-carry fertilizers
- Reduced tillage; no ploughing.

The results of this research will be available for improvements in both organic and conventional arable farming. The experimental site consists of six plots, 0,8 hectare each. There is a six-year rotation, so each crop is present each year. The project started in 2011. Since 2012 year-reports have been published. For this evaluation of the system results the start-up year has been left and the data of 2012 – 2016 are used for analysis.
It has been shown possible to fulfil the three principles. Nitrogen deliverance to the crops has been realized by means of cut-and-carry fertilizers, green manures and crop residues. Yield level was at an acceptable level and the weed pressure was controllable. Analysis of soil and crops does not show a trend to decrease. This soil type has such a mineral supply that five years without adding minerals does not result in a decrease in mineral content of soil and crops.

The organic matter content of the soil has been measured each year. The measurements' error is too big to enable reliable statements on changes. Five years of data show a trend towards a small increase of 0.03 % per year. This is remarkable for a system without external organic matter input. Data from the six plots have been used in the Ndicea nitrogen and organic matter model. The differences between measured and simulated levels of soil mineral N are relatively small. The model seems to give a reliable description of the systems' nitrogen dynamics.

The simulated organic matter dynamics of the six plots indicate a stable situation. As is the case with the measurements, there is uncertainty in the modelling.
Nitrogen leaching as simulated in Ndicea is very limited. This can be explained by the, in average, very low levels of soil mineral nitrogen, and by the relatively high rate of crop cover during the years by cut-and-carry fertilizers grass/clover and alfalfa/clover and by green manures.
The modelling enables a detailed view into the internal nutrient dynamics. This shows that, related to the output in products, a large amount of nitrogen and phosphorus (and other nutrients) is circulating by means of root- and crop residues, green manures and cut-and-carry fertilizers. This high rate of circulation might be an essential factor in system stability and productivity.
Nitrogen mineralisation out of different sources of organic matter is more and more involved in nitrogen fertilization recommendations. In case of phosphorus this is up to now not explored. This experiment offers an opportunity to study the importance of the internal phosphorus circulation related to phosphorus availability for crop growth.
Due to absence of input (except for nitrogen: leguminous crops) there is a negative mineral balance for all nutrients, which is not sustainable. Mining of phosphorus (and other nutrients) is not sustainable either. As compensation for the loss of nutrients by selling produce, a limited input of compost could be considered, with phosphorus equilibrium as target. On the other hand, for an interesting contrast with other systems and the study of internal phosphorus dynamics, a zero input strategy might be continued for some years.

LOUIS BOLK INSTITUUT

Besides the produce, the Planty Organic system delivers services without being paid for: very low nitrogen leaching, no ammonium emission, very low methane and nitrous oxide emissions, preservation or increase of soil fertility, no emissions of crop protection residues to water or air, a high above-ground biodiversity, probably a high soil biodiversity, probably limited carbon dioxide storage, no manure transport, no animal welfare violence.

There are items for further research:

- Nitrogen dynamic: minor changes in crops, green manures, timing and quality of cut-and-carry fertilizers in order to increase the nitrogen availability for the main crops (yield potential) without fundamentally changing the system.
- Organic matter: the amount of carbon dioxide fixed in the soil, and the related profits for society and farm.
- System stability: the role of root depth and root intensity, the role of internal organic matter and nutrient dynamics on system stability and system productivity.
- The role of soil life related to stability and system productivity.
- Phosphorus dynamics: which part of crop uptake is related to phosphorus mineralisation out of soil organic matter, and can this knowledge be operationalized in the phosphorus recommendation approach in the Netherlands? The role of cut-and-carry fertilizers and green manures in mobilizing soil phosphorus supply.
- Carbon dioxide food print of this arable farming system without input of manure and with reduced tillage, compared to other arable systems, both conventional and organic.

1 Inleiding en achtergrond

De landbouw staat voor grote uitdagingen. Een aangescherpt mestbeleid maakt dat de (organische) mesttoevoer naar de akker- en tuinbouw beperkt is vanwege een beperking in fosfaat- en stikstof aanvoer. Daarbij gaat het om zowel kunstmest als dierlijke mest en compost, en dus ook om de organische stof verzorging van de Nederlandse landbouwgronden. De biologische sector heeft nog een extra opgave: ze wil toewerken naar het (nagenoeg) uitbannen van het gebruik van dierlijke mest uit de reguliere landbouw. Verschillende zaken combinerend komt het er op neer dat:

- ieder bedrijf baat heeft bij het zo veel mogelijk binnenhouden van stikstof
- ieder bedrijf de opgave heeft om met minder fosfaataanvoer de productie te behouden
- dat de biologische akker- en tuinbouw sterker dan voorheen aangewezen zal zijn op eigen stikstofbinding (van der Burgt, 2012).

Het project Planty Organic biedt de kans zicht te krijgen op deze drie vraagstukken. Op een proefveld van 5 hectare op proefbedrijf de Kollumerwaard van SPNA (www.spna.nl) ligt een biologische akkerbouwrotatie van zes jaar / zes gewassen van 0,8 hectare elk. Bouwplan en bemesting zijn zodanig ingericht dat aan de volgende eisen wordt voldaan (van der Burgt et al., 2012):

- Volledig eigen stikstofvoorziening door stikstofbinding met gras-klaver of luzerne-klaver en groenbemesters; inzet van maaimeststoffen om de gewonnen stikstof te verdelen.
- Geen aanvoer van dierlijke mest of compost.
- Voldoende stikstof om een goede opbrengst en voldoende kwaliteit van de te verkopen gewassen mogelijk te maken.
- Een bouwplan naar draagkracht, zowel vanuit het oogpunt van het behoud van bodemkwaliteit als uit het oogpunt van de stikstofvoorziening.
- Instandhouding van het bodem organische stof gehalte.
- Tot op zekere hoogte een voor de regio representatief bouwplan; in ieder geval representatieve gewassen.
- In de winter zo veel mogelijk begroeide percelen.
- Afwisseling van maaivruchten met andere gewassen.
- Niet-kerende, en zo minimaal mogelijk grondbewerking.

Dit systeem is in 2011 aangelegd en heeft met ingang van 2012 de gewenste vruchtvolgorde. Dit rapport omvat een evaluatie van de jaren 2012 – 2016. Van alle jaren afzonderlijk zijn rapportages verschenen (van der Burgt 2012; Hospers et al., 2014a, 2014b, 2015, 2017).
De keuze om de afvoer van mineralen met de producten niet te compenseren door aanvoer van mest of compost is opmerkelijk. De gedachte daarachter is tweeledig. Als eerste is het merkwaardig om (bij wijze van voorbeeld) fosfaatmijnen uit te putten terwijl er op dit type grond een voorraad fosfaat in de bodem aanwezig is. Eerst dat maar eens mobiliseren. Ten tweede kan, door het extreem op te zoeken (géén fosfaataanvoer), inzicht verkregen worden in de fosfaatdynamiek onder een negatieve fosfaat balans. Vragen als ‘Wat is de rol van diepe beworteling?’, ‘Wat is de rol van een grote fosfaat turnover t.o.v. fosfaatafvoer?’, ‘Wat is de rol van fosfaatmineralisatie in de fosfaatvoorziening van gewassen?’, ‘Kan de fosfaatvoorraad in de grond gemobiliseerd worden?’ kunnen met behulp van dit proefveld verkend worden. Een zelfde gedachtelijn geldt voor vele andere nutriënten.

2 Vraagstelling binnen de evaluatie

De evaluatie heeft als doel een aantal vragen te beantwoorden en nieuwe of vervolg-gerelateerde onderzoeksvragen te formuleren.
De kwantitatief of kwalitatief te beantwoorden vragen zijn de volgende, met tussen haakjes de paragraaf waarin het behandeld wordt:

- Is het ontworpen systeem in praktijk uitvoerbaar? (paragraaf 4.1)
- Welk opbrengstniveau kan binnen dit, naar verwachting stikstof-gelimiteerde systeem, gerealiseerd worden? (paragraaf 4.2)
- Wat zijn de consequenties voor de bodemvruchtbaarheid, afgemeten aan het organische stof gehalte en de nutriëntenvoorraad? (paragraaf 4.3)
- Heeft het teeltsysteem consequenties voor de nutriënteninhoud van de gewassen? (paragraaf 4.4)
- Wat zijn de milieuprestaties van het systeem, afgemeten aan stikstofuitspoeling, ammoniakemissies en emissies van gewasbeschermingsmiddelen? (paragraaf 4.5)
- Wat zijn de klimaat-gerelateerde prestaties van het systeem in termen van CO2 vastlegging in de grond, CO2 footprint in het algemeen (inclusief methaan en lachgas emissies)? (paragraaf 4.6)

Het project, het proefveld en de bedrijfsregistratie zijn niet zodanig dat al deze vragen kwantitatief beantwoord kunnen worden. Waar mogelijk wordt gerekend, waar dat niet mogelijk is wordt een beredeneerd resultaat beschreven. Per behandelde vraag zal de gehanteerde werkwijze beschreven worden. Daarbij speelt de modellering van de stikstof- en organische stof dynamiek met behulp van het model Ndicea (van der Burgt et al., 2006) soms een belangrijke rol. Om dat te verantwoorden wordt, voorafgaand aan de beantwoording van de vragen, de modelbenadering beschreven en geëvalueerd (hoofdstuk 3). Daar wordt ook een aangepast bedrijfsontwerp geïntroduceerd. Dat betreft dan in de basis het oude bedrijfsontwerp (van der Burgt, 2012), maar dan bijgesteld met de ervaringen van zes jaar praktijk. Dit ontwerp speelt een rol bij de werkwijze in paragraaf 4.5, 4.6 en 4.7

3 Modellering met Ndicea

3.1 Korte modelbeschrijving

Ndicea staat voor Nitrogen Dynamics In Crop rotations in Ecological Agriculture. De basisgedachte achter de ontwikkeling van het model was om boeren en adviseurs op een eenvoudige manier inzicht te geven in de stikstofbeschikbaarheid gedurende het groeiseizoen. Deze gedachte wordt gevoed door de wetenschap dat bij exclusief gebruik van organische mest het afstemmen van stikstof beschikbaarheid op gewasbehoefte complexer is dan bij gebruik van kunstmest-stikstof. In de loop der tijd is de belangstelling vanuit de conventionele landbouw voor de bodemprocessen flink toegenomen. Er is nog geen ander of beter instrument ontwikkeld, dus het model Ndicea staat in Nederland nog steeds bovenaan de lijst als het gaat om inzichtelijk maken van de stikstofdynamiek, zowel in de conventionele als de biologische landbouw. Een wetenschappelijke beschrijving en verantwoording staat in Van der Burgt et al, 2006.
Het model bestaat uit drie onderdelen: een bodem/water model, een bodem/organische stof model, en een gewasmodel. In de onderstaande secties worden deze onderdelen toegelicht.

Bodem/water

De bodem heeft twee lagen: de bouwvoor en de 2^{e} bodemlaag. De dikte van beide lagen kan ingesteld worden. Voor de dikte van de bouwvoor wordt meestal ploegdiepte aangehouden. De dikte van de 2^{e} bodemlaag hangt af van de maximale bewortelingsdiepte. De organische stof dynamiek speelt zich voornamelijk af in de bouwvoor. Watertoevoer in de vorm van neerslag en irrigatie vindt plaats in de bouwvoor. Voor verschillende bodemtypen, vooral textuur-bepaald, zijn default vochtkarakteristeken beschikbaar. Op basis daarvan blijft water langer hangen of spoelt sneller door naar de 2^{e} bodemlaag, of, vanuit de 2^{e} bodemlaag, naar de ondergrond en daarmee uit het systeem. Er verdampt vocht van braakliggende grond en door gewasgroei. Per dag wordt de vochtbalans berekend (aanvoer, verdamping, opslagcapaciteit) en wat er teveel is spoelt uit. Bij tekort kan capillaire opstijging plaatsvinden, afhankelijk van de grondwaterstand.
Met uitspoelend water wordt ook stikstof uitgespoeld, van de bouwvoor naar de 2^{e} bodemlaag of van de 2^{e} bodemlaag naar de ondergrond. In dat laatste geval is de stikstof verloren gegaan voor het bedrijf en is sprake van milieubelasting.

Bodem/organische stof

De bodem bevat bij aanvang een zekere hoeveelheid organische stof, door de modelgebruiker ingevoerd als % organische stof in de bouwvoor. Daarnaast wordt per gewas (op het moment van de oogst) en bij iedere organische bemesting (op het moment van toediening) organische stof toegevoerd. Voor de gewassen is dat altijd de wortelmassa, vaak de gewasrest en soms het product (bij een mislukt en niet-geoogst gewas). Voor alle gebruikelijke gewassen zijn default data beschikbaar die door de gebruiker aangepast kunnen worden. Het model bevat een lijst van gebruikelijke mestsoorten met default waarden voor mineralen-inhoud en organische stof.
Alle soorten organische stof worden afgebroken volgens een uniform algoritme waarbij de belangrijkste parameter de virtuele leeftijd is. Hoe ouder, hoe langzamer de afbraak. Tijdens de afbraak veroudert een toegevoegde organische stof (bij voorbeeld mest), dus de afbraak van een bepaald soort organische stof gaat steeds langzamer in de loop van de tijd. De beginsnelheid van afbraak verschilt sterk per soort organische stof (groen blad of compost). De dagelijkse afbraak is

LOUIS BOLK INSTITUUT

verder afhankelijk van temperatuur en vochttoestand (kan dagelijks variëren) en van pH en textuur (over langere tijd vaststaand). Niet-kerende of minimale grondbewerking remt de afbraak.
Of er bij de afbraak van de organische stof stikstof vrij komt (stikstofmineralisatie) hangt af van de C/N verhouding van de organische stof. Het hangt ook af van eigenschappen van het bodemleven. Daarvoor worden default waarden gebruikt omdat die eigenschappen vrijwel nooit bekend zijn van het betreffende perceel.

Gewas

De groei van een gewas, en daarmee ook de stikstofopname, wordt op hoofdlijnen bepaald door moment van zaai, moment van volle groei en moment van oogst. Daarvoor zijn default data aanwezig die door de gebruiker aangepast kunnen worden. Verder is de groei voornamelijk temperatuur-afhankelijk, maar tekort aan bodemvocht kan de groei remmen. Het model is 'doel-georiënteerd'. Dat wil zeggen dat de gebruiker de opbrengst en stikstof-inhoud van de gewassen op voorhand inschat (verwachting) of achteraf invult (evaluatie, nadat opbrengst en eventueel stikstofgehalte zijn vastgesteld) en dat het model daar naar toe rekent.

Minimale vereisten

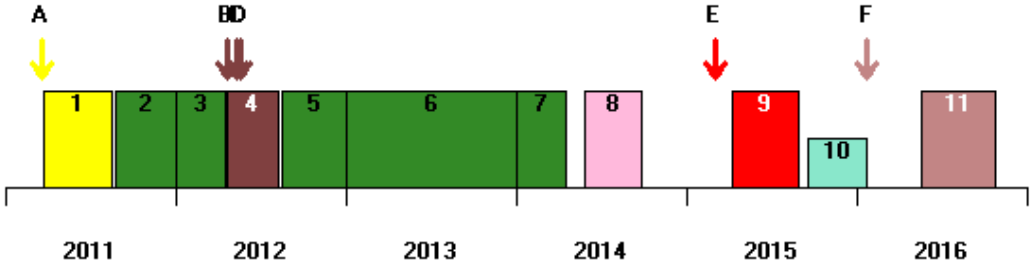
Het model speelt zich af op perceelniveau. Om de effecten van (mineralisatie van) organische stof goed te kunnen berekenen zijn meerjarige scenario's nodig. Het gebruik van het model voor een eenjarig scenario biedt nauwelijks voordelen boven de gebruikelijke berekeningen van stikstofbeschikbaarheid op jaarbasis. Aanbevolen wordt minimaal twee jaar historie mee te nemen, dus minimaal een driejarig scenario op te bouwen. Daarvoor zijn gegevens nodig van de grondsoort, de verbouwde gewassen en de uitgevoerde bemestingen van dat perceel in die periode. Het minimum aan gegevens voor de grond is grondsoort, dikte van de bouwvoor en % organische stof. Het minimum voor gewassen is dat datum van zaai, datum van oogst en opbrengst bekend zijn. De rest van de benodigde data wordt dan ontleend aan de default gewas database. Voor mest is met minimum de soort mest, de datum van toedienen en de hoeveelheid, maar vrijwel altijd zal van organische mestsoorten ook de mineraleninhoud bekend zijn. Zo niet, dan wordt de default dataset gebruikt.

Output

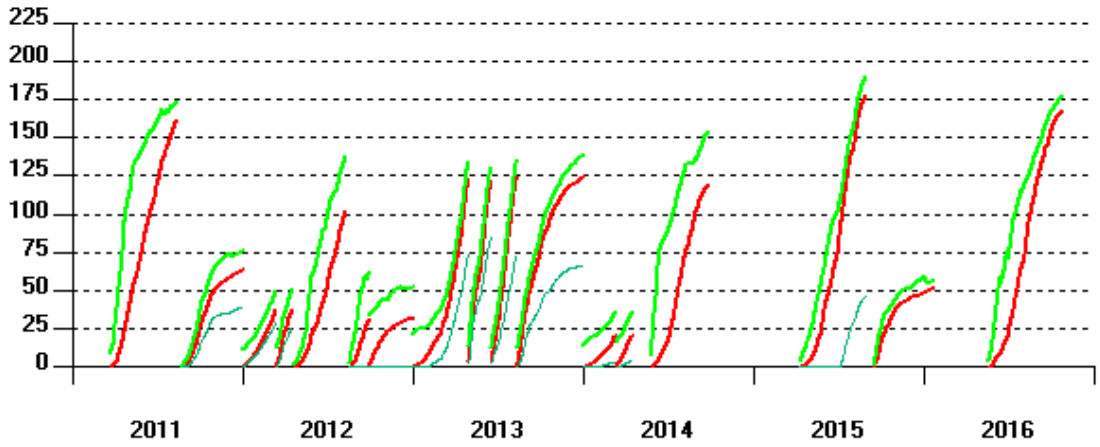
De output bestaat uit grafieken over de stikstof- , water- en organische stof dynamiek. Voor de agrarische ondernemer of adviseur is de als eerste verlangde output de grafiek die de stikstof opname van het gewas relateert aan de berekende stikstof beschikbaarheid. Eenvoudig gezegd: als bij een toekomstverkenning (dus een ingevulde *verwachte* opbrengst) de beschikbaarheid lager is dan de opname is de verwachting niet realistisch of is de modelberekening niet goed. Als bij een evaluatie (dus een ingevulde *gerealiseerde* opbrengst) de beschikbaarheid lager is dan de opname klopt de modelberekening zeker niet. Dat kan dan liggen aan onjuiste gewasgegevens (als bij voorbeeld de default stikstofinhoud gebruikt is omdat het niet gemeten is) maar ook in algemene zin aan een, blijkbaar, onjuiste berekening.
Controle of het model een redelijke beschrijving van de werkelijk geeft is mogelijk. Als er enkele keren een N-mineraal bepaling van de bouwvoor of de 2^{e} bodemlaag heeft plaatsgevonden kunnen deze metingen in het model ingevoerd worden en vergeleken worden met het berekende niveau op dat moment. Naarmate metingen en berekeningen dichter bij elkaar liggen mag de modelbeschrijving betrouwbaarder genoemd worden.

3.2 Voorbeeld perceelmodellering Planty Organic

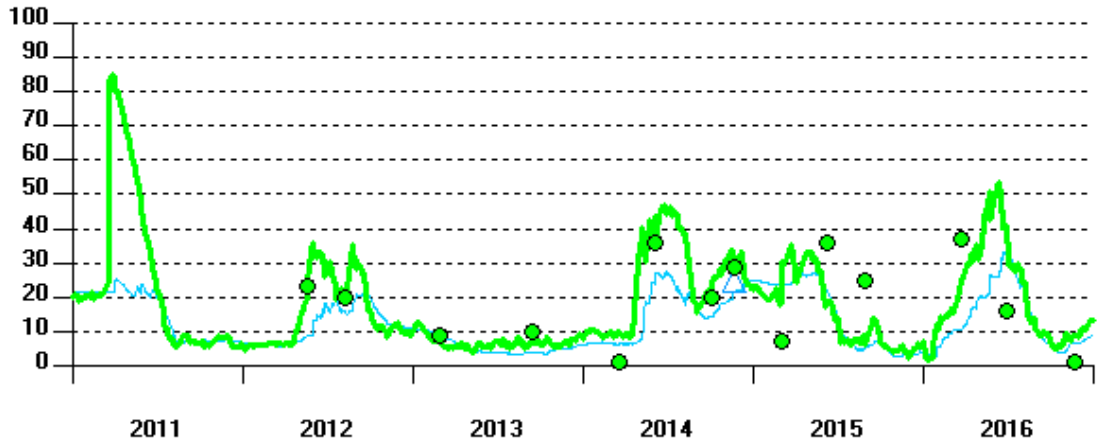
Ter illustratie volgt hieronder een deel van de output van met model Ndicea van perceel A.
In Figuur 1 staan de opeenvolgende gewassen en de uitgevoerde bemestingen weergegeven.
In Figuur 2 zijn voor stikstof het aanbod (groen) en de vraag (rood) weergegeven. Voor een goede modellering dient de groene lijn altijd boven de rode te liggen.
In Figuur 3 zijn de gemodelleerde niveaus N-mineraal in 0-30 (groene lijn) en 30-60 cm (blauwe lijn) uitgezet tegen de gemeten waarden (groen bolletje, blauwe driehoek). Het modelresultaat wordt als 'beter' beschouwd naarmate de lijnen dichter bij de meetpunten liggen. Zie verder paragraaf 0 .
In Figuur 4 staat de uitspoeling weergegeven. Hierbij gaat het om stikstof die uit de tweede bodemlaag (30-60 cm) uitspoelt en dus verloren gaat voor het systeem. Bij zaai van een nieuwe gewas wordt de lijn gereset op nul.
In Figuur 5 staan de gemodelleerde niveaus van de bodem organische stof en de gemeten waarden weergegeven. De meting eind 2014 springt er uit, en dat is het geval bij alle percelen. Een verklaring daarvoor ligt naar alle waarschijnlijkheid in de monstername of de analyse, niet in het bedrijfssysteem.



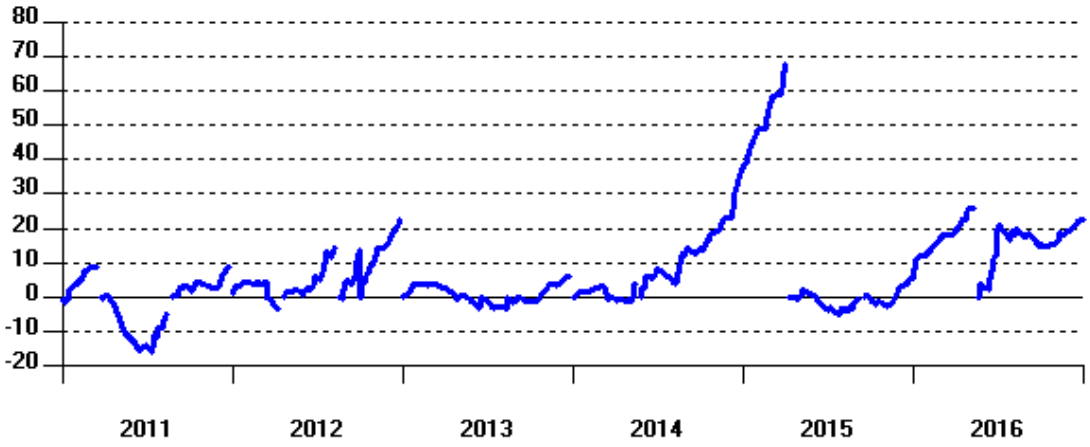
Figuur 1: Gewassen en bemestingen van perceel A
1 = Haver 2,3 = Grasklaver 4 = Aardappel 5,6,7 = Grasklaver 8 = Pompoen 9 = Veldboon 10 = Gele mosterd 11 = Winterpeen A = Rundvee drijfmest B,C,D,E,F = maaimeststof



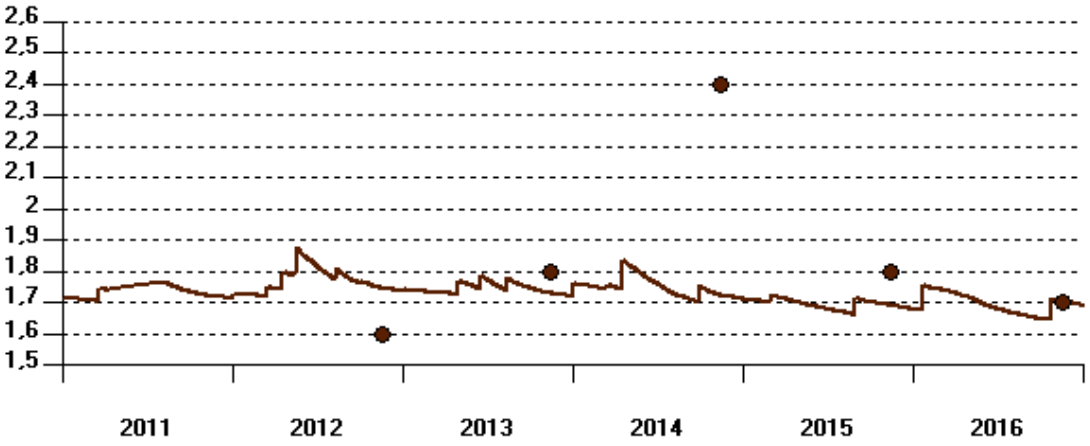
Figuur 2: Beschikbare stikstof en gewasopname
y-as: kg N per hectare. Groen: beschikbare stikstof. Rood: gewasopname. Blauwgrijs: N-binding door leguminosen



Figuur 3: Gemodelleerde en gemeten niveau's bodem minerale stikstof
y-as: kg N per hectare. Modellering: groene lijn = 0-30 cm ; blauwe lijn = 30-60 cm. Meting: groene bol = 0-30 cm; blauwe driehoek = 30-60 cm.



Figuur 4: Per gewas cumulatieve uitspoeling
y-as: kg N per hectare.



Figuur 5: Verloop van de organische stof in de bouwvoor (0-30 cm)
y-as: % organische stof in 0-30 cm

3.3 Kwaliteit van de modellering van Planty Organic

Modelbeoordeling algemeen

Voor de beoordeling van de zeggingskracht van een modelscenario zijn criteria nodig. Binnen Ndicea bestaat de mogelijkheid de modeluitkomst te toetsen op drie soorten van metingen: pF in bouwvoor, het organische stof gehalte in de bouwvoor, en N-mineraal in bouwvoor en 2^{e} bodemlaag.
De pF wordt in de praktijk vrijwel nooit gemeten. De bodemwater dynamiek in het model is niet separaat wetenschappelijk gevalideerd.
Het organische stof gehalte wordt wel in praktijk met enige regelmaat gemeten. De waarde kan in Ndicea ingevoerd worden en vergeleken worden met het berekende niveau op de zelfde datum. Probleem hierbij is dat de standaard organische stof meting een afwijking heeft van 15% naar boven of beneden (mondelinge mededeling Eurofins). Veranderingen in de bodem organische stof zijn vaak veel kleiner dan de meetonnauwkeurigheid, dus de Planty Organic model-scenario's valideren op organische stof met de tot nu toe uitgevoerde metingen is niet mogelijk. Er zijn echter wel nauwkeuriger bepalingen van het bodem organische stof gehalte of bodem koolstof gehalte mogelijk.
Het niveau van N-mineraal in bouwvoor en tweede bodemlaag kan op verschillende momenten gemeten worden en vergeleken worden met het berekende niveau. N-min metingen hebben een onnauwkeurigheid van een paar procent en de verschillen van moment tot moment kunnen groot zijn. Dit is dus een geschikte parameter, en hierop is Ndicea wetenschappelijk gevalideerd (van der Burgt et al,. 2006).

Voor de beoordeling van een reeks van verschillen tussen meting en berekening van bodem N-mineraal wordt de RMSE Root Mean Squared Error gebruikt:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (sim - obs)^2}{n}}$$

n = aantal N-mineraal metingen
sim = gesimuleerde waarde van meting i
obs = gemeten waarde van meting i

In de wetenschappelijke verantwoording wordt een RMSE van 20 voorgesteld als grens tussen een voldoende modellering (RMSE <= 20) en een kwalitatief onvoldoende modellering (RMSE > 20). Hoe dichter bij nul de RMSE, hoe beter in principe de modellering.

Behalve de mate van overeenkomst tussen gemeten en gemodelleerde niveaus N-min is van belang of er sprake is van een structurele overschatting of onderschatting van het niveau. Dit gaat minder om de *kwaliteit* van de modellering als zodanig, maar meer om de vraag of er een *richting* is voor verbetering.

Beoordeling Planty Organic scenario's

Er zijn zes percelen in het proefveld die elk een eigen modelscenario hebben. Waar metingen van gehaltes beschikbaar waren zijn die gebruikt; waar geen metingen uitgevoerd zijn is gebruik gemaakt van de standaard waarden uit de Ndicea gewassen database. Dat geldt ook voor de bodemeigenschappen, met uitzondering van één parameter: die van de stikstofbinding. Deze

LOUIS BOLK INSTITUUT

parameter geeft het niveau aan waar beneden de stikstofbinding door leguminosen maximaal is. In andere woorden: hoe lager deze parameterwaarde is, hoe sterker het gewas de beschikbare minerale N in de bodem benut vóórdat er sprake is van sterke N-binding.
De Ndicea standaard waarde daarvan is 15 kg minerale N per hectare. De metingen in de jaren onder gras/klaver of luzerne/klaver/gras mengsels gaven vrijwel altijd een waarde aan lager dan 10 kg N per hectare, vaak rond de 5 en soms nagenoeg nul. Het lijkt er op dat de default waarde 15 te hoog is. Voor de modellering is daarom uitgegaan van 5 kg N per hectare.

De beoordeling van de scenario's volgens de RMSE en de richting van de afwijkingen staan weergegeven in Tabel 1. Hieruit blijkt dat de modellering van vier van de zes percelen voldoet; perceel C en F hebben een te grote afwijking (RMSE > 20 kg N per hectare). Er is geen sprake van een systematische richting van de afwijking.
Vanuit de modellering of de agronomie is er geen verklaring waarom perceel C en F minder goed beschreven lijken te worden: de uitgangssituatie en de behandelingen van alle percelen zijn vergelijkbaar. Wat opvalt is dat de metingen op alle percelen vrijwel allemaal beneden 40 kg N per hectare liggen, en dat bij perceel C en F in beide gevallen vier metingen aanzienlijk hoger liggen. Dat kan liggen aan onbegrepen bodemprocessen en dus onjuiste modellering of aan de meting zelf. De volledige dataset van gesimuleerde en gemeten waarden staat in bijlage 1

Tabel 1: RMSE en richting van afwijking van bodem N-mineraal

Perceel	n	RMSE	# Obs<Sim	# Obs>Sim
A	15	12	7	8
B	19	15	6	13
C	20	34	8	12
D	20	17	11	9
E	16	19	7	9
F	20	36	13	7

n = aantal metingen in vijf jaar ; RMSE = Root Mean Squared Error van N-mineraal geobserveerd versus gesimuleerd ; # Obs<Sim = aantal metingen dat lager uitvalt dan de modellering ; # Obs>Sim = aantal metingen dat hoger uitvalt dan de modellering

3.4 Bedrijfsontwerp-2

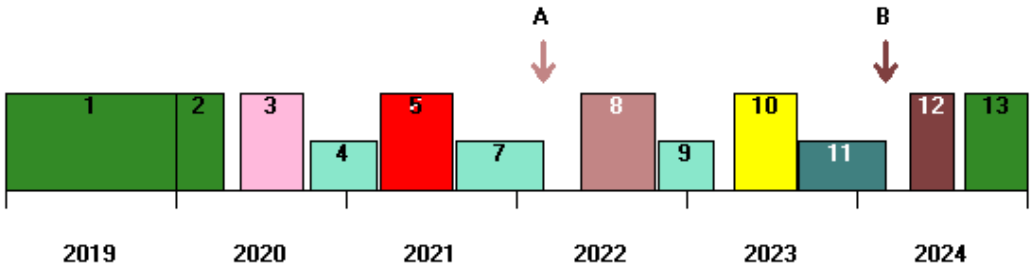
Zoals uit paragraaf 3.3 blijkt zijn de perceelscenario's gemiddeld van voldoende kwaliteit om conclusies uit te kunnen trekken. Om de stikstofdynamiek beter in beeld te krijgen is een vervolgstap gemaakt. Bij aanvang van het project is een bedrijfsontwerp gemaakt (van der Burgt, 2012) dat in een Ndicea scenario is verwerkt. Op basis van de ervaringen van de afgelopen vijf jaren en de Ndicea scenario's van de zes percelen is een nieuw, geactualiseerd bedrijfsontwerp-2 gemaakt en in één Ndicea scenario samengevat. Dat is gebeurd met de volgende uitgangspunten.

- De grote lijn van de vruchtwisseling is ongewijzigd gebleven. De gewassen in bedrijfsontwerp-2 zijn die van 2015 en 2016
- De gewasopbrengsten in bedrijfsontwerp-2 zijn de gemiddelde opbrengsten van 2014 – 2016
- De gehaltes van de gewassen, voor zover gemeten, zijn de gemiddelde waarden van de analyses van 2014 – 2016. Verder zijn de standaard waarden van Ndicea gebruikt.
- De droge stof opbrengst en de gehaltes van de maaivrucht voor maaimeststof zijn een gewogen gemiddelde van de analyses van 2014 – 2016. Gewogen gemiddelde omdat er per

jaar drie snedes zijn gemeten van verschillende omvang en gehaltes. De opbrengst van het volledige jaar luzerne/klaver is gelijk aan de uitgevoerde bemestingen met maaimeststof.

- De bemestingen in bedrijfsontwerp-2 zijn zodanig gekozen dat de stikstofdynamiek over de hele vruchtwisseling geoptimaliseerd is. Dit is iteratief vastgesteld en valt *niet* samen met wat de afgelopen jaren in praktijk uitgevoerd is.

Het geactualiseerde bedrijfsontwerp-2 ziet er als volgt uit (Figuur 6).



Figuur 6: Gewassen en bemestingen in de tijd, Planty Organic bedrijfsontwerp-2

1 = luzerne/klaver, opbrengst 9.500 kg d.s. met 3% stikstof in de d.s. (maaimeststof)
2 = luzerne/klaver, geschat 1.500 kg d.s. ingewerkt met 3% stikstof in de d.s.
3 = pompoen, opbrengst 18.000 kg vers (18,3% d.s.) met 1,52% stikstof in de d.s.
4 = rogge groenbemester, 1.200 kg d.s. ingewerkt met 2,6% stikstof in de d.s. (default waarde, niet gemeten)
5 = veldboon/zomertarwe mengteelt, opbrengst veldboon 2.500 kg (85% d.s.) met 4,71% stikstof in de d.s.; opbrengst zomertarwe 1.000 kg (85% d.s.) met 2,0% stikstof in de d.s.
7 = graan groenbemester, 1.700 kg d.s. ingewerkt met 2,6% stikstof in de d.s.
8 = winterpeen, opbrengst 62.000 kg vers (10,4% d.s.) met 1,10% stikstof in de d.s.
9 = rogge groenbemester, 1.200 kg d.s. ingewerkt met 2,6% stikstof in de d.s. (default waarde, niet gemeten)
10 = haver, opbrengst 4.500 kg (85% d.s.) met 1,76% stikstof in de d.s.
11 = wikke groenbemester, 1.800 kg d.s. ingewerkt met 4,00% stikstof in de d.s. (default waarde, niet gemeten)
12 = aardappel, opbrengst 30.000 kg (21% d.s.) met 1,28% stikstof in de d.s.
13 = luzerne/klaver, geschatte groei najaar 1.500 kg d.s met 2,6% stikstof in de d.s.
A = maaimeststof luzerne/klaver, 5.000 kg d.s. met 3,00% stikstof in de d.s.
B = maaimeststof luzerne/klaver, 4.500 kg d.s. met 3,00% stikstof in de d.s.

LOUIS BOLK INSTITUUT

4 Werkwijze en resultaten

4.1 Uitvoerbaar in praktijk

Veel van de praktische werkzaamheden in Planty Organic wijken niet structureel af van reguliere landbouwpraktijken. Er worden gewassen gepoot/gezaaid, onkruid gewied en vervolgens geoogst. Groenbemesters worden ingezaaid en het volgende jaar word de grond voorbewerkt met bestaande teeltmethoden. Nieuw in het systeem Planty Organic is het uitrijden van de maaimeststoffen.



Vanuit de kuilpakken worden deze met een vaste-mest verspreider uitgereden op het land, en licht ingewerkt alvorens er gepoot/gezaaid gaat worden. Praktisch is het belangrijk dat de maaimeststof snel genoeg kan verteren en niet bij het poten/zaaien een belemmering vormt voor het bouwen van ruggen of het wegleggen van zaden. Ook de hoeveelheid droge stof dat de grond in staat is te verteren en oppervlakkig op te nemen, is een nieuw aspect waarmee praktisch weinig ervaringen zijn.
De ervaring in Planty Organic is dat het uitrijden en inwerken van de kuil goed gaat, en een bodem wat dat betreft veel aankan. Om de verteerbaarheid van de kuil op peil te houden, is er na een aantal seizoen gekozen om de gemaaide leguminosenmengsels natter in de kuilpakken weg te zetten, zodat het in het vroege voorjaar eerder verteerd en weer ter beschikking komt in het systeem. De ervaringen hiermee zijn goed.



In het originele bouwplan zat bloemkool, maar na tweejaren van stagnerende groei is dit gewas vervangen door de pompoen. Het verschil in stikstof behoefte vroeg in het seizoen maakt dat pompoen een goed gewas is voor dit systeem. Bloemkool met een vroege hoge stikstofbehoefte past niet binnen het systeem.

Bij de maaimeststof zelf zijn in de loop der jaren veranderingen doorgevoerd. Om een zo groot mogelijke stikstof”oogst” te verkrijgen is grasklaver vervangen door een mengsel van leguminosen. Na de oogst van de aardappelen wordt nu tarwe mee gezaaid met als doel een goede beginontwikkeling te realiseren en de vrijkomende stikstof na de aardappelteelt effectief op te

nemen. Na de eerste snede speelt de tarwe vrijwel geen rol meer en is er sprake van een vrijwel volledig leguminosen-mengsel.
In de beginperiode is een deel van de maaimeststof verwerkt tot brok. Dat is niet voortgezet: de verwachte voordelen (gerichte stikstofbemesting) vielen tegen en de kosten zijn zeer hoog. Verder is in het begin getracht de eerste snede maaimeststof direct op een ander perceel als meststof in te zetten. Ook dit is verlaten: de timing is zelden goed en het vraagt een hele organisatie.



Een ander punt van aandacht was het inzaaien van het wintertarwe- veldboonmengsel. Omwille van onkruidbestrijding dienen deze in dezelfde rijen gezaaid te worden, maar het gevaar is dat de veldboon te snel ontwikkelt en hiermee de wintertarwe op achterstand zet in zijn ontwikkeling. Wanneer zomertarwe en veldboon gelijktijdig in de zaaibak worden gebracht en gezaaid worden, zal dit onderscheid te groot zijn en is het tevens lastig om alle zaden gemengd te houden in de zaaibak. Daarom is er gekozen om de boon dieper weg te leggen dan de tarwe, zodat de tarwe al een kleine voorsprong heeft ten opzichte van de opgroeiende boon. Voor het zaaien wordt er twee keer gezaaid op twee verschillende diepten.



Omdat er met het rijpadensysteem wordt gewerkt zijn de gevolgen van dit 2-keer doorrijden minimaal, maar idealiter zou er met twee aparte bakken en twee aparte sets zaaikouters gezaaid moeten worden om zo efficiënt (brandstof, tijd) ter werk te kunnen gaan. Het eindproduct van deze mengteelt (veldbonen en tarwekorrels) is een bron van stikstof, en zou tijdens het seizoen heel eenvoudig over het gewas aangebracht kan worden als extra stikstofbron. In alle jaren tot op heden is deze behoefte niet geweest voor het toevoeren van de bonen in het systeem. De afzet van dit mengsel heeft dan ook zijn weggevonden als veevoeder (stikstof en energiebron). Indien een dergelijke mengteelt gemeengoed zou worden kan ook de techniek verder ontwikkeld worden om de twee producten na oogst te scheiden, waardoor in ieder geval de tarwe voor menselijke consumptie beschikbaar zou komen.

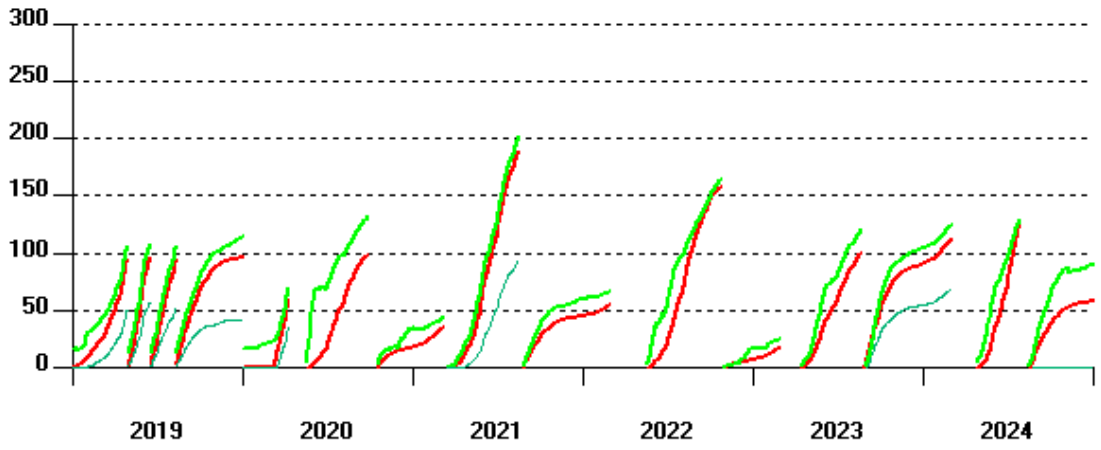
4.2 Opbrengstniveau

De opbrengsten zoals ze in bedrijfsontwerp-2 verwacht worden (zie paragraaf 3.4) zijn weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2: Opbrengsten

			Gecorrigeerde
		Opbrengst	opbrengst
	Gewas	kg/ha	kg/ha
1	Pompoen	18000	15000
2A	Zomertarwe	1000	833
2B	Veldboon	2500	2083
3	Winterpeen	62000	51667
4	Haver	4500	3750
5	Aardappel	30000	25000

In de kolom 'gecorrigeerde opbrengst' wordt verrekend dat er voor de productie van deze gewassen op vijf hectare nóg een hectare nodig is, namelijk die voor de maaimeststof. De hectare-opbrengsten inclusief de benodigde oppervlakte voor de productie van 'mest' liggen daarom 17% lager dan de gemeten opbrengsten.
De gecorrigeerde opbrengsten zijn relevant voor de vraag welk landoppervlak nodig is voor de productie. Voor de vergelijking met overige biologische bedrijven zal de eerste kolom gebruikt worden omdat 'benodigde grond voor mestproductie' vrijwel nooit in beeld wordt gebracht. Voor de vergelijking met de reguliere akkerbouw zou de tweede kolom gebruikt kunnen worden, maar dan zou daar het energieverbruik voor de productie van kunstmest aan gekoppeld moeten worden. Deze appels en peren vergelijken gaat alleen via een life cycle analysis of footprint berekening en valt buiten het bestek va deze evaluatie.
Planty Organic is duidelijk een stikstof-gelimiteerd productiesysteem (zie Figuur 7). Substantiële verhoging van de productie kan daarom niet verwacht worden. Hogere opbrengsten in biologische teelten zijn zeker mogelijk en worden ook gerealiseerd, maar de stikstofhuishouding en dus ook de verliezen naar het milieu zijn dan van een andere orde.



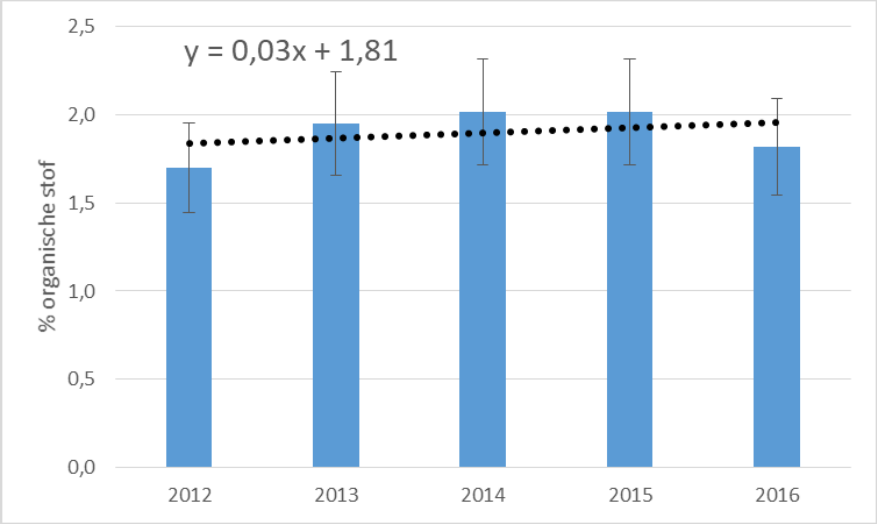
Figuur 7: Beschikbare stikstof en gewasopname bedrijfsontwerp-2
y-as: kg N per hectare. Groen: beschikbare stikstof. Rood: gewasopname. Blauwgrijs: N-binding door leguminosen

4.3 Bodemvruchtbaarheid

Ieder jaar na afloop van het groeiseizoen zijn bodemmonsters genomen en geanalyseerd. Deze zijn gepubliceerd in de jaarrapportages (van der Burgt 2012; Hospers et al., 2014a, 2014b, 2015, 2017). Vanaf 2014 betreft dat een vaste set, in 2012 en 2013 zijn minder en deels andere parameters gemeten. Dat betekent dat in de analyse van de bodem soms sprake is van 5 jaar, soms van 4 jaar en soms van 3 jaar data. Voor de analyse van gewasgegevens zijn gemiddelde waarden van de zes percelen gebruikt.

Organische stof

Het verloop van het gemeten organische stof gehalte staat in Figuur 8.



Figuur 8: Gemeten organische stof gehalte 0-30 cm

De foutenbalk is gebaseerd op een mondelinge mededeling van het laboratorium waar de metingen verricht zijn, Eurofins, Wageningen, en betreft 15% van de gemeten waarde. De trendlijn laat een lichte stijging zien, maar gezien de foutenmarge kan geen harde conclusie worden getrokken over de ontwikkeling van het gehalte organische stof.
De modellering van de organische stof van de zes percelen (Tabel 3) laat kleine variaties zien wat het gevolg kan zijn van jaarlijkse verschillen in opbrengst (en dus gewasrest), verschillen in hoeveelheid opgebrachte maaimeststof of verschillen veroorzaakt door kleine wijzigingen in het bouwplan. Gemiddeld laat de modellering een vrijwel stabiel organische stof gehalte zien.

Tabel 3: Gemodelleerd organische stof gehalte 0-30 cm

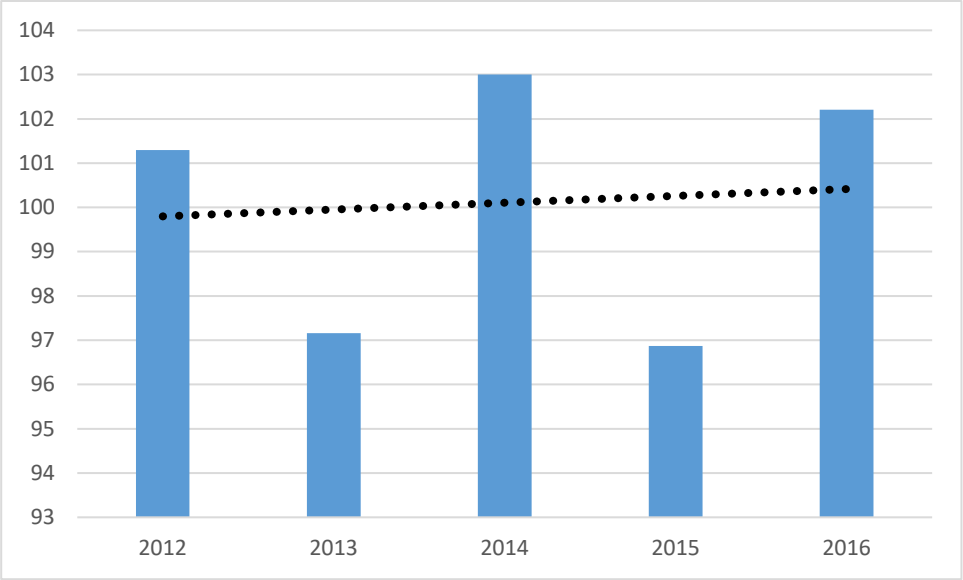
	Begin 2011	Eind 2016
	%	%
A	1,72	1,69
B	1,72	1,72
C	1,91	1,92
D	1,91	1,88
E	1,91	1,85
F	1,91	1,95
Gemiddeld	1,84	1,83

Nutriënten bodem

Bij een afwezigheid van aanvoer van mineralen zou verwacht kunnen worden dat de mineralen-inhoud van de bodem in de loop der tijd afneemt. Vanaf 2014 zijn bodemparameters bepaald zoals te zien is in Tabel 4. De metingen in 2012 en 2013 wijken daar van af. Om zicht te krijgen op een eventueel verloop van waarden in de loop van jaren zijn alle parameters geïndexeerd op 100 = gemiddelde waarde in 5 jaar (soms 3 of 4 jaar). Dat is voor alle parameters gedaan. Aangezien er geen foutmarge bekend is van de gebruikte analysemethode kan er geen degelijke analyse plaatsvinden. Gekeken is daarom naar tendensen (groei of afname in de tijd) en of die voor verschillende parameters samenvallen. Dat bleek nauwelijks het geval. Op een nog abstracter niveau zijn alle geïndexeerde parameters samengevoegd met uitzondering van de verhouding C/N

en C/S en het gehalte klei, silt en zand. De eenvoudige veronderstelling daarbij is: hoe hoger de waarde van de parameter, hoe groter de bodemvruchtbaarheid. Het resultaat staan in Figuur 9. Op basis van dit beeld kunnen geen conclusies worden getrokken over wel of niet afname van bodemvruchtbaarheid. Misschien kunnen wel vraagtekens gesteld worden bij de overall nauwkeurigheid van de bodemanalyses. Het is ten slotte erg onwaarschijnlijk dat in 2014 de gemiddelde waarde van alle parameters 5% hoger is dan in voorgaande en volgende jaren. De enige analyse met de duidelijkste tendens tot flinke toename is die van het bodemleven, maar dat betreft slechts drie metingen.

Een selectie van het verloop in de tijd van de geïndexeerde parameters is weergegeven in bijlage 2 . Dat zijn de grafieken die in meerdere of mindere mate een tendens laten zien. Geheel in overeenstemming met de afwezigheid van een tendens in de gemiddelde waarden (Figuur 9) geven de grafieken in bijlage 2 een wisselend beeld: er zijn stijgers en dalers. De toekomst zal moeten uitwijzen of er uiteindelijk echt veranderingen in fysische, chemische of biologische bodemvruchtbaarheid optreden.



Figuur 9: Geïndexeerd gemiddelde van alle bodemparameters

Tabel 4: Geanalyseerde / berekende bodemparameters, per parameters geïndexeerd op gemiddelde = 100

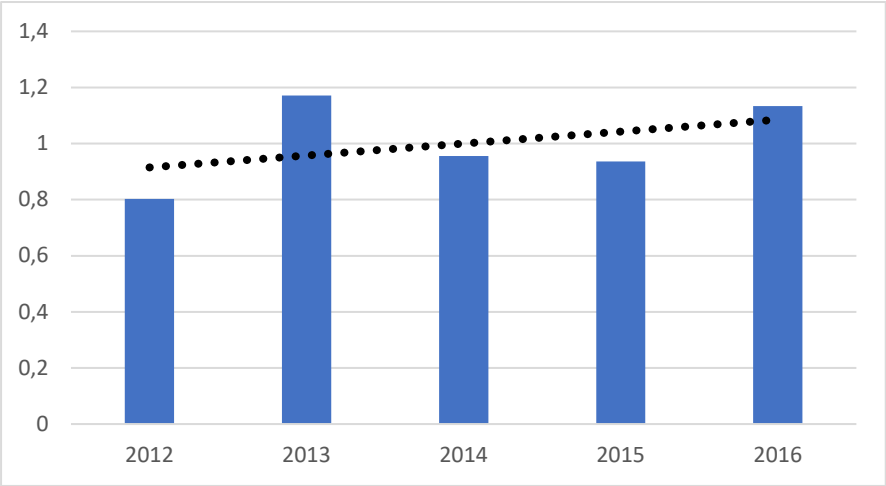
Parameter	Eenheid	Opmerking	2012	2013	2014	2015	2016
N-totaal	mg N/kg		117	92	100	97	95
C/N-ratio			87	107	102	104	100
N-leverend vermogen	kg N/jaar		118	90	100	97	95
S-totaal (1)	mg S/kg			97	93	108	101
C/S-ratio (1)				104	110	98	89
S-leverend vermogen (1)	kg S/jaar			98	93	104	105
P	mg P/kg	plant beschikbaar		102	94	90	114
P-AL	mgP2O5/100g		98	104	103	97	97
Pw	mgP2O5/l		83	118	114	90	94
K (1)	mg K/kg	plant beschikbaar		118	116	92	73
K (1)	mmol+/kg	bodemvoorraad		95	112	95	98
Ca (2)	kg Ca/ha	plant beschikbaar					
Ca-bodemvoorraad (1)	kg Ca/ha			93	102	103	102
Mg	mg Mg/kg	plant beschikbaar	100	109	115	101	76
Na (2)	mg Na/kg	plantbeschikbaar					
Si (1)	µ Si/kg	plantbeschikbaar		84	112	94	111
Fe (2)	µ Fe/kg	plantbeschikbaar					
Zn (2)	µ Zn/kg	plantbeschikbaar					
Mn (2)	µ Mn/kg	plantbeschikbaar					
Cu (2)	µ Cu/kg	plantbeschikbaar					
Co (2)	µ Co/kg	plantbeschikbaar					
B (1)	µ B/kg	plantbeschikbaar		102	124	89	85
Mo (1)	µ Mo/kg	plantbeschikbaar		77	86	79	157
Se (1)	µ Se/kg	plantbeschikbaar		77	93	92	138
Zuurgraad			103	98	99	98	101
C-organisch (1)	%			102	106	102	90
Organische stof	%		89	103	106	106	96
C-anorganisch (1)	%			92	108	100	99
Koolzure kalk (1)	%			92	109	100	99
Klei (3)	%				104	102	94
Silt (3)	%				101	106	93
Zand (3)	%				98	97	105
Klei-humus (CEC) (3)	mmol+/kg				100	101	99
CEC-bezetting (3)	%				99	101	99
Bodemleven (3)	mg N/kg				83	91	126

(1): niet gemeten in 2012
(2): een of meerdere jaren met metingen benden detectiewaarde
(3): niet gemeten in 2012 en 2013

4.4 Nutriënteninhoud gewassen

Verkoopbare gewassen

Van de gewassen is in de meeste gevallen de N-P-K inhoud vastgesteld. Daarnaast is vanaf 2014 een uitgebreidere lijst van inhoudsstoffen geanalyseerd. Dit staat in de jaarrapporten gepubliceerd, maar in enkele gevallen is er een vergissing gemaakt en zijn daar P- en K-cijfers genoteerd alsof het P2O5- en K2O gehalte waren. In bijlage 3 staan de analyses gecorrigeerd weergegeven.
Bij een afwezigheid van aanvoer van mineralen zou verwacht kunnen worden dat de mineralen-inhoud van de gewassen in de loop der tijd afneemt. Er is echter geen sprake van een duidelijk verloop in de loop van de jaren. Alle nutriënten geïndexeerd op 100 = gemiddelde over de jaren en dan alle nutriënten samengevat in Figuur 10 levert vooral wisselingen over de jaren op en een zeer bescheiden tendens tot toename.



Figuur 10: Alle nutriënten, gemiddelde waarde geïndexeerd op 100

Meer in detail bekeken (bijlage 2) is er alleen bij de micronutriënten IJzer en Mangaan (alleen gemeten in 2014 – 2016, en alleen bij aardappel, peen en pompoen die alle drie de jaren aanwezig waren) sprake van een consequente *stijging* over de drie jaren bij de drie genoemde gewassen. Het merendeel vertoond een wisselend beeld, en er zijn enkele dalende reeksen.
Conclusie: er lijkt geen sprake van een dalende nutriënten-inhoud van de gewassen in de loop van de jaren.

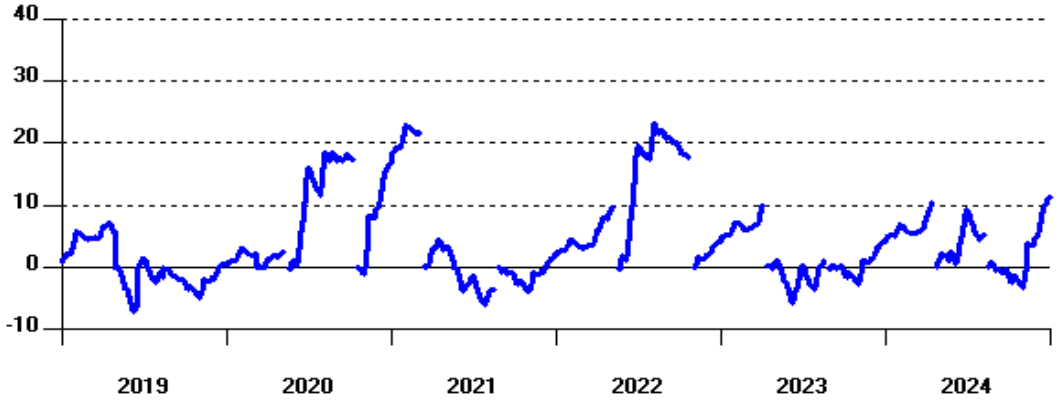
Maaimeststoffen

Het regime van de maaimeststoffen ziet er op hoofdlijnen als volgt uit. Een mengsel met diverse leguminosen en grassen/granen wordt ingezaaid in het najaar zo snel mogelijk na de oogst van de aardappelen. Het volgende jaar worden er drie snedes van geoogst en in balen bewaard.
In de eerste jaren is een deel van de oogst verwerkt tot droge brok. Dat heeft als voordeel dat er veel minder gewicht verdeeld hoeft te worden op het moment van bemesting, dat de N-inhoud veel hoger is per kg meststof, en dat eventueel gericht in de rij of rug bemest kan worden. De vrijheidsgraad van deze stikstof is hoog (van der Burgt 2008). Ook is de eerste jaren getracht de eerste snede niet in balen te persen maar direct, vers, op een ander perceel uit te rijden. Dat spaart de kosten van het balen maken en spaart transport heen en weer naar het erf. Beide methoden zijn verlaten: te duur respectievelijk organisatorisch te complex.
Het jaar volgend op het volledige gebruiksjaar wordt de eerste en enige snede niet afgevoerd maar ingewerkt en dient als bemesting voor het volggewas. In de eerste twee jaren was dat bloemkool, daarna pompoen. In totaal staat de maaimeststof dus één en driekwart jaar op het veld (van september tot mei) maar neemt de plaats in van één verkoopbaar gewas.
De maaimeststoffen vormen, samen met vlinderbloemige groenbemesters en een vlinderbloemig hoofdgewas (Veldboon), de stikstof-motor van het systeem. Zowel kg-opbrengst als stikstof-opbrengst zijn cruciaal. Er is gezocht, en er wordt nog steeds gezocht, naar de best passende combinatie van soorten en rassen.
De kg-opbrengsten en stikstof-opbrengsten staan in de jaarrapportages. Ze zijn wisselend, met soms teleurstellend lage stikstof-inhoud (rond 2,6% N in de droge stof bij grasklaver), maar soms ook met 3,2% N in de droge stof (luzerne/klaver). Daar hoort bij dat de eerste snede vaak een lager N-gehalte heeft dan de latere snedes: een normaal patroon. Hoewel dit onderdeel dus nog echt in ontwikkeling is gaan we er van uit dat het haalbaar moet zijn (het is ook gerealiseerd in 2016) om gemiddeld 9,5 ton droge stof per hectare met gemiddeld 3,0% stikstof te kunnen oogsten als maaimeststof.

4.5 Milieuprestaties

Stikstofuitspoeling

Er zijn geen metingen van de uitspoeling van stikstof gedaan. Dit onderdeel is geëvalueerd aan de hand van het bedrijfsontwerp-2 in Ndicea, zie paragraaf 3.4.
In Figuur 11 is de stikstofuitspoeling van bedrijfsontwerp-2 grafisch weergegeven. De gemiddelde uitspoeling naar dieptes beneden 60 cm bedraagt 18 kg stikstof per hectare per jaar. De stikstofdepositie wordt verondersteld 28 kg per hectare per jaar te zijn. Dit bedrijfssysteem is dus in staat depositie-stikstof actief te benutten en functioneert bij wijze van spreken als een zuiveringsinstallatie van regenwater.



Figuur 11: Uitspoeling cumulatief
y-as: kg N per hectare. De uitspoelingslijn wordt bij aanvang van een nieuw gewas op nul gezet.

Met behulp van twee aannames kan een ruwe schatting worden gemaakt van de N-inhoud van het water dat toegevoegd wordt aan het grondwater:

- Van de 18 kg verlies kan alsnog 4 kg of meer denitrificeren en 14 kg daadwerkelijk in het grondwater terechtkomen (zeer ruwe schatting gebaseerd op Jahangir et al., 2012; Zwart, 2003)
- Er is een jaarlijks neerslagoverschot van 450 mm

Bij deze aannames resulteert dit in een stikstofgehalte van het grondwater van ruim 3 mg nitraat-N per liter. Dat ligt ver beneden de wettelijke grens van 11 mg nitraat-N per liter uit de Europese Nitraatrichtlijn (Ann. 2010).
Conclusie: de stikstofuitspoeling is naar verwachting zeer gering; het landbouwsysteem functioneert de facto als waterzuivering.

Ammoniakemissie

Verreweg de belangrijkste bron van ammoniakemissie binnen de landbouw is verse dierlijke mest in de stal en bij het uitrijden. Dierlijke mest wordt binnen dit bedrijfssysteem niet toegepast. Op zeer beperkte schaal vindt ammoniakemissie plaats uit gewassen tijdens de groei en uit gewasresten na de groei. Dit is niet gemeten en maakt geen onderdeel uit van het Ndicea model. De hoeveelheden zijn naar verwachting echter uiterst gering (van Bruggen et al., 2015).
Conclusie: de ammoniakemissie is naar verwachting nihil. De bijdrage van dit systeem aan de stikstofdepositie elders is nihil.

Gewasbeschermingsmiddelen

Het betreft een biologisch bedrijfssysteem. Er zijn gedurende het evaluatietijdvak geen (binnen de biologische regelgeving toegestane) gewasbeschermingsmiddelen gebruikt.
Conclusie: de emissie is nul.

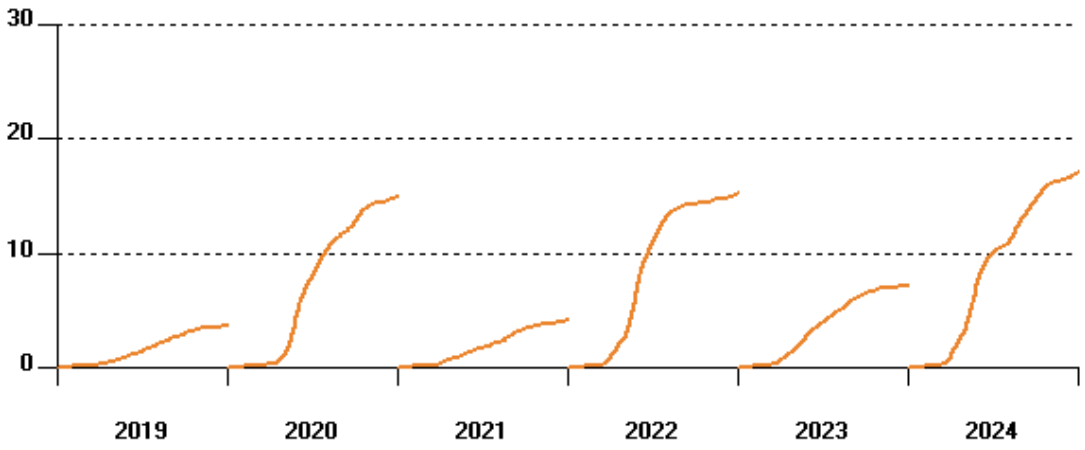
4.6 Klimaatprestaties

CO_2 vastlegging

In de bodem kan CO_2 vastgelegd worden in de vorm van organische stof. Dat is een dynamisch proces van toevoeging en afbraak waarbij (tijdelijk) netto organische stof wordt vastgelegd en dus netto onttrokken aan de atmosfeer. In paragraaf 4.3 is sprake van een mogelijke toename van het organische stof gehalte binnen het Planty Organic bedrijfssysteem. Daarbij zou het gaan om een aanwas van 0,03% per jaar. Bij een verondersteld soortelijk gewicht van 1,4 (Zwart et al., 2013) en 30 cm bouwvoordiepte is de bodemvoorraad organische stof 76 ton. Een toename per jaar van 0,03 per jaar betekent dat jaarlijks netto 1260 kg organische stof wordt toegevoegd aan de bodemvoorraad. Bij een veronderstelde koolstofinhoud van 58% van de organische stof komt dat neer op netto 2700 kg CO_2 vastlegging per hectare per jaar. Deze toename van organische stof en dus vastlegging van CO_2 is tijdelijk van aard. Het bedrijfsontwerp-2 zit met 1,8 – 1,9% organische stof al dicht bij het evenwichtspunt dat verwacht mag worden.
Conclusie: als de modellering klopt is de potentie voor opslag van CO_2 gering. Als uit nauwkeurigere metingen van de koolstofvoorraad zou blijken dat er sprake is van toename zou er dus wel potentie zijn. Er zijn nog bodemmonsters uit voorgaande jaren bewaard en er zijn nauwkeurigere analysemethoden beschikbaar, dus dit kan alsnog bepaald worden.

Methaan en lachgas emissie

De methaan en lachgas emissies zijn in dit proefveld niet gemeten of gemodelleerd. Analoog aan de verwachtingen voor de emissie van ammoniak mag binnen dit systeem verwacht worden dat de emissies van methaan en lachgas zeer laag zullen zijn.
De emissie van beide gassen wordt bevorderd door anaerobe omstandigheden in de bodem en vertoont een zekere parallel met het proces van denitrificatie. De denitrificatie is wel onderdeel van het Ndicea model. In Figuur 12 is de denitrificatie grafisch weergegeven. Het berekende gemiddelde is 9 kg N per hectare per jaar. Dat is een lage waarde die voor een belangrijk deel verklaard kan worden door de gemiddeld zeer lage niveaus van nitraat in de bouwvoor (zie Figuur 3).



Figuur 12: Denitrificatie uit de bouwvoor
y-as: kg N per hectare, per jaar cumulatief

Brandstofverbruik

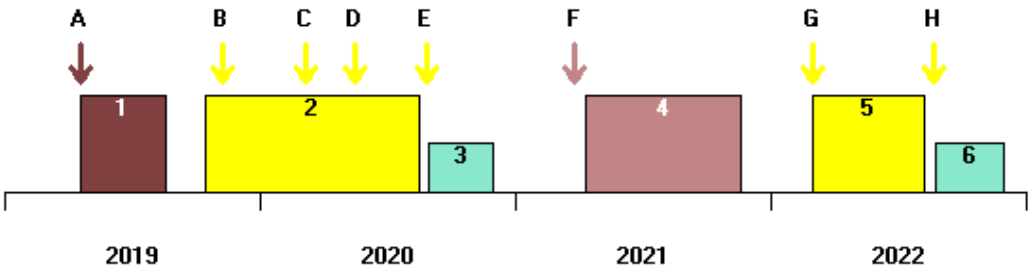
Ploegen is een activiteit die veel brandstof vraagt. Bij niet-kerende grondbewerking wordt niet geploegd maar vinden wel andere bewerkingen plaats. Het opstellen van een totale CO_2-balans van

het bedrijf valt gezien de complexiteit daarvan buiten de mogelijkheden van deze evaluatie maar is zeker interessant in drie opzichten:

- Wordt de besparing van brandstof door niet te ploegen teniet gedaan door toegenomen overige bewerkingen?
- Wat is de impact van het niet-gebruik van dierlijke mest? Want of je de CO_2-impact van dierlijke mest nu toerekent aan de veehouderij of aan de akkerbouw, het heeft impact.
- De CO_2-last van kunstmestgebruik speelt geen rol binnen dit bedrijfssysteem maar is wel interessant in een vergelijking met een regulier akkerbouw bedrijfssysteem.

4.7 Interne processen

De modelmatige beschrijving van bedrijfsontwerp-2 maakt het mogelijk om op detail-niveau de mineralen-stromen binnen het systeem te beschouwen. Dat wordt interessanter als ook een regulier akkerbouwbedrijf op die manier beschreven en beschouwd wordt. Daarvoor is een fictief regulier akkerbouwbedrijf beschreven, gebaseerd op de situatie en de ervaring zoals die op het proefbedrijf Kollumerwaard aanwezig is (mondelinge inbreng Philip Kramer, bedrijfsleider). Het Planty Organic bedrijfsontwerp-2 staat in Figuur 6 ; het reguliere akkerbouw bedrijfssystemen staat in Figuur 13.



Figuur 13: Gewassen en bemestingen in de tijd, reguliere systeem

1 = Pootaardappel, opbrengst 35.000 kg (20% d.s.) met 1,57% stikstof in de d.s.
2 = Wintertarwe, opbrengst 9.500 kg (85% d.s.) met 2,1% stikstof in de d.s.
3 = Bladrammenas, 2.200 kg d.s. ingewerkt met 2,3% stikstof in de d.s.
4 = Suikerbiet, opbrengst 80.000 kg (21,8% d.s.) met 0,55% stikstof in de d.s.
5 = Zomergerst, opbrengst 7.000 kg (85% d.s.) met 1,76% stikstof in de d.s.
6 = Gele mosterd, 2.200 kg d.s. ingewerkt met 2,1% stikstof in de d.s.
A = Kunstmest N-P2O5-K2O 78-70-200
B = Kunstmest N-P2O5-K2O 100-0-0
C = Rundvee drijfmest N-P2O5-K2O 102-38-145
D = Kunstmest N-P2O5-K2O 50-0-0
E = Kunstmest N-P2O5-K2O 40-0-0
F = Kunstmest N-P2O5-K2O 140-100-140
G = Kunstmest N-P2O5-K2O 80-20-0
H = Kunstmest N-P2O5-K2O 40-0-0

Mineralenbalans

De mineralenbalansen van beide systemen staan in Tabel 5.

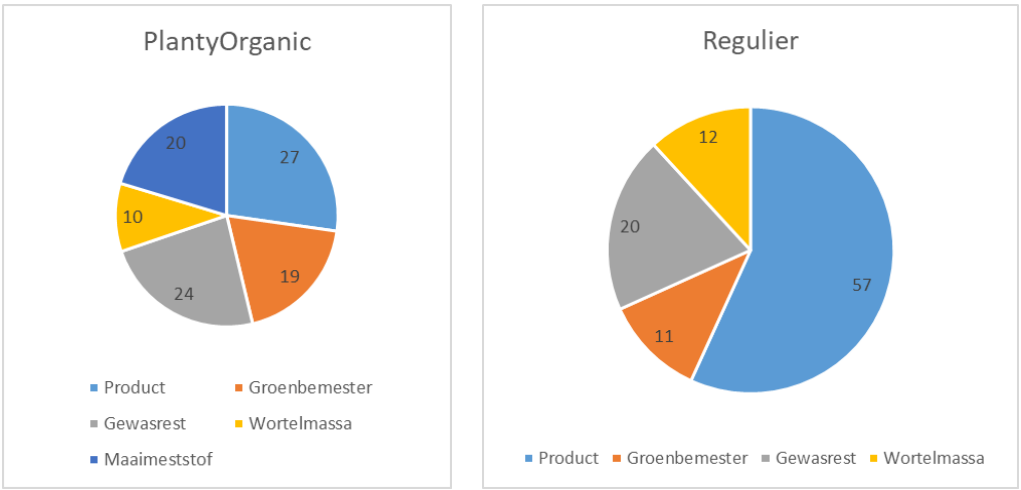
Tabel 5: Mineralenbalansen van Planty Organic en Regulier akkerbouwbedrijf

	Planty Organic			Regulier		
	N	P2O5	K2O	N	P2O5	K2O
Aanvoer met mest	0	0	0	158	57	121
N-binding	68			0		
Depositie	28	3	8	28	3	8
Totaal aanvoer	96	3	8	186	60	129
Afvoer met produkten	64	32	94	120	60	145
Berekend overschot	32	-29	-86	66	0	-16
Vervluchtiging	0			7		
Denitrificatie	10			14		
Uitspoeling	18			45		
Bodemopbouw	4			-2		

De aanvoer van stikstof vindt bij Planty Organic plaats door N-binding waarvoor 17% van de oppervlakte nodig is. De aanvoer bij het reguliere systeem, kunstmest, wordt mogelijk gemaakt door input van fossiele brandstof.
De productie van Planty Organic, uitgedrukt als stikstof in verkoopbaar product per hectare, bedraagt de helft van die van het reguliere bedrijf. Het stikstofoverschot is daarentegen ook de helft van het overschot van het reguliere systeem. De milieulast van Planty Organic (vervluchtiging en uitspoeling) is aanzienlijk lager dan in het reguliere systeem dat overigens naar verwachting net als Planty Organic aan de Europese Nitraatrichtlijn voldoet. Planty Organic heeft een kleine plus op de stikstof bodembalans staan en het reguliere systeem een heel kleine min.

Interne stikstofstromen

In Planty Organic wordt jaarlijks per hectare gemiddeld 234 kg N opgenomen in gewassen; in het reguliere systeem is dat 212 kg N. In het Planty Organic systeem is het dus hoger, maar het ontloopt elkaar niet veel. Het wordt verklaard doordat in het Planty Organic systeem een groter deel van de tijd een groeiend gewas aanwezig is (82%) dan in het reguliere systeem (69%), en vooral doordat er sprake is van leguminosen (luzerne/klaver, gras/wikke, veldboon) met een relatief hoge N-inhoud.
De bestemming van de stikstof vertoont wél grote verschillen, zie Figuur 14.

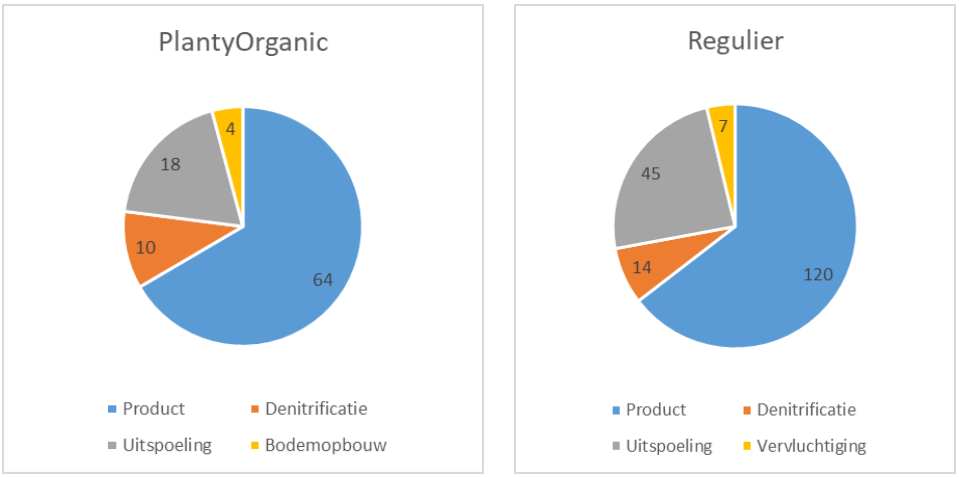


Figuur 14: Bestemming van de stikstofopname in %

In het reguliere systeem verlaat meer dan de helft van de opgenomen stikstof het systeem als verkocht product. In het biologische systeem is dat iets meer dan een kwart.; de rest staat ten dienste van de stikstofvoorziening voor vervolggewassen.

N-efficiëntie

In het Planty Organic bedrijfsontwerp-2 wordt 96 kg N per hectare per jaar aangevoerd: 68 kg N-binding en 28 kg depositie. In het reguliere systeem is dat 186 kg totaal, het dubbele. De bestemming van de stikstof staat in Figuur 15.



Figuur 15: Bestemming van de stikstofaanvoer in kg/ha

In Planty Organic wordt 64 kg (69%) van de aangevoerde stikstof benut in verkoopbare producten, in het reguliere 120 kg (65%). Planty Organic gaat dus net iets efficiënter om met de N-input dan het reguliere systeem. De verliezen in het biologische systeem bedragen 28 kg (31%), en 4 kg (4%) van de N-input komt ten goede aan bodemvruchtbaarheid. In het reguliere systeem zijn de verliezen 66 kg (36%) en is er sprake van een heel klein verlies aan bodemvruchtbaarheid. Het *patroon* van N-benutting en verliezen is verrassend vergelijkbaar, maar *in kilo's N per hectare* uitgedrukt zijn de verliezen in het reguliere systeem dus ruwweg twee keer zo groot als in het Planty Organic systeem. Het zier er naar uit dat een keuze voor een grote mate van interne stromen (waaronder maaimeststoffen, groenbemesters, gewasresten) weliswaar de productie limiteert maar de verliezen ook minimaliseert. Dit kan verder onderzocht worden.

Volgens de gebruikelijke manier van het berekenen van de N-efficiëntie ("aan de poort") heeft Planty Organic een oneindig grote N-efficiëntie want er wordt niks via de poort aangevoerd. Bij een andere berekening wordt wel de stikstofbinding meegerekend maar niet de depositie. In dat geval heeft Planty Organic een efficiëntie van 94% . Vermoedelijk is dat de hoogste waarde ooit gerealiseerd in veldproeven op praktijkschaal in Nederland.

5 Discussie

Productie
Het Planty Organic akkerbouwsysteem heeft een vergelijkbaar opbrengstniveau vergeleken met de resultaten van andere biologische akkerbouwbedrijven (Minderhout en Troost, 2008; www.biowad.nl ; Rijswick en Pals, 2006; www.cbs.nl). Als de benodigde oppervlakte voor het binden van stikstof en het realiseren van andere goede bodemcondities wordt meegerekend is de productie 17% lager. Daar staat tegenover dat er vrijwel geen afwenteling van effecten plaatsvindt, met uitzondering van het directe (fossiele) energieverbruik (Bos et al., 2007)). Het vermijden van afwenteling en het creëren van maatschappelijke baten wordt helaas nog niet beloond.
Maatregelen gericht op het verhogen van de opbrengst binnen de drie randvoorwaarden kunnen nagestreefd worden, maar daarvan mogen, op één uitzondering na, geen grote effecten verwacht worden. De verklaring daarvoor is dat het systeem zeer waarschijnlijk vooral stikstof-gelimiteerd is, en een substantiële vergroting van het stikstofaanbod binnen de randvoorwaarden is nauwelijks mogelijk. Dat wordt hieronder verder besproken.

N-binding
Verhoging van de N-binding is beperkt mogelijk door een iets hogere opbrengst van de maaimest-stof. De gerealiseerde 9,5 ton droge stof met 3% stikstof in de droge stof kan misschien iets omhoog. De veldboon heeft in de drie jaren waarin dit gewas nu opgenomen is in de vruchtwisseling vrij lage opbrengsten gerealiseerd, waarvan in ieder geval één jaar door ziekte. Als die opbrengst structureel wat hoger komt te liggen is ook de N-binding iets groter. Van de vier groenbemesters is er in bedrijfsontwerp-2 slechts één met een vlinderbloemige in het mengsel (de groenbemester na haver). Na pompoen en na peen is inzaai van een vlinderbloemige naar verwachting niet succesvol vanwege het late zaaimoment. Na de mengteelt tarwe/veldboon kan de veldboon stoppel blijven staan en doorgroeien en daarmee een bescheiden bijdrage leveren aan de N-binding. Dat scheelt een grondbewerking en kosten voor zaaizaad. Of dit de onkruiddruk in het volgende jaar beheersbaar houdt zal moeten blijken.
Maatregelen gericht op een (kleine) verhoging van de N-binding zijn punt van aandacht voor de komende jaren.

N-behoud
Vermindering van de denitrificatie is nagenoeg onmogelijk omdat die al heel laag ligt. De twee belangrijkste sturende factoren, namelijk de mate van organische stof afbraak en de hoogte van N-mineraal in de bouwvoor (Bradbury et al., 1993), zijn systeem-eigen respectievelijk al erg laag. Een derde bepalende factor, tijdelijk anaërobe omstandigheden in de grond, moeten hoe dan ook vermeden worden. Dit potentiele mechanisme van denitrificatie is geen onderdeel van Ndicea.
Ook voor de uitspoeling geldt dat vermindering erg lastig zal zijn. In bedrijfsontwerp-2 is rogge na de teelt van peen als groenbemester opgenomen in de vruchtwisseling. De veronderstelling is dat door de late oogst van de peen de opbrengst zeer gering zal zijn (600 kg d.s./ha) als zaaien en opkomst sowieso al gelukt zijn. Als door scherp management (en gunstige weersomstandigheden) zowel aan het begin als aan het einde van deze groenbemester een of meer weken gewonnen kunnen worden kan ook een iets grotere opbrengst en N-opname gerealiseerd worden. Dat geldt overigens ook voor de andere drie groenbemesters. Als het ‘gat’ tussen einde groenbemester en start volgende hoofdgewas verkleind kan worden levert dat een klein respectievelijk een iets groter voordeel op: nog iets minder uitspoeling, en mogelijk flink meer opbrengst en N-inhoud, waarvan een deel door N-binding.

N-aanvoer uit kringloop

De circulaire akkerbouw van de toekomst kan voorgesteld worden als een systeem met 100% terugvoer van GFT en rioolslib: een zo veel mogelijk gesloten productie- en consumptieketen. In deze toekomstige keten mag aangenomen worden dat het verlies van fosfaat relatief laag zal zijn (Schoumans et al., 2008). Voor stikstof geldt dat niet gezien het gemak waarmee stikstof verloren gaat naar water en lucht. Ook verschillen in opname door het menselijk lichaam van N en P zullen de N/P verhouding van de retourstroom beïnvloeden. Voor makkelijk oplosbare mineralen zoals kalium zal, net als voor stikstof, geen 100% kringloop realiseerbaar zijn.

De afvoer in producten bedraagt in bedrijfsontwerp-2 64 kg N en 32 kg P_2O_5 per hectare per jaar (Tabel 5). Stel er vindt compensatie plaats van 30 kg P_2O_5 in de vorm van GFT compost met een inhoud van 8,9 kg N en 4,4 kg P_2O_5 per ton vers product (bron: www.handboekbodemenbemesting.nl). Dat betekent een gemiddeld jaarlijkse aanvoer (uit kringloop!) van 61 kg N. Slechts een zeer klein deel van deze stikstof is direct opneembaar (N-mineraal fractie <10%). De rest wordt toegevoegd aan de bodem organische stof en komt geleidelijk vrij. Modellering in Ndicea laat zien (hier niet getoond) dat het organische stof gehalte in dat geval aanzienlijk stijgt. Al binnen enkele jaren leidt dat tot een vergroting van de stikstof beschikbaarheid en dus verruiming van het productiepotentieel. Het bodem organische stof gehalte zal in dit geval langzaam stijgen richting 3%. Overigens kan opgemerkt worden dat de N/P verhouding in de afgevoerde producten nagenoeg gelijk is aan die van GFT volgens het handboek. Dat valt niet goed te rijmen: fosfaat zal in de kringloop makkelijker behouden blijven dan stikstof, dus zal het relatieve aandeel van stikstof en de N/P verhouding dalen. De N/P verhouding zal dus lager liggen dan hierboven is aangenomen.

Niveau N-beschikbaarheid

Het gewas volgend op de maaivrucht voor maaimeststof was in 2012 en 2013 bloemkool. Het bleek niet mogelijk een goede productie te behalen, en de vermoedelijke reden daarvoor is een tekort aan stikstof. Ondanks dat in 2012 nog Monterra brok en in 2013 nog maaimeststof in de vorm van korrels is toegediend kon bij de bloemkool niet een voldoende hoog niveau beschikbare N gerealiseerd worden. Daarom is vanaf 2013 pompoen op die plaats in de vruchtwisseling gezet, wat wel goed blijkt te gaan.

Over het algemeen is het niveau N-mineraal laag tot zeer laag, wat niet verward mag worden met zeer lage N-beschikbaarheid voor gewassen. Indien de mineralisatie van stikstof uit organische stof op iedere groeidag op een vergelijkbaar niveau ligt als de gewasopname, dan kunnen gewassen prima groeien bij een laag gemeten niveau N-mineraal. Voorwaarde daarvoor is dat het bodemleven voldoende actief is en voldoende verteerbare organische stof aantreft, en dat het wortelstelsel in staat is de door mineralisatie vrijkomende stikstof direct te benutten. Dat is dé uitdaging voor biologische teeltsystemen bij beperkte N-toevoer en aandachtspunt voor verdere optimalisatie van het Planty Organic bedrijfssysteem.

Bodem organische stof

De metingen laten bij de bodem organische stof een lichte tendens tot groei zien van 0,03% per jaar. De modellering laat in organische stof een minieme daling zien, en in N-voorraad een kleine stijging door een verhoging van de C/N verhouding van de bodem organische stof. In beide gevallen is er sprake van onzekerheid.

De vruchtwisseling en bemesting (uitsluitend eigen maaimeststoffen) van bedrijfsontwerp-2 is doorgerekend voor de standaard Nederlandse methode voor organische stof balans met behulp van getallen voor effectieve organische stof uit de beschikbare bronnen (www.kennisakker.nl ; www.handboekbodemenbemesting.nl) en met de aanname van een afbraak per jaar van 2%

(Janssen et al., 1990). Bij de berekening is wel gecorrigeerd voor de verwacht lagere opbrengsten van de groenbemesters. Het resulteert in een berekend evenwicht van 2,1% bodem organische stof. Als dat de werkelijkheid zou zijn is er dus nog ruimte voor groei van het organische stof gehalte (de uitgangssituatie is 1,8 – 1,9 %) en dus CO_2-vastlegging: 0,2 - 0,3% aanwas organische stof in 30 cm grond staat gelijk aan 18 - 25 ton CO_2-vastlegging per hectare in de loop der tijd. In het voltooide project 'Credits for Carbon Care' (Rietberg et al., 2013) en het lopende project 'Koolstofboeren' werd verkend respectievelijk wordt gewerkt aan het te gelde maken van deze maatschappelijke dienst. In Oostenrijk is reeds een dergelijk systeem operationeel (www.oekoregion-kaindorf.at).
De vruchtwisseling is ook doorgerekend met de online tool voor de organische stof balans op www.kennisakker.nl. Deze berekening gaat uit van zo goed als de zelfde dataset voor effectieve organische stof, maar de afbraak is variabel, afhankelijk van grondsoort en pH. In het geval van de grond van Planty Organic resulteert dat in een veronderstelde afbraak van 2,46% in plaats van 2%. In de literatuur worden waarden genoemd van 1,6 tot 3,2% afbraak per jaar (TCB 2016). De opbrengsten zijn in de online tool forfaitair en kunnen niet aangepast worden. Dat resulteert in het geval van Planty Organic in een overschatting van de aanvoer. Deze tool berekent een positieve organische stof balans die uiteindelijk resulteert in 2,0% organische stof bij evenwicht. Als de organische stof toevoer in de tool 10% te hoog ingeschat zou zijn zou bij correctie daarvoor het evenwicht uitkomen op 1,8%, dus gelijkblijvend aan de beginsituatie.
Beide benaderingen (vaste waarde van de afbraak en handmatig gecorrigeerde toevoer; variabele waarde van de afbraak en niet-gecorrigeerde toevoer) zijn gebaseerd op een standaard uitvoering van de grondbewerking. Bij gereduceerde grondbewerking wordt verondersteld dat de afbraak integraal afneemt (Balen en Haagsma 2017). Op Planty Organic vindt niet-kerende grondbewerking plaats. Dat zou er weer op duiden dat beide benaderingen een overschatting van de afbraak in zich dragen.
Al met al lijkt het niet onredelijk aan te nemen dat binnen Planty Organic sprake is van opbouw van bodem organische stof, maar óf nauwkeuriger metingen óf het verloop van de tijd zullen uitsluitsel moeten bieden.

Mineralengehaltes van bodem en gewassen
Er lijkt geen sprake te zijn van een daling van de mineralengehaltes van bodem en gewassen ondanks de afwezigheid van aanvoer.
Voor de bodem is dat niet verrassend: de uitgangssituatie is een rijke grond met grote voorraad. Zelfs als de voorraad in 0-30 cm werkelijk afgenomen is zal de afvoer zo veel kleiner zijn dan de voorraad dat dat verschil verloren gaat in bemonsterings- en analyseonnauwkeurigheden. Ook zou sprake kunnen zijn van het mobiliseren van mineralen uit 30-90 cm die deels, via gewasresten en maaimeststoffen, toegevoegd worden aan de bouwvoor. Dit kwalitatief en kwantitatief uitzoeken is een hele uitdaging.
Als de bodemvoorraad of beschikbaarheid van mineralen vooralsnog niet afneemt, dan is het niet verwonderlijk dat ook in de mineralen-inhoud van de gewassen geen duidelijke dalende tendensen gevonden worden.
Voor zowel bodem (vrijmaken) als gewassen (opname) is het de vraag wat de rol van het bodemleven daarbij is. De enige bodemfactor die van 2014 tot 2016 een consistente en grote toename heeft laten zien(Tabel 4) is 'bodemleven'. Dit is een 'black box' parameter: er gebeurt van alles, maar wat, waardoor en hoe is in die parameter niet zichtbaar. Onderzoek naar bodemleven en functionaliteit kan licht werpen in die duisternis. Binnen het model Ndicea is ook sprake van een 'black box' benadering van het bodemleven als het gaat om het simuleren van de afbraak van organische stof en de daarbij optredende mineralisatie van stikstof.

6 Algemene conclusies

Na vijf volledige productiejaren binnen het Planty Organic bedrijfssysteem kunnen we concluderen dat er een bedrijfssysteem ontwikkeld is met grote potenties. Er is sprake van een robuust systeem met grote interne reguleringsmechanismen, en er kunnen nog vele lessen uit geleerd worden. Kijkend naar de vragen die in deze evaluatie aan de orde zijn gekomen (hoofdstuk 2) zijn onze conclusies als volgt.

- Uitvoerbaar
  Er liggen nog diverse kleinere en grotere vragen open, maar een systeem met 100% eigen stikstofvoorziening met maaimeststoffen onder een regime van niet-kerende grondbewerking is in praktijk uitvoerbaar.
- Opbrengst
  De opbrengsten liggen op een vergelijkbaar niveau als bij andere biologische akkerbouwbedrijven. Als rekening wordt gehouden met de benodigde oppervlakte voor het vastleggen van stikstof ligt de productie lager. Een totale CO_2 foodprint analyse zou licht kunnen werpen op deze schaal met te vergelijken appels en peren voor zowel overig biologisch met gebruik van dierlijke mest als reguliere akkerbouw.
- Bodemvruchtbaarheid
  Er zijn geen aanwijzingen dat de bodemvruchtbarheid is afgenomen in het systeem zonder aanvoer van nutriënten. Waarschijnlijk is er sprake van een lichte stijging van het organische stof gehalte. De activiteit van het bodemleven is volgens de metingen aanzienlijk toegenomen.
- Gewassen
  De nutriënteninhoud van de gewassen is niet afgenomen.
- Milieu
  De milieuprestaties van het systeem zijn extreem goed: zeer lage uitspoeling, geen emissie van ammoniak, geen emissie van gewasbeschermingsmiddelen.
- Klimaat
  Mogelijk is er sprake van CO_2 vastlegging in de bodem. Er mag aangenomen worden dat er nagenoeg geen emissie plaatsvindt van methaan en lachgas. Over het directe brandstofverbruik kan geen uitspraak gedaan worden.

Voor de biologische akkerbouw zijn wegen verkend die nagevolgd kunnen worden. Een groter aandeel eigen stikstof voorziening kan door alle akkerbouwers nagestreefd worden. Inzet van groenbemesters, of extra aandacht voor het slagen van groenbemesters, is een lonende zaak. Verzorging van het bodem organische stof gehalte of verhoging ervan ligt binnen ieders bereik. De overgang naar niet-kerende grondbewerking biedt voordelen, en er is inmiddels genoeg ervaring in de sector opgedaan om de risico's te kunnen minimaliseren.

Voor de reguliere akkerbouw is aannemelijk gemaakt dat het verzorgen van de interne stromen van organische stof en mineralen voordelen kan bieden. Net als voor de biologisch werkende collega's geldt dat inzet van groenbemesters lonend is. Waar mogelijk (na graan) kan dat ook een vlinderbloemige zijn, waarbij bespaard kan worden op kosten voor aangekochte stikstof. Een uitdaging is het verlengen van het groeiseizoen van groenbemesters, zowel bij aanvang (bij voorbeeld na ui) als later (bij voorbeeld door voorjaar grondbewerking in plaats van najaar ploegen). Ook een uitdaging is de verruiming van het bouwplan met gewassen die van zich zelf de bodemvruchtbaarheid versterken. Binnen het project 'Veldleeuwerik' (www.veldleeuwerik.nl) zijn daarmee goede ervaringen opgedaan.

7 Aanbevelingen

Er is inmiddels voldoende kennis en ervaring aanwezig om twee aspecten die binnen Planty Organic aan de orde zijn in handzame vorm voor de praktijk beschikbaar te stellen:

- Handleiding maaimeststoffen. Alle aspecten die in de praktijk bij winning en toepassing aan de orde zijn. Dit zou gaan om een update van wat eerder gepubliceerd is. Deze publicatie is voornamelijk gericht op biologische akkerbouw.
- Handleiding eigen stikstofvoorziening. Alle aspecten die in de praktijk voorbij komen als een akkerbouwer zelf meer stikstof wil binden op zijn bedrijf. Ook deze publicatie is voornamelijk gericht op biologische akkerbouw.
- Oriëntatie verruiming bouwplan. Alle aspecten die afgewogen worden als een verruiming van het bouwplan overwogen wordt. Dit zou in samenwerking met Stichting Veldleeuwerik opgepakt kunnen worden en is voornamelijk gericht op reguliere akkerbouw.

De volgende onderwerpen voor vervolgonderzoek liggen open:

- Stikstofdynamiek: kan er nog geschoven worden met gewassen, bemestingsmomenten en kwaliteit van de meststoffen zodat de stikstofbeschikbaarheid voor de hoofdgewassen iets toeneemt (en dus de opbrengstpotentie) zonder dat het systeem wezenlijk verandert?
- Organische stof: hoeveel CO_2 wordt vastgelegd en wat zijn de (maatschappelijke en bedrijfskundige) baten van een verdere groei van het bodem organische stof gehalte?
- Systeemstabiliteit: wat is de rol van de (diepte en intensiteit van) beworteling, de interne organische stof stromen en nutriënten stromen t.a.v. stabiliteit en productiviteit?
- Wat is de rol van het bodemleven in de systeemdynamiek (denk bij voorbeeld aan mycorrhiza's) en hoe kan daarop gestuurd worden?
- Fosfaatdynamiek: welk deel van de fosfaatopname van gewassen komt rechtstreeks uit mineralisatie van bodem organische stof, en kan deze kennis benut worden om het fosfaat bemestingsadvies in Nederland aan te passen? In hoeverre dragen de gewassen bij aan fosfaatmobilisatie vanuit minder makkelijk opneembare fosfaatvoorraden?
- CO_2 footprint: wat is de CO_2 footprint van dit akkerbouwsysteem zonder mestaanvoer en met minimale grondbewerking in vergelijking met andere akkerbouwsystemen, zowel biologisch als regulier?

Literatuur

Ann. (2010). **Nitraatrichtlijn**. Publicatiebureau Europese Unie.

Balen, D. van, en Haagsma, W. (2017). **De effecten van gereduceerde grondbewerking**. Ekoland, mei 2017, 12-13.

Bos, J.F.F.P., Haan, J.J. de, en Sukkel, W. (2007). **Energieverbruik, broeikasgasemissies en koolstofopslag: de biologische en gangbare landbouw vergeleken.** Wageningen UR, rapport 140, 109 pp.

Bradbury N.J., Whitmore A.P., Hart P.B.S. and Jenkinson D.S. (1993). **Modelling the fate of nitrogen in crop and soil in the years following application of 15N-labelled fertilizer to winter wheat**. J. of Agr. Science, 121, 363-379.

Bruggen,C. van, Bannink, A., Groenestein, C.M., Huijsmans, J.F.M., Luesink, H.H., S.M. van der Sluis, S.M. van der, Velthof, G.L. en Vonk, J. (2015). **Emissies naar lucht uit de landbouw, 1990-2013**. WOt technical report 46, Wageningen University and Research, ISSN 2352-2739, 160 pp.

Burgt, G.J.H.M. van der, (2008). **Nitrogens degrees of freedom**. In: Burgt and Timmermans (Eds). Proceedings QLIF Seminar, February 2008, Driebergen, pp 7-8.

Burgt, G.J.H.M. van der (2012). **Planty Organic Bedrijfsontwerp**. Louis Bolk Instituut, Driebergen, publicatie nummer 2012 030 LbP, 33 pp.

Hospers, M., Anema, D. en Bus, M.C. (2014). **Planty Organic. Voortgang 2013**. Biowad; Louis Bolk Instituut Driebergen, 37 pp.

Hospers, M., Polema, T. en Bus, M.C. (2014). **Planty Organic. Voortgang 2014**. Biowad; Louis Bolk Instituut Driebergen, 36 pp.

Hospers, M., Polema, T. en Bus, M.C. (2015). **Planty Organic. Voortgang 2015**. Biowad; Louis Bolk Instituut Driebergen, rapport 2015-049.LbP, 37 pp.

Hospers, M., Rietema, C. en Bus, M.C. (2017). **Planty Organic. Voortgang 2016**. Biowad; Louis Bolk Instituut Driebergen, rapport 2017-002 LbP, 37 pp.

Jahangir, M.M.R., Khalil, M.I., Johnston, P., Cardenas, L.M., Hatch, D.J., Butler, M., Barrett, M., O'flaherty, V. and Richards, K.G. (2012). **Denitrification potentials in subsoils: a mechanism to reduce nitrate leaching to ground water.** Agriculture, Ecosystems and Environment 147, 13-23.

Janssen, B.H., Sluijs, P. van der; Ukkerman, H.R. (1990). **Organische stof.** In: in: W.P. Locher en H. de Bakker (red.). Bodemkunde van Nederland. Deel 1: algemene bodemkunde. Malmberg, Den Bosch, pp. 109-127.

Minderhoud, J. en Troost, A-J. (2008). **Pompoenen – Biologische teelt**. PPO Lelystad, publicatienummer 376, 45 pp.

Rietberg, P., (2013) Credits for Carbon Care, eindrapportage. Louis Bolk Instituut, Driebergen, 8 pp.

Rijswick, C. van, en Pals, P. (2006). **De Nederlandse peensector in beeld**. Rabobank International, 36 pp.

Schoumans, O.F., J. Willems, J. en G van Duinhoven, G. van (2008). **30 vragen en antwoorden over fosfaat in relatie tot landbouw en milieu**. Wageningen, Alterra, 53 pp.

TCB (2016). **Dynamiek van organische stof in Nederlandse landbouwbodems.** Technische Commissie Bodem, Den Haag, rapport TCB A110 (2016), 26 pp.

Zwart, K. (2003). **Denitrificatie in de bouwvoor en de ondergrond**. Alterra rapport 724, ISSN 1566-7197, 57 pp.

Zwart, K., Kikkert, A., Wolfs, A., Termorshuizen, A., Burgt, G.J.H.M. van der (2013). **Tien vragen en antwoorden over organische stof.** Kennisdocument - Alterra, HLB, BLGG, LBI,

Internet bronnen:

www.biowad.nl

www.cbs.nl

www.handboekbodemenbemesting.nl

www.kennisakker.nl

www.oekoregion-kaindorf.at

www.veldleeuwerik.nl

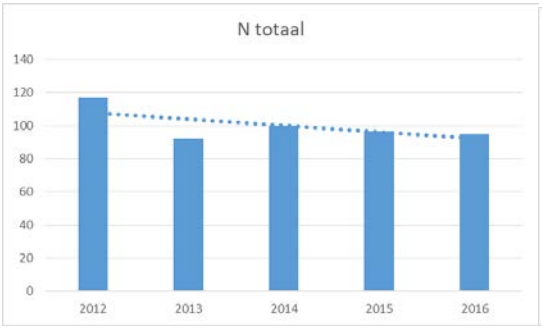
Bijlage 1: Gemeten en gesimuleerde waarden N-mineraal

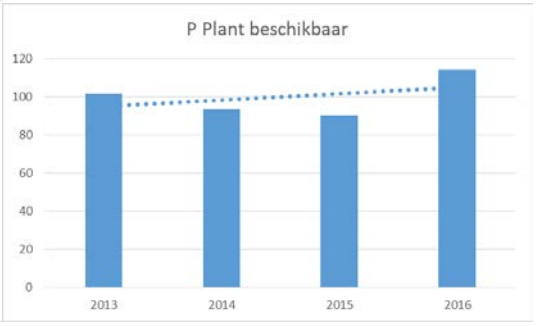
Perceel	A	A	B	B	C	C
	Sim	Obs	Sim	Obs	Sim	Obs
0-30 cm	19	23	16	10	7	5
	20	20	5	18	36	80
	7	9	2	5	39	95
	8	10	20	9	21	18
	10	1	12	1	27	1
	43	36	4	18	19	6
	24	20	5	22	8	28
	31	29	10	20	6	24
	30	7	2	29	16	131
	18	36	20	32	28	65
	6	25	44	72	3	19
	24	37	40	8	14	24
	39	16	18	8	16	11
	9	1	8	21	15	7
			7	7	5	10
			31	15	24	32
			1	4	23	2
					16	1
30-60 cm	21	24	5	8	5	10
			31	36	4	29

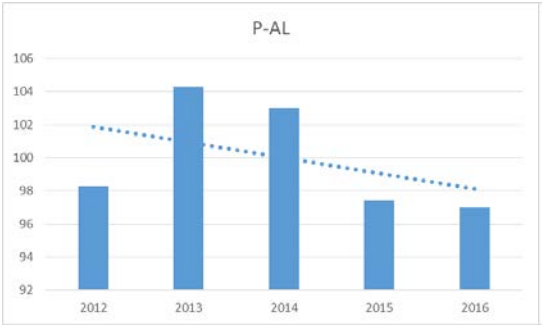
Perceel	D	D	E	E	F	F
	Sim	Obs	Sim	Obs	Sim	Obs
0-30 cm	16	14	6	5	6	5
	16	1	26	12	8	1
	14	1	27	84	40	1
	32	37	12	12	70	84
	1	7	23	24	58	78
	6	23	10	19	61	25
	16	1	7	1	27	29
	13	1	5	1	15	53
	22	12	8	16	39	1
	9	1	7	13	48	1
	7	14	25	67	75	18
	4	56	11	10	43	18
	11	39	10	2	22	11
	7	31	4	1	32	140
	8	4			12	16
	9	1			18	19
	7	2			17	1
					6	1
30-60 cm	0	8	15	23	13	1
	5	19	4	18	48	16
	10	1				

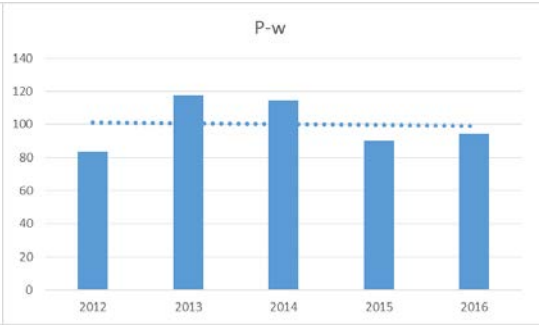
Bijlage 2: Selectie van geïndexeerde bodemparameters

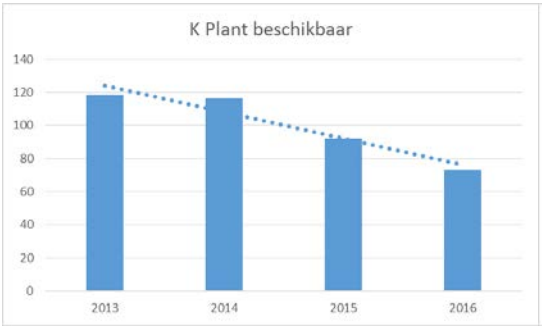
Er zijn alleen grafieken getoond van parameters die min of meer een tendens laten zien. Voor alle waarden: Tabel 4.

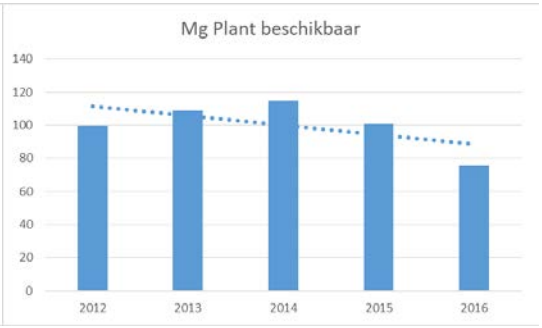


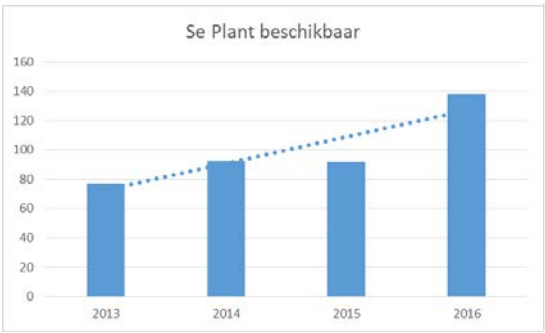


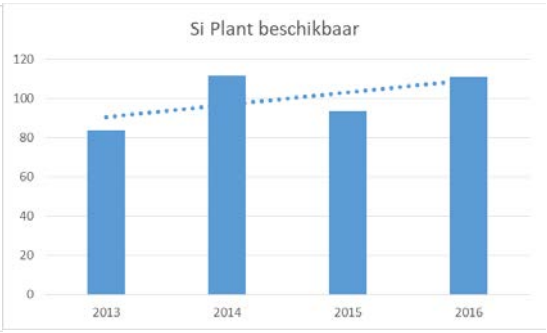


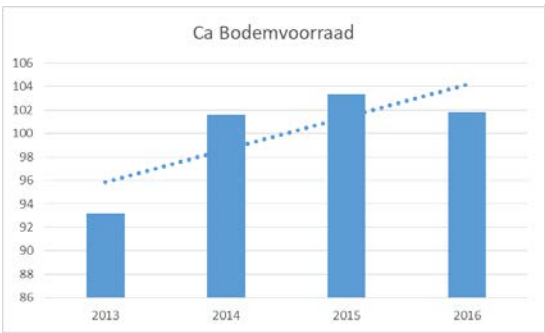


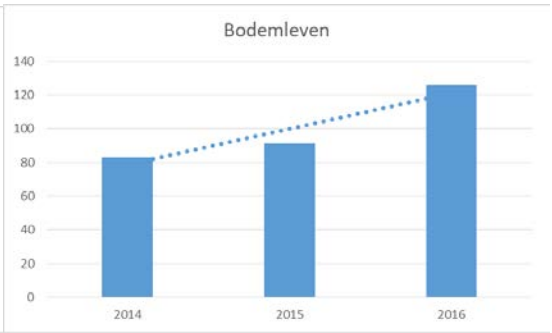












LOUIS BOLK INSTITUUT

Bijlage 3: Nutriënteninhoud van gewassen

2012		Aardappel	Peen		Zomertarwe	Bloemkool
N-totaal	%	1,38	0,94		1,73	3,48
P2O5	%	0,6	0,53			1,35
K2O	%	3,05	3,40			5,09

2013		Aardappel	Peen	Haver	Zomertarwe	Bloemkool
N	%	1,32	0,83	1,70	1,68	2,59
P2O5	%	1,01	1,11	2,64	1,91	2,49
K2O	%	3,01	3,15	0,67	0,47	5,38
Ca	g/kg d.s.	1,15	3,59	1,35	0,53	3,02
Mg	g/kg d.s.	0,93	1,11	1,43	1,21	1,00

2014		Aardappel	Peen	Wintertarwe	Pompoen	Rogge
N	%	1,01	1,36	1,55	1,58	1,32
P2O5	%	0,60	0,71	0,80	0,62	0,94
K2O	%	2,71	3,72	0,56	3,01	0,66
Calcium	g/kg d.s.	0,71	3,20	0,33	1,10	0,47
Magnesiu	g/kg d.s.	1,1	1,2	1,0	1,1	1,0
Zwavel	g/kg d.s.	1,4	1,9	1,3	1,5	1,2
Koper	mg/kg d.s.	6,9	7,6	4,2	4,5	4,6
IJzer	mg/kg d.s.	56,7	36,2	27,3	39,8	29,9
Mangaan	mg/kg d.s.	2,6	2,9	5,4	1,8	11,8
Zink	mg/kg d.s.	19,7	34,5	39,9	28,0	40,0

2015		Aardappel	peen	Haver	Pompoen	Veldboon/ Zomertarwe
N	%	1,16	1,26	1,92	1,70	4,41
P2O5	%	0,48	0,60	1,10	0,76	1,40
K2O	%	2,72	3,32	0,67	2,47	1,50
Calcium	g/kg d.s.	0,6	3,4	0,9	0,9	1,7
Magnesiu	g/kg d.s.	1,0	0,9	1,5	1,2	1,5
Zwavel	g/kg d.s.	1,3	1,1	1,8	1,5	1,9
Koper	mg/kg d.s.	4,3	5,0	4,0	5,7	14,9
Ijzer	mg/kg d.s.	90	61	106	83	57
Mangaan	mg/kg d.s.	6	5	18	5	15
Zink	mg/kg d.s.	15	21	34	26	47

2016		Aardappel	Peen	Haver	Pompoen	Veldboon/ Zomertarwe
N	%	1,53	1,10	1,67	1,28	3,49
P2O5	%	0,85	0,69	0,98	1,03	1,63
K2O	%	3,42	2,32	0,71	3,26	1,48
Calcium	g/kg d.s.	1,3	3,5	1,0	1,5	1,7
Magnesiu	g/kg d.s.	1,3	1,0	1,3	1,2	1,8
Zwavel	g/kg d.s.	1,9	1,0	1,9	2,6	2,4
Koper	mg/kg d.s.	7,07	6,86	3,05	8,09	12,3
Ijzer	mg/kg d.s.	284	149	76	337	88
Mangaan	mg/kg d.s.	12	7	23	6	13
Zink	mg/kg d.s.	17	16	26	24	46