



Bewertung von Bodenfruchtbarkeit, Stickstoffhaushalt und Ertrag

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

Studie des Louis Bolk Instituts im Auftrag von:



© 2019 Biowad, Louis Bolk Instituut

5 Jahre Planty Organic: Bewertung von Bodenfruchtbarkeit,
Stickstoffhaushalt und Ertrag

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

Übersetzung: Elke Bussler, www.elketekst.nl

Suchwörter: Planty Organic, Stickstoff, organische
Bodensubstanz, Grünschnittdüngung, Phosphat, Kreislauf,
Ndicea

Publikation Nummer 2019-019 LbP

52 Seiten

Dieser Bericht ist zu downloaden von www.louisbolk.nl und
www.biowad.nl

www.louisbolk.nl
info@louisbolk.nl
T +31 343 523 860
Kosterijland 3-5
3981 AJ Bunnik
 @LouisBolk

Louis Bolk Instituut: unabhängiges, internationales Forschungsinstitut
zur Förderung nachhaltiger Landwirtschaft, Ernährung und Gesundheit

Vorwort 2017

Planty Organic ist ein ehrgeiziges Projekt. Wir möchten zeigen, dass biologischer Ackerbau mit vollständiger Stickstoffautarkie und nicht wendender Bodenbearbeitung in der Praxis realisierbar ist, und zwar mit guten Ergebnissen in den Bereichen People – Planet – Profit, und dass die hier genutzten agro-ökologischen Mechanismen dazu beitragen können, die gesamte Landwirtschaft nachhaltiger zu gestalten. Es hätte uns allerdings nicht überrascht, wenn sich ohne Zufuhr von Düngemitteln innerhalb weniger Jahre ein Ertragsrückgang bemerkbar gemacht hätte. Inzwischen sind wie sieben Jahre unterwegs. Diese zwischenzeitliche Fünfjahresbilanz, über die Jahre 2012 – 2016, zeigt, dass unsere früheren Bedenken hinsichtlich des Systems nicht gerechtfertigt waren. Die gesteckten Ziele wurden voll und ganz verwirklicht und das System hat sich als lebendig und robust erwiesen. Es bleibt jedoch eine ganze Reihe offener Fragen, deren Beantwortung noch aussteht. Dazu ist eine Fortsetzung von Planty Organic im Anschluss an andere Forschungsprojekte notwendig. Mit dieser Publikation möchten wir sowohl konventionelle als auch biologische Ackerbauern dazu anregen, weitere Schritte hin zu einer größeren Nachhaltigkeit und CO₂-Neutralität zu unternehmen. Zugleich möchten wir andere interessierte Parteien im ländlichen Raum einladen, Planty Organic als Partner zu verstärken. Mit einer auf andere Forschungsstandorte abgestimmten Forschungsagenda kann Planty Organic auch die kommenden fünf Jahre zu bahnbrechenden und inspirierenden Ergebnissen führen.

Wir danken den Initiativnehmern von Planty Organic: dem Verein biologischer Bauern im Wattgebiet "BioWad". Wir bedanken uns selbstverständlich bei den Organisationen, die das Planty Organic-Projekt mit ihren finanziellen Beiträgen ermöglicht haben: die Provinzen Friesland und Groningen, die Rabobank und das niederländischen Ministerium für Wirtschaft, Landwirtschaft und Innovation. Auch danken wir der SPNA (*Stichting Proefboerderijen Noordelijke Akkerbouw*, Stiftung Versuchsbetriebe für den Ackerbau in den nördlichen Regionen) für die Pflege der Versuchsfelder, dem Louis Bolk Instituut für die wissenschaftliche Betreuung sowie Avestura für die Leitung des Projektes. Besonderer Dank schließlich gilt den beiden erwähnten Provinzen, die die Fortsetzung dieses Projektes im Jahr 2017 und somit auch diese Zwischenbilanz ermöglicht haben.

Im Namen von Stichting BioWerk

Wridzer Bakker

Vorsitzender



Vorwort zur deutschen Ausgabe, August 2019

Dieser Bericht ist die Übersetzung der Publikation "Planty Organic 5 jaar: evaluatie van bodemvruchtbaarheid, stikstofhuishouding en productie"

(<http://www.louisbolk.org/downloads/3320.pdf>), die um ein kurzes Kapitel über die nach der Veröffentlichung gewonnenen Ergebnisse der Jahre 2017 und 2018 ergänzt wurde.

Vom ursprünglichen Bericht lag bereits eine englische Fassung vor

(<http://www.louisbolk.org/downloads/3321.pdf>).

Der Jahresbericht 2017 wurde in niederländischer Sprache publiziert

(<http://www.louisbolk.org/downloads/3326.pdf>); der Jahresbericht 2018 ("Planty Organic – voortgang 2018") ist, ebenfalls als niederländische Datei, auf www.louisbolk.nl zu finden.

Der ursprüngliche Bericht wurde vollständig und unverändert übersetzt. Zusätzlich wurde ein Schlusskapitel angehängt, Kapitel 8, in dem der Frage nachgegangen wird, ob sich die in der Bewertung der Jahre 2012 – 2016 angedeuteten Entwicklungstendenzen bezüglich Boden und Pflanzen in den Jahren 2017 und 2018 fortgesetzt haben.

Bemerkung zur Terminologie

In diesem Bericht wird der Begriff Grünschnittdüngung* als Oberbegriff für die unterschiedlichen Nutzungsformen von Schnittgut als Düngemittel auf einer Nehmerfläche verwendet:

- Cut & Carry-Düngung
- Klee grasdüngung
- Silagedüngung
- Transfermulch

Diese Übersetzung wurde im Rahmen des Projektes "Stikstof Telen" ermöglicht, das 2019 – 2020 auf dem Versuchsbetrieb *SPNA proefbedrijf Kollumerwaard* in Munnekezijl in den Niederlanden durchgeführt wird und eine Vertiefung des Projektes Planty Organic darstellt. Finanziert wurde das Projekt "Stikstof Telen" von der Provinz Fryslân, Brancheorganisatie Akkerbouw sowie aus Mitteln des EU-Förderfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums ELER: Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums: Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete.

provinsje fryslân
provincie fryslân 



Europees Landbouwfonds voor
Plattelandontwikkeling: Europa
investeert in zijn platteland

 brancheorganisatie akkerbouw

<https://www.fryslan.nl>

https://ec.europa.eu/agriculture/rural-development-2014-2020_de

Inhalt

| | |
|---|-----------|
| Zusammenfassung | 6 |
| Summary | 9 |
| 1 Einleitung und Hintergrund | 11 |
| 2 Fragestellung der Bewertung | 13 |
| 3 Modellierung mit Ndicea | 14 |
| 3.1 Kurze Beschreibung des Modells | 14 |
| 3.2 Beispiel Schlagmodellierung Planty Organic | 16 |
| 3.3 Qualität der Modellierung von Planty Organic | 19 |
| 3.4 Betriebskonzept-2 | 21 |
| 4 Arbeitsweise und Ergebnisse | 23 |
| 4.1 Realisierbarkeit | 23 |
| 4.2 Ertragsniveau | 25 |
| 4.3 Bodenfruchtbarkeit | 26 |
| 4.4 Nährstoffgehalt der Pflanzen | 29 |
| 4.5 Umweltleistungen | 30 |
| 4.6 Klimaleistungen | 32 |
| 4.7 Interne Prozesse | 33 |
| 5 Diskussion | 37 |
| 6 Allgemeine Konklusionen | 42 |
| 7 Empfehlungen | 44 |
| 8 Ergänzungen bezüglich der Jahre 2017 – 2018 | 45 |
| Literatur | 48 |
| Anlage 1: Gemessene und simulierte Mineral-N-Werte | 50 |
| Anlage 2: Auswahl indexierter Bodenparameter | 51 |
| Anlage 3: Nährstoffgehalte der Pflanzen | 52 |

Zusammenfassung

Auf dem Versuchsfeld von Planty Organic, das zum Versuchsbetrieb "Kollumerwaard" der SPNA gehört, wird ein vollwertiges biologisches Ackerbausystem entwickelt, das auf drei Ausgangspunkten basiert:

- vollständige Stickstoffautarkie durch Leguminosen
- Einsatz innerbetrieblicher Grünschnittdüngung
- nicht wendende Bodenbearbeitung

Die gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen sollen sowohl dem konventionellen als auch dem biologischen Ackerbau zugute kommen. Das Versuchsfeld umfasst sechs Schläge von jeweils knapp 0,8 Hektar. Es wird eine sechsjährige Fruchtfolge eingehalten, so dass jede Fruchtart jedes Jahr angebaut wird.

Das Projekt ist 2011 gestartet. Über jedes einzelne Jahr ist seitdem ein Bericht erschienen. Für die vorliegende Bewertung der Entwicklungen und Leistungen des Systems blieb das Startjahr unberücksichtigt und wurden die fünf Jahre 2012 bis 2016 analysiert.

Es zeigt sich, dass die gewählten Ausgangspunkte tatsächlich realisierbar sind. Von Anfang an wurde ausschließlich betriebseigener Stickstoff über Leguminosen zugeführt, der mittels Grünschnittdüngung, Gründüngungskulturen und Ernterückstände für die Kulturen verfügbar wurde. Die Erträge liegen auf einem passablen Niveau und der Unkrautdruck war beherrschbar. Die Boden- und Pflanzenanalysen auf NPK und Spurenelemente zeigen keine abnehmende Tendenz. Dieser Bodentyp besitzt einen derartigen Mineralstoffvorrat, dass ein fünfjähriger Betrieb ohne externe Zufuhr keine nachweisbare Verarmung von Boden oder Pflanzen zur Folge hat.

Der Gehalt an organischer Bodensubstanz wurde jährlich ermittelt. Diese Messungen haben eine zu große Fehlermarge, um gesicherte Aussagen zuzulassen. Der Trend über die fünf Jahre zeigt jedoch einen bescheidenen Zuwachs von 0,03 Prozentpunkten pro Jahr. Das ist für ein System ohne externe Zufuhr von organischer Substanz bemerkenswert.

Die sechs Schläge wurden in Ndicea eingegeben, ein Modell für Stickstoff und organische Substanz. Die gemessenen und die modellierten N_{min}-Werte des Bodens weisen genügend Übereinstimmung auf; das Modell scheint somit die Stickstoffdynamik des Bodens gut zu beschreiben.

Die Modellberechnungen für die sechs Schläge zeigen einen stabilen Zustand des Gehalts an organischer Bodensubstanz. Ebenso wie bei den Messungen besteht eine Unsicherheitsmarge.

Die im Modell berechnete Auswaschung ist sehr niedrig. Dies lässt sich durch die durchschnittlich sehr niedrigen Mineral-N-Gehalte erklären sowie durch ein sehr hohes Maß an Bodenbedeckung im Jahresverlauf durch Pflanzenbestände: unter anderem Klee gras bzw. in späteren Jahren Klee-Luzerne-Gemenge zur Grünschnittdüngung, und wo möglich Gründüngungskulturen.

Die Modellierung macht es möglich, die internen Bewegungen detailliert darzustellen. Es zeigt sich, dass, gemessen an der Abfuhr durch Erntegut, sehr viel Stickstoff und Phosphat – und somit auch die übrigen Nährstoffe – in Form von Wurzelresten und Ernterückständen, Gründüngungspflanzen und Schnittkulturen (Grünschnittdünger) intern zirkulieren. Inwieweit dieser intensive interne Kreislauf ein wesentlicher Faktor der Systemstabilität und Produktivität ist, wäre näher zu untersuchen.

Während die Stickstofflieferung aus der organischen Bodensubstanz in zunehmendem Maße bei der Düngungsempfehlung für Stickstoff berücksichtigt wird, ist Entsprechendes bei Phosphat nicht der Fall. Dieses Versuchsfeld bietet die Möglichkeit, die Bedeutung interner Phosphatbewegungen für die Phosphatversorgung von Pflanzenbeständen und die Düngungsempfehlung für Phosphat eingehender zu untersuchen.

Die negative Mineralstoffbilanz der letzten fünf Jahre (ausschließlich Abfuhr von Erntegut, keine Zufuhr jeglicher Art) ist kein nachhaltiges System. Das ist die Ausbeutung von Phosphatminen allerdings auch nicht. Zum Ausgleich des Entzugs durch Erntegut könnte ab 2018 in bescheidenem Umfang Kompost zugeführt werden, um die Phosphatbilanz auf Null zu bringen. Aus forschungstechnischer Sicht kann es jedoch interessant sein, die negative Phosphatbilanz noch ein oder mehrere Jahre beizubehalten.

Abgesehen von einem passablen materiellen und finanziellen Ertrag liefert Planty Organic die folgenden Erzeugnisse, die nicht vergütet werden:

sehr niedrige Nitratauswaschung, kein Ammoniakausstoß, vermutlich sehr geringer Ausstoß von Methan und Lachgas, Erhaltung oder Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, kein Austrag von Pflanzenschutzmitteln in Luft oder Wasser, hohe oberirdische Biodiversität, vermutlich hohe Bodenbiodiversität, bescheidene Kohlenstoffbindung im Boden, keine Schlepperei mit Tierdung, keine Tierschutzprobleme.

Die folgenden Themen für weiterführende Untersuchungen bieten sich an:

- Stickstoffdynamik: Gibt es in Bezug auf Fruchtarten, Düngungszeitpunkte und Qualität der Düngemittel noch Alternativen, bei denen die Stickstoffverfügbarkeit für die Hauptkulturen – und somit das Ertragspotenzial – ein wenig zunimmt, ohne dass dies zu wesentlichen Änderungen des Systems führt?
- Organische Substanz: Wie viel CO₂ wird gebunden und welches sind die gesellschaftlichen und betriebswirtschaftlichen Vorteile einer weiteren Zunahme des Gehalts an organischer Bodensubstanz?
- Systemstabilität: Welche Bedeutung haben Durchwurzelungstiefe und -intensität und die internen Bewegungen von organischer Substanz und Nährstoffen für Stabilität und Produktivität?
- Welche Rolle spielt das Bodenleben hinsichtlich Stabilität und Produktivität des Systems?

- Phosphatdynamik: Welcher Anteil des von den Kulturen aufgenommenen Phosphats stammt unmittelbar aus der Mineralisation der organischen Bodensubstanz? Kann dieses Wissen genutzt werden, um die Düngungsempfehlung für Phosphat in den Niederlanden anzupassen? Inwieweit tragen die Kulturen zur Phosphatmobilisierung aus weniger leicht aufnehmbaren Phosphatvorräten bei?
- CO₂-Footprint: Welches ist der CO₂-Footprint dieses Ackerbausystems ohne Zufuhr von Düngemitteln und mit minimaler Bodenbearbeitung im Vergleich zu anderen, sowohl biologischen wie auch konventionellen Ackerbausystemen?

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.

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 Einleitung und Hintergrund

Die Landwirtschaft steht vor großen Herausforderungen. Eine strengere Düngepolitik schränkt die Phosphat- und Stickstoffzufuhr ein, wodurch der Anfuhr von Düngemitteln im Acker- und Gartenbau Grenzen gesetzt sind. Dies betrifft sowohl Mineraldünger als auch Tierdung und Kompost, und somit auch die Versorgung der landwirtschaftlich genutzten Flächen in den Niederlanden mit organischer Substanz. Der biologische Sektor hat noch eine zusätzliche Aufgabe: Man will darauf hinarbeiten, dass der Einsatz von Tierdung aus der konventionellen Landwirtschaft weitgehend oder vollständig abgebaut wird. Aus der Zusammenschau mehrerer Faktoren ergibt sich folgendes Bild:

- Für jeden Betrieb lohnt es sich, möglichst viel Stickstoff im System zu behalten.
- Jeder Betrieb hat die Aufgabe, mit einer geringeren Phosphatzufuhr den Ertrag aufrechtzuerhalten.
- Der biologische Acker- und Gartenbau ist in höherem Maße als früher auf die innerbetriebliche Stickstoffbindung angewiesen (van der Burgt, 2012).

Das Projekt Planty Organic bietet die Gelegenheit, einen Einblick in diese drei Fragen zu gewinnen. Auf einem Versuchsfeld von 5 Hektar des Versuchsbetriebs "Kollumerwaard" der SPNA (www.spna.nl) wird auf sechs Schlägen von jeweils 0,8 Hektar eine Fruchtfolge von sechs Ackerbaukulturen biologisch angebaut. Kulturplan und Düngung sind so ausgerichtet, dass die folgenden Anforderungen erfüllt werden (van der Burgt et al., 2012):

- Vollständige Stickstoffautarkie durch Stickstoffbindung mithilfe von Klee gras oder Klee-Luzerne-Gemengen und Gründüngungspflanzen; Einsatz von Grünschnittdüngung zur Verteilung des gewonnenen Stickstoffs.
- Keine Zufuhr von Tierdung oder Kompost.
- Genügend Stickstoff, um einen guten Ertrag und eine hinreichende Qualität der Marktprodukte zu ermöglichen.
- Ein Kulturplan, der der Leistungsfähigkeit des Bodens bezüglich Erhaltung der Bodenqualität und im Hinblick auf Stickstoffversorgung entspricht.
- Aufrechterhaltung des Gehalts an organischer Bodensubstanz.
- Ein in gewissem Maße für die Gegend repräsentativer Kulturplan; auf jeden Fall repräsentative Fruchtarten.
- Im Winter so weit wie möglich bewachsene Flächen.
- Wechselweise Schnittkulturen und andere Fruchtarten.
- Nicht wendende und möglichst minimale Bodenbearbeitung.

Dieses System wurde 2011 angelegt und weist ab 2012 die gewünschte Fruchtfolge auf. Der vorliegende Bericht enthält eine Bewertung der Jahre 2012 – 2016. Über jedes einzelne Jahr erschien bereits ein Bericht (van der Burgt 2012; Hospers et al., 2014a, 2014b, 2015, 2017).

Die Entscheidung, den Mineralstoffentzug durch Erntegut nicht durch eine Zufuhr von Dung oder Kompost auszugleichen, ist ungewöhnlich. Sie gründet auf zwei Überlegungen. Erstens ist es fragwürdig, beispielsweise Phosphatminen auszubeuten, während dieser Bodentyp über einen eigenen Phosphatvorrat verfügt. An erster Stelle sollte dieser mobilisiert werden. Zweitens lässt sich durch das Durchspielen des Extremfalls (keine Phosphatzufuhr) ein Einblick in die Phosphatdynamik bei einer negativen Phosphatbilanz gewinnen. Mit Hilfe dieses Versuchsfeldes können Fragen untersucht werden wie: "Welche Rolle spielt eine tiefe Durchwurzelung?", "Welche Rolle spielt ein hoher Phosphatumsatz im Hinblick auf die Phosphatabfuhr?", "Welches ist die Rolle der Phosphatmineralisierung für die Phosphatversorgung von Pflanzenbeständen?", "Lässt sich der Phosphatvorrat im Boden mobilisieren?" Ein ähnlicher Gedankengang kann für zahlreiche andere Nährstoffe verfolgt werden.

2 Fragestellung der Bewertung

Ziel der Bewertung ist es, eine Reihe von Fragen zu beantworten und neue Forschungsfragen für Folgeuntersuchungen zu formulieren.

Die folgenden Fragen sind quantitativ oder qualitativ zu beantworten. Zwischen Klammern steht der Abschnitt, in dem die jeweilige Frage behandelt wird:

- Ist das entworfene System praktisch realisierbar? (Abschnitt 4.1)
- Welches Ertragsniveau lässt sich innerhalb dieses, voraussichtlich stickstofflimitierten Systems realisieren? (Abschnitt 4.2)
- Welches sind die Folgen für die Bodenfruchtbarkeit, gemessen am Gehalt der organischen Substanz und am Nährstoffvorrat? (Abschnitt 4.3)
- Hat das Anbausystem Folgen für den Nährstoffgehalt des Ernteguts? (Abschnitt 4.4)
- Welches sind die Umweltleistungen des Systems, gemessen an Stickstoffauswaschung, Ammoniakausstoß und Austrag von Pflanzenschutzmitteln? (Abschnitt 4.5)
- Welches sind die Klimaleistungen des Systems bezüglich CO₂-Bindung im Boden und CO₂-Footprint im Allgemeinen (einschließlich Methan- und Lachgasausstoß)? (Abschnitt 4.6)

Das Projekt, das Versuchsfeld und die Betriebsregistrierung bieten nicht die Möglichkeit, sämtliche Fragen quantitativ zu beantworten. Wo möglich, wird gerechnet; wo dies nicht möglich ist, wird ein Ergebnis umschrieben und erörtert. Zu jeder behandelten Frage wird die Vorgehensweise beschrieben. Dabei spielt die Modellierung der Dynamik von Stickstoff und organischer Substanz mit Hilfe des Modells Ndicea (van der Burgt et al., 2006) in einigen Fällen eine wichtige Rolle. Um dies zu begründen, wird vor der Beantwortung der Fragen der Ansatz des Modells beschrieben und bewertet (Kapitel 3). Dort wird auch ein angepasstes Betriebskonzept vorgestellt. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um das ursprüngliche Betriebskonzept (van der Burgt, 2012), jedoch mit den Modifikationen, die sich aus der sechsjährigen Praxiserfahrung ergeben haben. Dieses Konzept spielt eine Rolle für die Vorgehensweise in den Abschnitten 4.5, 4.6 und 4.7.

3 Modellierung mit Ndicea

3.1 Kurze Beschreibung des Modells

Ndicea bedeutet Nitrogen Dynamics In Crop rotations in Ecological Agriculture. Der Grundgedanke hinter der Entwicklung des Modells war, dass Landwirte und Berater auf unkomplizierte Weise einen Einblick in die Stickstoffverfügbarkeit während der Vegetationsperiode erhalten sollten. Dieser Gedanke wird durch das Wissen gestützt, dass bei ausschließlicher Nutzung organischer Düngemittel das Abstimmen der Stickstoffverfügbarkeit auf den Bedarf der Kultur komplexer ist als beim Einsatz von Stickstoff aus Mineraldünger. Im Lauf der Zeit hat das Interesse für die Bodenprozesse auch in der konventionellen Landwirtschaft stark zugenommen. Da bis jetzt kein anderes oder besseres Modell entwickelt wurde, ist Ndicea in den Niederlanden noch immer das Modell der Wahl, wenn es darum geht, die Stickstoffdynamik eines Systems verständlich darzustellen, sowohl in der konventionellen als auch in der biologischen Landwirtschaft. Eine wissenschaftliche Beschreibung und Begründung findet sich in Van der Burgt et al, 2006.

Das Modell setzt sich aus drei Teilen zusammen: einem Teilmodell Boden, einem Teilmodell organische Substanz, und einem Teilmodell Pflanzenwachstum. In den folgenden Abschnitten werden diese Teilmodelle erläutert.

Boden / Wasser

Der Boden besteht aus zwei Schichten: der Ackerkrume und dem Unterboden. Die Tiefe beider Schichten kann eingegeben werden. Für die Krumentiefe wird meistens die Pflugtiefe genommen. Die Tiefe des Unterbodens hängt von der maximalen Durchwurzelungstiefe ab. Die Dynamik der organischen Substanz spielt sich hauptsächlich in der Ackerkrume ab. Wasserzufuhr in Form von Niederschlägen und Bewässerung findet in der Ackerkrume statt. Für unterschiedliche Bodentypen, die hauptsächlich anhand ihrer Textur unterschieden werden, sind Standard-Bodenwasserprofile verfügbar. Diese geben an, ob Wasser länger hängen bleibt oder schneller in den Unterboden bzw. vom Unterboden aus in den Untergrund sickert und damit aus dem System verschwindet. Wasser verdunstet aus unbewachsenem Boden und wird durch Pflanzen abgegeben. Für jeden Tag wird die Feuchtebilanz berechnet (Zufuhr, Verdunstung, Speichervermögen); ein Überschuss wird abgeführt. Bei Wassermangel kann, abhängig vom Grundwasserstand, kapillarer Aufstieg stattfinden.

Mit dem Sickerwasser wird auch Stickstoff ausgetragen, aus der Ackerkrume in den Unterboden bzw. aus dem Unterboden in den Untergrund. In letzterem Fall ist der Stickstoff für den Betrieb verloren und zu einer Belastung für die Umwelt geworden.

Boden / organische Substanz

Der Boden enthält zu Beginn eine bestimmte Menge an organischer Substanz, die vom Nutzer des Modells als % organische Substanz in der Ackerkrume eingegeben wird. Zudem

wird mit jeder Kultur (zum Zeitpunkt der Ernte) und bei jeder organischen Düngung (zum Zeitpunkt des Ausbringens) organische Substanz zugeführt. Bei den Kulturen ist dies immer die Wurzelmasse, häufig auch Ernterückstände und manchmal das Produkt (bei einer misslungenen Kultur, die nicht geerntet wird). Für alle gängigen Fruchtarten sind Standarddaten verfügbar, die vom Nutzer abgeändert werden können. Das Modell enthält eine Liste häufig genutzter Düngemittel mit Standardwerten für den Gehalt an Mineralstoffen und organischer Substanz.

Alle Arten organischer Substanz werden nach einem einheitlichen Algorithmus abgebaut, wobei der wichtigste Parameter das virtuelle Alter ist. Je älter die organische Substanz, desto langsamer geht der Abbau vonstatten. Während des Abbaus wird eine zugeführte organische Substanz (zum Beispiel Dung) ständig älter, wodurch der Abbau einer bestimmten Art organischer Substanz im Lauf der Zeit immer langsamer wird. Die Ausgangsgeschwindigkeit des Abbaus ist je nach Art der organischen Substanz (Grünschnitt oder Kompost) unterschiedlich. Außerdem ist der Abbau pro Tag von Temperatur und Feuchtezustand abhängig (tägliche Schwankungen möglich) sowie von pH und Textur (über einen längeren Zeitraum konstant). Nicht wendende oder minimale Bodenbearbeitung verzögert den Abbau.

Ob beim Abbau der organischen Substanz Stickstoff freigesetzt wird (Stickstoffmineralisierung), hängt vom C/N-Verhältnis der organischen Substanz ab. Auch die Eigenschaften des Bodenlebens spielen dabei eine Rolle. Dafür werden Standardwerte eingesetzt, da diese Eigenschaften für einen bestimmten Schlag praktisch nie bekannt sind.

Pflanzenwachstum

Das Wachstum eines Pflanzenbestandes und damit auch die Stickstoffaufnahme wird im Großen und Ganzen durch den Zeitpunkt der Aussaat, den Zeitpunkt, zu dem das volle Wachstum beginnt, und den Zeitpunkt der Ernte bestimmt. Dafür sind Standardwerte vorgegeben, die vom Nutzer angepasst werden können. Des Weiteren hängt das Wachstum hauptsächlich von der Temperatur ab, kann durch einen Mangel an Bodenfeuchte jedoch gehemmt werden. Das Modell ist zielorientiert, das heißt, dass der Nutzer den Ertrag und den Stickstoffgehalt der Pflanzen im Voraus schätzt (Erwartung) oder die Werte hinterher eingibt (Beurteilung, nachdem der Ertrag und eventuell der Stickstoffgehalt festgestellt sind) und dass das Modell die Berechnung darauf ausrichtet.

Mindestvoraussetzungen

Das Modell spielt sich auf der Ebene des einzelnen Schlages ab. Um die Effekte der organischen Substanz und der entsprechenden N-Mineralisierung verlässlich berechnen zu können, braucht man mehrjährige Szenarien. Die Nutzung des Modells für ein einjähriges Szenario bietet gegenüber den üblichen Berechnungen der Stickstoffverfügbarkeit für ein bestimmtes Jahr kaum Vorteile. Es empfiehlt sich, die Vorgeschichte von mindestens zwei Jahren einzubeziehen, also ein mindestens dreijähriges Szenario zu erstellen. Dazu braucht

man die Daten der Bodenart sowie der in diesem Zeitraum auf dem betreffenden Schlag angebauten Fruchtarten und ausgebrachten Düngergaben. Für den Boden sind mindestens die folgenden Daten erforderlich: Bodenart, Krumentiefe und % organische Substanz. Für die Kulturen müssen mindestens Aussaatdatum, Erntedatum und Ertrag bekannt sein. Die übrigen benötigten Daten werden der Standarddatenbank der Fruchtarten entnommen. Bezüglich der Düngung werden zumindest Angaben über Düngerart, Ausbringungsdatum und Menge benötigt; in den meisten Fällen wird von organischen Düngerarten auch der Mineralstoffgehalt bekannt sein. Wenn nicht, wird der Standarddatensatz verwendet.

Output

Der Output besteht aus Grafiken, die die Dynamik von Stickstoff, Wasser und organischer Substanz darstellen. Für den Landwirt oder Berater ist der Output, auf den es an erster Stelle ankommt, die Grafik, die die Stickstoffaufnahme des Pflanzenbestandes zur berechneten Stickstoffverfügbarkeit in Beziehung setzt. Einfach ausgedrückt: Wenn bei einer Prognose des zukünftigen Verlaufs (also einem eingegebenen *voraussichtlichen* Ertrag) die Verfügbarkeit niedriger ist als die Aufnahme, ist entweder die Erwartung nicht realistisch, oder die Modellberechnung stimmt nicht. Wenn bei einer Beurteilung (also einem eingegebenen *realisierten* Ertrag) die Verfügbarkeit niedriger ist als die Aufnahme, stimmt die Modellberechnung mit Sicherheit nicht. Dies kann an fehlerhaften Kulturdaten liegen (wenn zum Beispiel mangels Messdaten mit dem Standard-Stickstoffgehalt gerechnet wurde), aber auch ganz allgemein an einer offensichtlich falschen Berechnung.

Es ist jedoch möglich, zu überprüfen, ob das Modell die Wirklichkeit einigermaßen treffend darstellt. Sobald der Mineral-N-Gehalt der Ackerkrume oder des Unterbodens einige Male ermittelt wurde, können diese Messdaten in das Modell eingegeben und mit dem für den jeweiligen Zeitpunkt berechneten Gehalt verglichen werden. Je besser Messdaten und Berechnungen übereinstimmen, desto zuverlässiger ist die Modellbeschreibung.

3.2 Beispiel Schlagmodellierung Planty Organic

Zur Veranschaulichung wird im Untenstehenden ein Teil des Outputs des Ndicea-Modells von Schlag A wiedergegeben.

Abbildung 1 zeigt die aufeinander folgenden Kulturen und die ausgebrachten Düngergaben.

Abbildung 2 zeigt das Stickstoffangebot (grün) und den Stickstoffbedarf (rot). Für eine gute Modellierung sollte die grüne Kurve immer oberhalb der roten liegen.

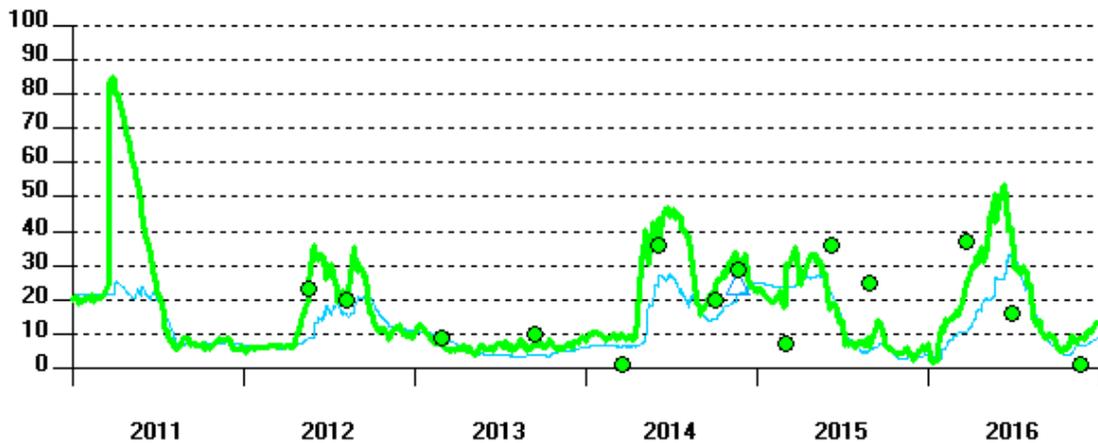


Abbildung 3 zeigt die modellierten Mineral-N-Gehalte in 0-30 cm (grüne Kurve) und 30-60 cm Tiefe (blaue Kurve) gegenüber den Messwerten (grüner Kreis, blaues Dreieck). Je näher die Kurven an den Messpunkten liegen, desto wirklichkeitsnaher ist das Ergebnis der Berechnungen. Siehe auch Abschnitt 0.

Abbildung 4 gibt die Auswaschung wieder. Dabei geht es um Stickstoff, der aus dem Unterboden (30-60 cm) ausgewaschen wird und somit für das System verloren geht. Bei Aussaat einer neuen Fruchtart wird die Grafik wieder von Null an aufgebaut.

In Abbildung 5 sind die modellierten Gehalte der organischen Bodensubstanz und die dazugehörigen Messwerte wiedergegeben. Die Messung Ende 2014 ist ein Ausreißer, und zwar bei sämtlichen Schlägen. Nach aller Wahrscheinlichkeit ist die Erklärung nicht im Betriebssystem, sondern in der Beprobung oder der Analyse zu suchen.

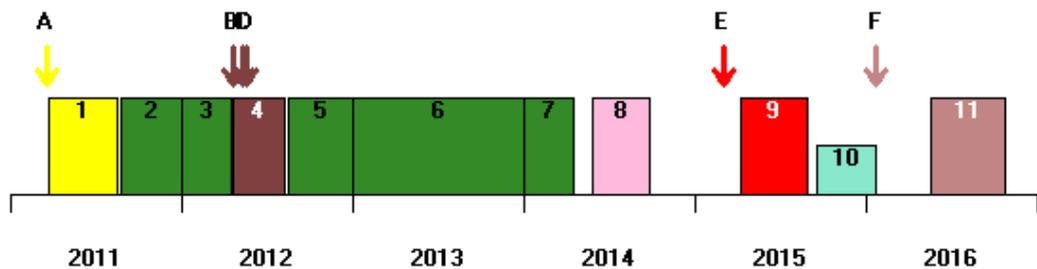


Abbildung 1: Schlag A: Fruchtarten und Düngergaben

1 = Hafer 2, 3 = Kleegras 4 = Kartoffeln 5, 6, 7 = Kleegras 8 = Kürbis 9 = Ackerbohne 10 = Weißer Senf 11 = Wintermöhre A = Rindergülle B, C, D, E, F = Grünschnittdüngung

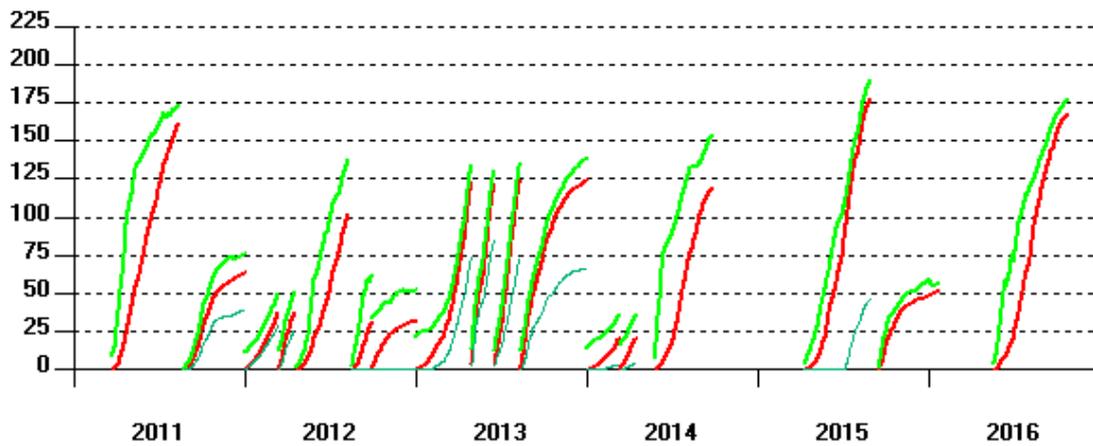


Abbildung 2: Verfügbarer Stickstoff und Aufnahme durch die Pflanzen
 y-Achse: kg N pro Hektar. Grün: verfügbarer Stickstoff. Rot: Aufnahme durch die Pflanzen.
 Blaugrau: N-Bindung durch Leguminosen

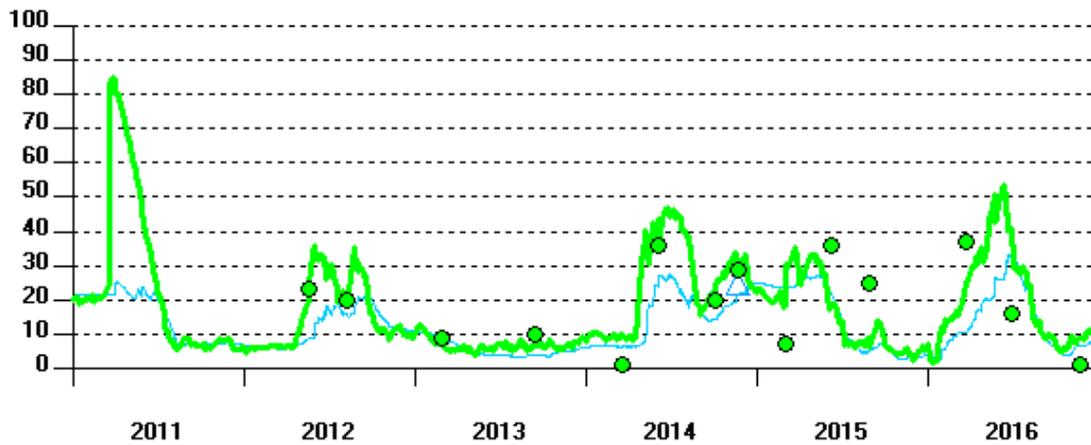


Abbildung 3: Modellierte und gemessene Mineral-N-Gehalte im Boden
 y-Achse: kg N pro Hektar. Modellierung: grüne Kurve = 0-30 cm; blaue Kurve = 30-60 cm.
 Messwert: grüner Kreis = 0-30 cm; blaues Dreieck = 30-60 cm.

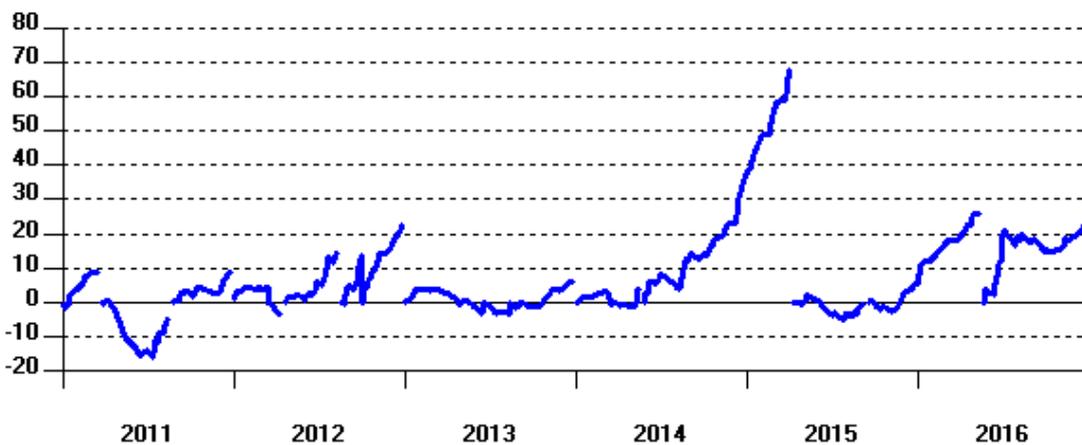


Abbildung 4: Kumulative Auswaschung während der einzelnen Kulturen

y-Achse: kg N pro Hektar

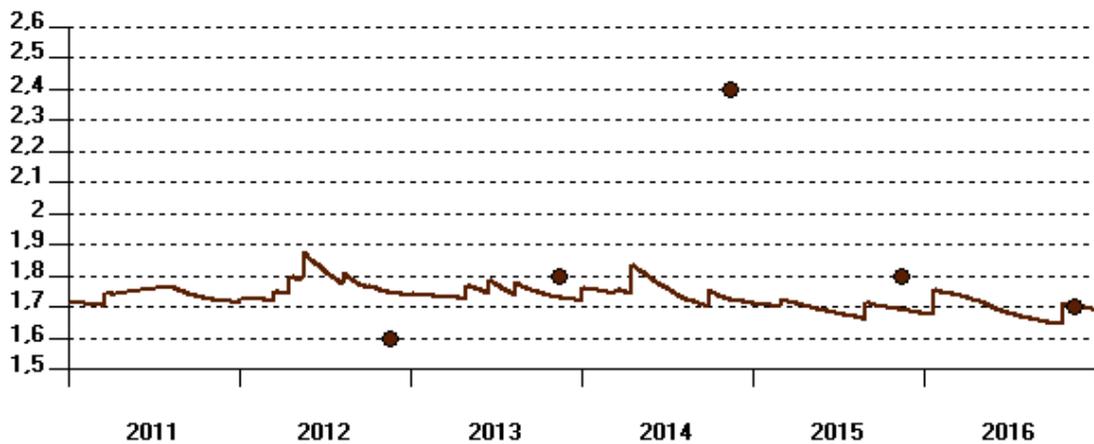


Abbildung 5: Verlauf der organischen Substanz in der Ackerkrume (0-30 cm)
y-Achse: % organische Substanz in 0-30 cm

3.3 Qualität der Modellierung von Planty Organic

Modellbeurteilung allgemein

Zur Beurteilung der Aussagekraft eines Modellszenarios sind bestimmte Kriterien notwendig. Ndicea bietet die Möglichkeit, das Modellergebnis anhand von drei Arten von Messungen zu überprüfen: pF-Wert in der Ackerkrume, Gehalt an organischer Substanz in der Ackerkrume, und Mineral-N in Ackerkrume und Unterboden.

Der pF-Wert wird in der Praxis beinahe nie gemessen. Die Dynamik des Bodenwassers im Modell wurde nicht gesondert wissenschaftlich validiert.

Der Gehalt an organischer Substanz dagegen wird in der Praxis ziemlich häufig ermittelt. Der Wert kann in Ndicea eingegeben und mit dem für dasselbe Datum berechneten Gehalt verglichen werden. Das Problem dabei ist, dass die übliche Messung der organischen Substanz eine Abweichung von 15 % nach oben oder unten aufweist (mündliche Mitteilung Eurofins). Die Änderungen des Gehalts an organischer Bodensubstanz sind häufig viel kleiner als die Messungenauigkeit, was es unmöglich macht, die Modellszenarien von Planty Organic aufgrund der bis jetzt durchgeführten Messungen anhand der organischen Substanz zu validieren. Genauere Bestimmungen des Gehalts an organischer Bodensubstanz oder des Kohlenstoffgehalts im Boden sind jedoch möglich.

Der Mineral-N-Gehalt in der Ackerkrume und im Unterboden kann zu verschiedenen Zeitpunkten gemessen und mit dem berechneten Niveau verglichen werden. Nmin-Messungen haben eine Ungenauigkeit von ein paar Prozent, und die Unterschiede von einem Moment zum anderen können beträchtlich sein. Dies ist somit ein geeigneter Parameter, der denn auch zur wissenschaftlichen Validierung von Ndicea herangezogen wurde (van der Burgt et al., 2006).

Zur Beurteilung einer Reihe von Differenzen zwischen Messung und Berechnung des Mineral-N-Gehalts im Boden wird der RMSE-Wert (Root Mean Squared Error) verwendet:

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

n = Anzahl Mineral-N-Bestimmungen

sim = Simulierter Wert von Messung i

obs = Messwert von Messung i

In der wissenschaftlichen Begründung wird ein RMSE-Wert von 20 als Grenzwert zwischen einer befriedigenden Modellierung ($RMSE \leq 20$) und einer qualitativ ungenügenden Modellierung ($RMSE > 20$) vorgeschlagen. Je näher der RMSE-Wert bei Null liegt, desto besser ist im Prinzip die Modellierung.

Außer dem Grad der Übereinstimmung zwischen den gemessenen und den modellierten Mineralstickstoffwerten ist es von Bedeutung, ob die Modellierungsergebnisse strukturell über oder unter den Messwerten liegen. Dabei geht es weniger um die *Qualität* der Modellierung an sich, sondern eher um die Frage, ob die Verbesserung in einer bestimmten *Richtung* zu suchen ist.

Beurteilung der Planty Organic-Szenarien

Das Versuchsfeld umfasst sechs Schläge, für die jeweils ein eigenes Modellszenario erstellt wurde. Wo Gehaltsbestimmungen verfügbar waren, wurden diese eingegeben; wo keine Messergebnisse vorlagen, wurden die Standardwerte aus der Datenbank für Fruchtarten von Ndicea verwendet. Dies gilt auch für die Bodeneigenschaften, mit Ausnahme eines Parameters, und zwar der Stickstoffbindung. Dieser Parameter beschreibt das Niveau, unterhalb dessen die Stickstoffbindung durch Leguminosen maximal ist. Mit anderen Worten: Je niedriger der Wert dieses Parameters ist, desto stärker nutzt der Pflanzenbestand den im Boden verfügbaren Mineralstickstoff, bevor eine starke Stickstoffbindung einsetzt. Der Standardwert, den Ndicea dafür vorgibt, ist 15 kg Mineral-N pro Hektar. Die Bestimmungen aus den Jahren mit Klee gras oder Klee-Luzerne-Grasgemengen ergaben praktisch immer einen Wert unter 10 kg N pro Hektar, häufig um 5 und manchmal beinahe Null. Es scheint, dass 15 als Standardwert zu hoch ist. Für die Modellierung wurde deshalb von 5 kg N pro Hektar ausgegangen.

Die Beurteilung der Szenarien nach RMSE-Wert und der Richtung der Abweichungen sind in Tabelle 1 wiedergegeben. Daraus ist ersichtlich, dass die Modellierung für vier der sechs Schläge befriedigend ist; die Schläge C und F weisen eine zu große Abweichung auf (RMSE

> 20 kg N pro Hektar). Es liegt keine systematische Abweichung in einer bestimmten Richtung vor.

Weder die Modellierung noch die Agrarwissenschaft bietet eine Erklärung dafür, warum die Schläge C und F offensichtlich weniger gut beschrieben werden: Die Ausgangssituation und die Behandlungen aller Schläge sind vergleichbar. Auffällig ist, dass die Messungen auf allen Schlägen praktisch sämtlich unter 40 kg N pro Hektar liegen, während bei den Schlägen C und F jeweils vier Messungen beträchtlich höher ausfallen. Dies kann an unverständenen Bodenprozessen und somit einer fehlerhaften Modellierung liegen, oder an der Bestimmung selbst. Der vollständige Datensatz der simulierten und gemessenen Werte findet sich in Anlage 1.

Tabelle 1: RMSE und Richtung der Abweichung der Bodenmineral-N-Bestimmungen

| Schlag | 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 = Anzahl Messungen in fünf Jahren; RMSE = Root Mean Squared Error der gemessenen versus berechneten Mineralstickstoffwerte; # Obs < Sim = Anzahl Messungen, die niedriger ausfallen als die Modellierung; # Obs > Sim = Anzahl Messungen, die höher ausfallen als die Modellierung

3.4 Betriebskonzept-2

Wie aus Abschnitt 3.3 hervorgeht, sind die Schlagszenarien im Durchschnitt von hinreichender Qualität, um Schlussfolgerungen daraus ziehen zu können. Um die Stickstoffdynamik noch besser zu erfassen, wurde ein weiterer Schritt unternommen. Zu Anfang des Projektes wurde ein Betriebskonzept erstellt (van der Burgt, 2012), das zu einem Ndicea-Szenario verarbeitet wurde. Aufgrund der Erfahrungen der letzten fünf Jahre und der Ndicea-Szenarien der sechs Schläge wurde ein neues, aktualisiertes Betriebskonzept-2 erstellt und zu einem umfassenden Ndicea-Szenario zusammengefasst. Dabei wurden die folgenden Ausgangspunkte zugrunde gelegt:

- Die Fruchtfolge blieb im Wesentlichen unverändert. Die Fruchtarten im Betriebskonzept-2 sind dieselben wie in den Jahren 2015 und 2016.
- Die Ernteerträge im Betriebskonzept-2 sind die durchschnittlichen Erträge der Jahre 2014 – 2016.
- Die Gehalte der Pflanzen sind, sofern gemessen, die mittleren Werte der Analysen der Jahre 2014 – 2016. Ansonsten wurden die Standardwerte von Ndicea verwendet.
- Der Ertrag an Trockensubstanz und die Gehalte der Schnitkultur zur Grünschnittdüngung sind gewichtete Mittelwerte der Analysen der Jahre 2014 – 2016. Gewichtete Mittelwerte wurden verwendet, weil jährlich drei Schnitte unterschiedlichen Umfangs und mit

unterschiedlichen Gehalten gemessen wurden. Der Gesamtjahresertrag an Luzerne bzw. Klee entspricht den ausgebrachten Grünschnittdüngergaben.

- Die Düngergaben im Betriebskonzept-2 wurden so gewählt, dass die Stickstoffdynamik während der gesamten Fruchtfolge optimiert ist. Dies wurde mithilfe iterativer Berechnungen festgestellt und entspricht *nicht* der Praxis der letzten Jahre.

Das aktualisierte Betriebskonzept-2 sieht folgendermaßen aus (Abbildung 6):

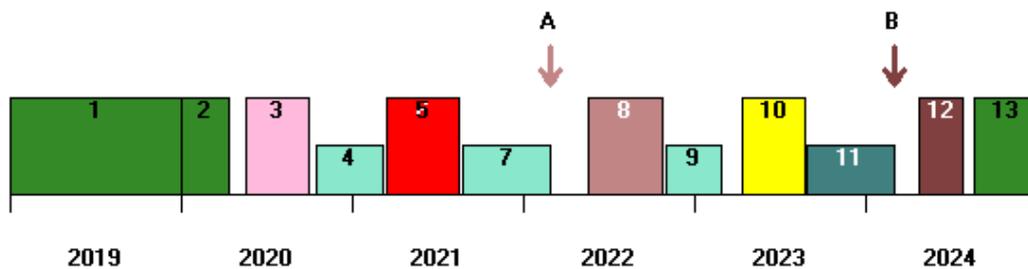


Abbildung 6: Fruchtarten und Düngergaben im Verlauf der Zeit, Betriebskonzept-2 für Planty Organic

- 1 = Luzerne/Klee, Ertrag 9.500 kg TS mit 3 % Stickstoff in der TS (Grünschnittdüngung)
- 2 = Luzerne/Klee, geschätzt auf 1.500 kg TS, eingearbeitet, mit 3 % Stickstoff in der TS
- 3 = Kürbis, Ertrag 18.000 kg frisch (18,3 % TS) mit 1,52 % Stickstoff in der TS
- 4 = Roggen als Gründüngung, 1.200 kg TS, eingearbeitet, mit 2,6 % Stickstoff in der TS (Standardwert, nicht gemessen)
- 5 = Ackerbohne/Sommerweizen-Mischkultur, Ertrag Ackerbohne 2.500 kg (85 % TS) mit 4,71 % Stickstoff in der TS; Ertrag Sommerweizen 1.000 kg (85 % TS) mit 2,0 % Stickstoff in der TS
- 7 = Getreide als Gründüngung, 1.700 kg TS, eingearbeitet, mit 2,6 % Stickstoff in der TS
- 8 = Wintermöhre, Ertrag 62.000 kg frisch (10,4 % TS) mit 1,10 % Stickstoff in der TS
- 9 = Roggen als Gründüngung, 1.200 kg TS, eingearbeitet, mit 2,6 % Stickstoff in der TS (Standardwert, nicht gemessen)
- 10 = Hafer, Ertrag 4.500 kg (85 % TS) mit 1,76 % Stickstoff in der TS
- 11 = Wicke als Gründüngung, 1.800 kg TS, eingearbeitet, mit 4,00 % Stickstoff in der TS (Standardwert, nicht gemessen)
- 12 = Kartoffel, Ertrag 30.000 kg (21 % TS) mit 1,28 % Stickstoff in der TS
- 13 = Luzerne/Klee, geschätztes Wachstum Herbst 1.500 kg TS mit 2,6 % Stickstoff in der TS
- A = Grünschnittdüngung Luzerne/Klee, 5.000 kg TS mit 3,00 % Stickstoff in der TS
- B = Grünschnittdüngung Luzerne/Klee, 4.500 kg TS mit 3,00 % Stickstoff in der TS

4 Arbeitsweise und Ergebnisse

4.1 Realisierbarkeit

Zahlreiche praktische Tätigkeiten von Planty Organic unterscheiden sich nicht strukturell vom üblichen landwirtschaftlichen Betrieb. Pflanzen werden gepflanzt oder ausgesät, es wird Unkraut gejätet und schließlich wird geerntet. Gründüngungspflanzen werden eingesät, und im Jahr darauf wird der Boden mithilfe bestehender Kulturmethoden vorbereitet. Neu im System Planty Organic ist das Ausbringen der Grünschnittdüngung.



Das in Silageballen gelagerte Schnittgut wird mit einem Mistzetter auf dem Acker ausgebracht und vor der Pflanzung oder Aussaat leicht eingearbeitet. In praktischer Hinsicht ist es wichtig, dass die Pflanzenmasse schnell genug abgebaut wird, so dass sie beim Pflanzen oder Säen das Anlegen

von Dämmen oder die Ablage des Saatguts nicht behindert. Auch die Frage, wie viel Trockensubstanz der Boden oberflächlich aufnehmen und abbauen kann, ist ein neuer Aspekt, zu dem noch wenig praktische Erfahrung vorliegt.

Mit Planty Organic wurde die Erfahrung gemacht, dass das Ausbringen und Einarbeiten der Silage kein Problem darstellt und ein Boden in dieser Hinsicht viel verarbeiten kann. Um die Abbaubarkeit der Silage auf dem erforderlichen Niveau zu halten, wurde nach ein paar Saisons beschlossen, die gemähten Leguminosengemenge mit höherem Feuchtigkeitsgehalt zu silieren, so dass das Material zu Beginn des Frühjahrs schneller abgebaut und wieder für das System verfügbar wird. Die Erfahrungen damit sind gut.



Der ursprüngliche Kulturplan enthielt Blumenkohl, der jedoch nach zwei Jahren stagnierenden Wachstums durch Kürbis ersetzt wurde. Der unterschiedliche Stickstoffbedarf zu Beginn der Saison macht Kürbis zu einer geeigneten Fruchtart für dieses System, während Blumenkohl mit seinem hohen frühen Stickstoffbedarf schlecht in das Konzept passt.

Bezüglich der zur Grünschnittdüngung verwendeten Arten wurden im Lauf der Jahre Änderungen vorgenommen. Um einen möglichst hohen Stickstoffertrag zu erzielen, wurde Klee gras durch eine Leguminosenmischung ersetzt. Nach der Kartoffelernte wird jetzt Weizen mitgesät, mit dem Ziel, eine gute Anfangsentwicklung zu gewährleisten und den nach dem Kartoffelanbau freigesetzten Stickstoff effektiv aufzunehmen. Nach dem ersten Schnitt spielt der Weizen kaum noch eine Rolle und besteht das Gemenge beinahe ausschließlich aus Leguminosen. In der Anfangszeit wurde ein Teil des Grünschnitts zu Pellets verarbeitet. Diese Praxis wurde nicht fortgesetzt: Die erhofften Vorteile (gezielte Stickstoffdüngung) blieben hinter den Erwartungen zurück und die Kosten sind beträchtlich. Des Weiteren wurde zu Anfang versucht, den ersten Schnitt sofort auf einem anderen Schlag als Düngemittel einzusetzen. Auch darauf wurde später verzichtet: Das Timing ist selten günstig und die organisatorischen Erfordernisse sind hoch.



Ein anderer wichtiger Aspekt war die Aussaat des Gemischs von Sommerweizen und Ackerbohnen. Zum Zweck der Unkrautbekämpfung müssen diese in denselben Reihen gesät werden, wobei die Gefahr besteht, dass sich die Ackerbohne zu schnell entwickelt und dadurch den Sommerweizen in seiner Entwicklung hemmt. Wenn Sommerweizen und Ackerbohne zusammen in den Säkastern gebracht und ausgesät werden, wird der Entwicklungsunterschied zu groß. Zudem lässt sich kaum verhindern, dass im Säkasten eine Entmischung auftritt. Deshalb wurde beschlossen, die Bohne tiefer abzulegen als den Weizen, so dass der Weizen gegenüber der keimenden Bohne bereits einen kleinen Vorsprung hat. Die Aussaat erfolgt in zwei Arbeitsgängen, in unterschiedlicher Tiefe.

Da mit einem Fahrgassensystem gearbeitet wird, sind die Folgen des doppelten Durchgangs minimal. Im Idealfall müsste jedoch in einem Arbeitsgang mit zwei gesonderten Kästen und zwei gesonderten Sätzen Säscharen gesät werden, um Brennstoff und Arbeitszeit effizient zu nutzen. Das Endprodukt dieser Mischkultur (Ackerbohnen und Weizenkörner) ist eine Quelle von Stickstoff und könnte während der Saison ganz einfach als zusätzliche Stickstoffgabe über dem Pflanzenbestand ausgebracht werden. In allen Jahren bis heute bestand allerdings kein Bedarf, die Bohnen dem System wieder zuzuführen.



Die Mischung hat denn auch als Viehfutter Absatz gefunden (Stickstoff- und Energiequelle). Sollte eine derartige Mischkultur Gemeingut werden, kann auch die Technik zur Trennung beider Produkte nach der Ernte weiter entwickelt werden, wodurch zumindest der Weizen für den menschlichen Verzehr verfügbar würde.

4.2 Ertragsniveau

Die voraussichtlichen Erträge nach Betriebskonzept-2 (siehe Abschnitt 3.4) sind in Tabelle 2 wiedergegeben.

Tabelle 2: Erträge

| | | Ertrag | Korrigierter Ertrag |
|----|--------------|--------|---------------------|
| | Fruchtart | kg/ha | kg/ha |
| 1 | Kürbis | 18000 | 15000 |
| 2A | Sommerweizen | 1000 | 833 |
| 2B | Ackerbohne | 2500 | 2083 |
| 3 | Wintermöhre | 62000 | 51667 |
| 4 | Hafer | 4500 | 3750 |
| 5 | Kartoffel | 30000 | 25000 |

In der Spalte "korrigierter Ertrag" wird die Tatsache verrechnet, dass für das Erzielen dieser Erträge auf fünf Hektar ein weiterer Hektar benötigt wird, nämlich für die Grünschnitt-düngung. Die Hektarerträge einschließlich der für den Anbau des Düngemittels benötigten Fläche liegen deshalb 17 % niedriger als die gemessenen Erträge.

Die korrigierten Erträge sind relevant für die Frage, welche Bodenfläche für die Produktion benötigt wird. Für den Vergleich mit anderen biologischen Betrieben kann die erste Spalte verwendet werden, da die "zur Produktion des Düngemittels benötigte Fläche" praktisch nie in Betracht gezogen wird. Zum Vergleich mit dem konventionellen Ackerbau könnte die zweite Spalte verwendet werden, doch dann müsste auch der Energieaufwand für die Herstellung von Mineraldünger in den Vergleich einbezogen werden. Ein Vergleich dieser Äpfel und Birnen ist nur über eine Lebenszyklusanalyse oder Footprintberechnung möglich, was den Rahmen dieser Bewertung übersteigt.

Planty Organic ist eindeutig ein stickstofflimitiertes Produktionssystem (siehe Abbildung 7). Eine substantielle Erhöhung der Erträge ist daher nicht zu erwarten. Höhere Erträge biologischer Kulturen sind durchaus möglich und werden auch realisiert; der Stickstoffhaushalt und somit auch die Verluste in die Umwelt sind dann jedoch von einer anderen Größenordnung.

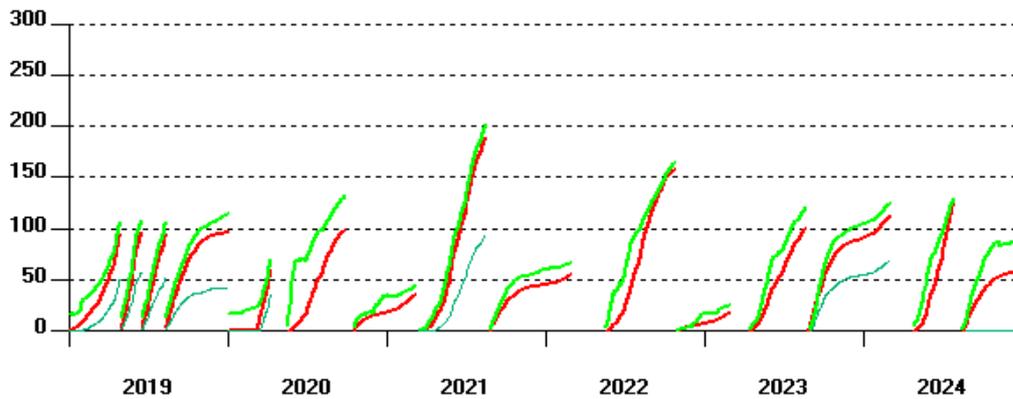


Abbildung 7: Verfügbarer Stickstoff und Aufnahme durch die Pflanzen nach Betriebskonzept-2
 y-Achse: kg N pro Hektar. Grün: verfügbarer Stickstoff. Rot: Aufnahme durch die Pflanzen.
 Blaugrau: N-Bindung durch Leguminosen

4.3 Bodenfruchtbarkeit

Jedes Jahr wurden nach der Vegetationsperiode Bodenproben entnommen und analysiert. Die Ergebnisse wurden in den Jahresberichten publiziert (van der Burgt 2012; Hospers et al., 2014a, 2014b, 2015, 2017). Ab 2014 geht es um einen feststehenden Parametersatz; 2012 und 2013 wurden weniger und zum Teil andere Parameter ermittelt. Dadurch liegen bezüglich der Bodenanalyse teilweise Daten aus fünf Jahren vor, teilweise aus vier oder nur drei Jahren. Für die Analyse der Pflanzendaten wurden die Mittelwerte der sechs Schläge verwendet.

Organische Substanz

Der Verlauf des gemessenen Gehalts an organischer Substanz ist in Abbildung 8 dargestellt.

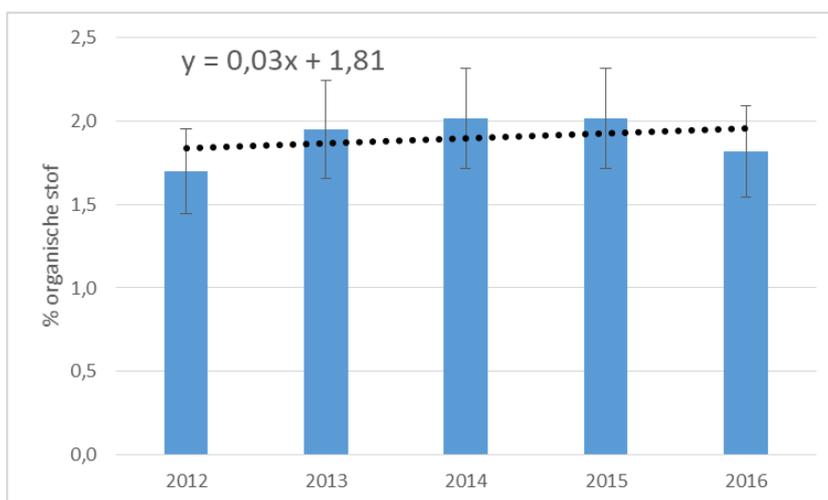


Abbildung 8: Ermittelter Gehalt an organischer Substanz 0-30 cm

Der Fehlerbalken basiert auf einer mündlichen Mitteilung des Labors, in dem die Analysen durchgeführt wurden (Eurofins, Wageningen), und umfasst 15 % des Messwerts. Die Trendlinie zeigt einen leichten Anstieg, doch in Anbetracht der Fehlermarge lassen sich bezüglich der Entwicklung des Gehalts an organischer Substanz keine eindeutigen Schlussfolgerungen ziehen.

Die Modellierung der organischen Substanz der sechs Schläge (Tabelle 3) weist kleine Schwankungen auf, was an jährlich unterschiedlichen Erträgen (und somit auch Ernterückständen), an unterschiedlichen Mengen der ausgebrachten Grünschnittdüngung oder an Unterschieden infolge kleiner Abänderungen des Kulturplans liegen kann. Im Großen und Ganzen zeigt die Modellierung einen praktisch stabilen Gehalt an organischer Substanz.

Tabelle 3: Modellierter Gehalt an organischer Substanz 0-30 cm

| | Beginn 2011 | Ende 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 |
| Durchschnitt | 1,84 | 1,83 |

Nährstoffe im Boden

Wo keine Mineralstoffe zugeführt werden, wäre zu erwarten, dass der Gehalt an Mineralstoffen im Boden im Lauf der Zeit abnimmt. Ab 2014 wurden die in Tabelle 4 dargestellten Bodenparameter ermittelt. Die Messungen aus den Jahren 2012 und 2013 weichen davon ab. Um einen Einblick in einen eventuellen Verlauf der Werte im Lauf der Jahre zu erhalten, wurden sämtliche Parameter auf 100 indexiert = mittlerer Wert der fünf Jahre (in manchen Fällen drei oder vier Jahre). Da die Fehlermarge der verwendeten Analyseverfahren nicht bekannt ist, ist eine aussagekräftige Analyse nicht möglich. Deshalb wurde untersucht, ob Tendenzen erkennbar sind (Zu- oder Abnahme in der Zeit) und ob diese für mehrere Parameter zusammenfallen. Dies war kaum der Fall. Auf einer noch abstrakteren Ebene wurden alle indexierten Parameter mit Ausnahme des C/N- und des C/S-Verhältnisses und der Anteile an Ton, Schluff und Sand zusammengefügt. Die einfache Annahme dabei ist: je höher der Wert des Parameters, desto größer die Bodenfruchtbarkeit. Das Ergebnis ist in Abbildung 9 wiedergegeben.

Aufgrund dieses Bildes lassen sich hinsichtlich der Frage, ob die Bodenfruchtbarkeit abgenommen hat oder nicht, keine Schlussfolgerungen ziehen. Vielleicht sollte man die Genauigkeit der Bodenanalysen insgesamt infrage stellen. Schließlich ist es sehr unwahrscheinlich, dass der mittlere Wert aller Parameter im Jahr 2014 um 5 % höher liegt als in den Jahren davor und danach. Die einzige Analyse, die eine klare zunehmende Tendenz zeigt, ist die des Bodenlebens; diese basiert allerdings nur auf drei Messungen.

Der zeitliche Verlauf einer Auswahl der indexierten Parameter ist in Anlage 2 wiedergegeben. Dies sind die Grafiken, die eine mehr oder weniger deutliche Tendenz aufweisen. Ganz in Übereinstimmung mit dem Fehlen einer Tendenz bei den mittleren Werten (Abbildung 9) bieten die Grafiken in Anlage 2 ein wechselvolles Bild: Es gibt Zu- und

Abnahmen. Letztendlich wird die Zukunft erweisen müssen, ob tatsächlich Veränderungen der Bodenfruchtbarkeit in physischer, chemischer oder biologischer Hinsicht auftreten.

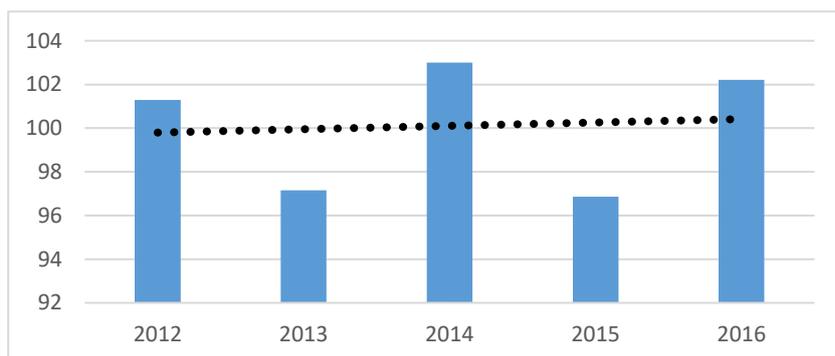


Abbildung 9: Indexierter Mittelwert aller Bodenparameter

Tabelle 4: Analytierte / berechnete Bodenparameter, für jeden Parameter auf 100 = Mittelwert indexiert

| Parameter | Einheit | Bemerkung | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|--------------------------|---|-------------------|------|------|------|------|------|
| Gesamt-N | mg N/kg | | 117 | 92 | 100 | 97 | 95 |
| C/N-Verhältnis | | | 87 | 107 | 102 | 104 | 100 |
| N-Nachliefervermögen | kg N/Jahr | | 118 | 90 | 100 | 97 | 95 |
| Gesamt-S (1) | mg S/kg | | | 97 | 93 | 108 | 101 |
| C/S-Verhältnis (1) | | | | 104 | 110 | 98 | 89 |
| S-Nachliefervermögen (1) | kg S/Jahr | | | 98 | 93 | 104 | 105 |
| P | mg P/kg | pflanzenverfügbar | | 102 | 94 | 90 | 114 |
| P-Bodenvorrat | mg P ₂ O ₅ /100 g | | 98 | 104 | 103 | 97 | 97 |
| P-wasserlöslich | mg P ₂ O ₅ /l | | 83 | 118 | 114 | 90 | 94 |
| K (1) | mg K/kg | pflanzenverfügbar | | 118 | 116 | 92 | 73 |
| K (1) | mmol+/kg | Bodenvorrat | | 95 | 112 | 95 | 98 |
| Ca (2) | kg Ca/ha | pflanzenverfügbar | | | | | |
| Ca-Bodenvorrat (1) | kg Ca/ha | | | 93 | 102 | 103 | 102 |
| Mg | mg Mg/kg | pflanzenverfügbar | 100 | 109 | 115 | 101 | 76 |
| Na (2) | mg Na/kg | pflanzenverfügbar | | | | | |
| Si (1) | μ Si/kg | pflanzenverfügbar | | 84 | 112 | 94 | 111 |
| Fe (2) | μ Fe/kg | pflanzenverfügbar | | | | | |
| Zn (2) | μ Zn/kg | pflanzenverfügbar | | | | | |
| Mn (2) | μ Mn/kg | pflanzenverfügbar | | | | | |
| Cu (2) | μ Cu/kg | pflanzenverfügbar | | | | | |
| Co (2) | μ Co/kg | pflanzenverfügbar | | | | | |
| B (1) | μ B/kg | pflanzenverfügbar | | 102 | 124 | 89 | 85 |
| Mo (1) | μ Mo/kg | pflanzenverfügbar | | 77 | 86 | 79 | 157 |
| Se (1) | μ Se/kg | pflanzenverfügbar | | 77 | 93 | 92 | 138 |
| Säuregrad | | | 103 | 98 | 99 | 98 | 101 |
| C-organisch (1) | % | | | 102 | 106 | 102 | 90 |
| Organische Substanz | % | | 89 | 103 | 106 | 106 | 96 |
| C-anorganisch (1) | % | | | 92 | 108 | 100 | 99 |
| Kohlensaurer Kalk (1) | % | | | 92 | 109 | 100 | 99 |
| Ton (3) | % | | | | 104 | 102 | 94 |
| Schluff (3) | % | | | | 101 | 106 | 93 |
| Sand (3) | % | | | | 98 | 97 | 105 |
| Ton-Humus (KAK) (3) | mmol+/kg | | | | 100 | 101 | 99 |
| KAK-Besetzung (3) | % | | | | 99 | 101 | 99 |
| Bodenleben (3) | mg N/kg | | | | 83 | 91 | 126 |

(1): im Jahr 2012 nicht gemessen

(2): ein oder mehrere Jahre mit Messungen unterhalb der Nachweisbarkeitsgrenze

(3): in den Jahren 2012 und 2013 nicht gemessen

4.4 Nährstoffgehalt der Pflanzen

Pflanzliche Marktprodukte

Bei den Pflanzen wurde in den meisten Fällen der Gehalt an N, P und K bestimmt. Außerdem wurde ab 2014 eine ausführlichere Liste an Inhaltsstoffen analysiert. Die Ergebnisse wurden in den Jahresberichten publiziert, wobei jedoch in ein paar Fällen versehentlich die Daten für reines P und K als Angaben des P_2O_5 - und K_2O -Gehalts notiert wurden. In Anlage 3 sind die korrigierten Analyseergebnisse wiedergegeben.

Wo keine Mineralstoffe zugeführt werden, wäre zu erwarten, dass der Gehalt an Mineralstoffen in den Pflanzen im Lauf der Zeit abnimmt. Von einem klaren Verlauf im Lauf der Jahre ist jedoch keine Rede. Abbildung 10 zeigt die Zusammenfassung aller Nährstoffe, die zuvor jeweils auf 100 (= Mittelwert der Jahre) indexiert wurden. Über die Jahre hin sieht man vor allem Schwankungen und eine sehr bescheidene zunehmende Tendenz.

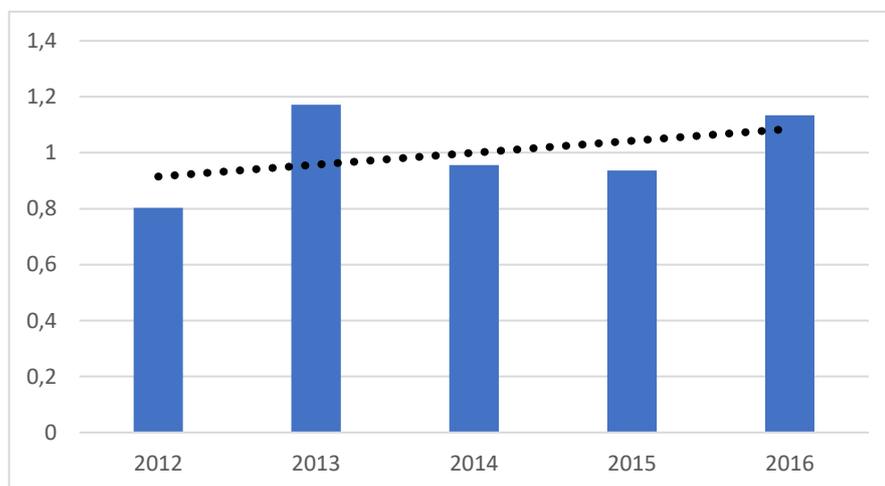


Abbildung 10: Alle Nährstoffe, Mittelwert auf 100 indexiert

Bei Betrachtung der einzelnen Nährstoffe (Anlage 2) ist nur bei den Mikronährstoffen Eisen und Mangan ein konsequenter Anstieg in den Jahren 2014 – 2016 zu beobachten – nur für diese Jahre liegen Analysedaten vor –, und auch nur bei Kartoffel, Möhre und Kürbis, die in allen drei Jahren angebaut wurden. Die meisten Nährstoffe zeigen ein wechselndes Bild, und in ein paar Fällen sind Abnahmen zu verzeichnen.

Konklusion: Der Nährstoffgehalt der Pflanzen scheint im Lauf der Jahre nicht abzunehmen.

Grünschnittdüngung

Das Anwendungsmuster der Grünschnittdüngung sieht in Grundzügen folgendermaßen aus. Eine Mischung unterschiedlicher Leguminosen und Gräser oder Getreide wird im Herbst möglichst schnell nach der Kartoffelernte ausgesät. Im Folgejahr werden drei Schnitte geerntet und in Ballen gelagert.

In den ersten Jahren wurde ein Teil der Ernte zu trockenen Pellets verarbeitet. Dies hat die Vorteile, dass beim Düngen viel weniger Gewicht zu verteilen ist, dass der N-Gehalt pro kg Düngemittel viel höher ist, und dass eventuell gezielt in der Reihe oder im Damm gedüngt

werden kann. Dieser Stickstoff hat einen hohen "Freiheitsgrad" (van der Burgt, 2008). Auch wurde in den ersten Jahren versucht, den ersten Schnitt nicht in Ballen zu pressen, sondern sofort, frisch, auf einem anderen Schlag auszubringen. Das erspart die Kosten für das Ballenpressen sowie den Transport zum Hof und wieder zurück. Beide Methoden wurden aufgegeben: zu teuer bzw. organisatorisch zu komplex.

Im Jahr nach dem vollständigen Nutzungsjahr wird der erste und einzige Schnitt nicht abgeführt, sondern eingearbeitet und dient als Düngung für die Folgekultur. In den ersten beiden Jahren war dies Blumenkohl, danach Kürbis. Insgesamt steht die Grünschnittkultur somit ein und ein dreiviertel Jahr auf dem Feld (von September bis Mai), besetzt aber nur den Platz eines einzigen Marktproduktes.

Die Grünschnittdüngung bildet zusammen mit Schmetterlingsblütlern als Gründüngungspflanzen und einem Schmetterlingsblütler als Hauptkultur (Ackerbohne) den "Stickstoffmotor" des Systems. Sowohl der kg-Ertrag als auch der Stickstoffertrag sind von entscheidender Bedeutung. Es wurde und es wird noch immer danach gesucht, welche Kombination von Arten und Sorten am besten geeignet ist.

Die kg-Erträge und Stickstofferträge sind in den Jahresberichten dokumentiert. Sie sind wechselnd, manchmal mit einem enttäuschend niedrigen Stickstoffgehalt (etwa 2,6 % N in der Trockensubstanz bei Klee gras), manchmal aber auch mit 3,2 % N in der Trockensubstanz (Klee-Luzerne-Gemenge). Zur Variation trägt auch die Tatsache bei, dass der erste Schnitt häufig einen niedrigeren N-Gehalt aufweist als die späteren Schnitte: Dies ist ein normales Muster. Obwohl dieser Aspekt noch vollauf in Entwicklung ist, gehen wir davon aus, dass es machbar sein sollte (2016 wurde es auch erreicht), im Durchschnitt 9,5 Tonnen Trockensubstanz pro Hektar mit durchschnittlich 3,0 % Stickstoff als Grünschnittdüngung ernten zu können.

4.5 Umwelleistungen

Stickstoffauswaschung

Bezüglich der Auswaschung von Stickstoff wurden keine Messungen vorgenommen. Dieser Aspekt wurde anhand des Betriebskonzepts-2 mithilfe von Ndicea bewertet; siehe Abschnitt 3.4.

In Abbildung 11 ist die Stickstoffauswaschung von Betriebskonzept-2 grafisch dargestellt. Die durchschnittliche Auswaschung in Tiefen unterhalb von 60 cm beträgt 18 kg Stickstoff pro Hektar pro Jahr. Die Stickstoffdeposition wird auf 28 kg pro Hektar pro Jahr angesetzt. Dieses Betriebssystem ist also imstande, deponierten Stickstoff aktiv zu nutzen und fungiert sozusagen als Aufbereitungsanlage für Regenwasser.



Abbildung 11: Auswaschung kumulativ
y-Achse: kg N pro Hektar. Die Auswaschkurve wird zu Beginn jeder neuen Kultur wieder von Null an aufgebaut.

Mithilfe von zwei Annahmen kann der N-Gehalt des Wassers, das dem Grundwasser zugeführt wird, grob geschätzt werden:

- Von den 18 kg Verlust kann 4 kg oder mehr immer noch denitrifiziert werden, so dass 14 kg tatsächlich ins Grundwasser gerät (sehr grobe Schätzung nach Jahangir et al., 2012; Zwart, 2003)
- Der jährliche Nettoniederschlag beträgt 450 mm

Aufgrund dieser Annahmen ergibt sich ein Stickstoffgehalt des Grundwassers von gut 3 mg Nitrat-N pro Liter. Dieser Wert liegt weit unter dem gesetzlichen Grenzwert von 11 mg Nitrat-N pro Liter aus der europäischen Nitratrichtlinie (Ann. 2010).

Konklusion: Die Stickstoffauswaschung ist vermutlich sehr gering; das Agrarsystem fungiert de facto als Wasseraufbereitung.

Ammoniakausstoß

Die weitaus wichtigste Quelle des Ammoniakausstoßes in der Landwirtschaft ist frischer Tierdung im Stall und beim Ausbringen. Tierdung wird in diesem Betriebssystem nicht verwendet. In sehr kleinem Maßstab wird aus Pflanzenbeständen während des Wachstums und danach aus Ernterückständen Ammoniak ausgestoßen. Dies wurde nicht gemessen und wird auch im Ndicea-Modell nicht berücksichtigt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Mengen äußerst gering sind (van Bruggen et al., 2015).

Konklusion: Der Ammoniakausstoß ist vermutlich gleich null. Der Beitrag dieses Systems zur Stickstoffdeposition außerhalb des Systems ist gleich null.

Pflanzenschutzmittel

Es handelt sich um ein biologisches Betriebssystem. Während des bewerteten Zeitraums wurden keine, auch keine in der biologischen Landwirtschaft zugelassenen Pflanzenschutzmittel verwendet.

Konklusion: Der Austrag ist gleich null.

4.6 Klimaleistungen

CO₂-Bindung

CO₂ kann in Form von organischer Substanz im Boden gebunden werden. Dies ist ein dynamischer Zufuhr- und Abbauprozess, wobei CO₂ (vorübergehend) in organischer Substanz gebunden und somit netto der Atmosphäre entzogen wird. In Abschnitt 4.3 ist die Rede von einer möglichen Zunahme des Gehalts an organischer Substanz im Planty Organic-Betriebssystem. Dabei würde es um einen Zuwachs von 0,03 Prozentpunkten pro Jahr gehen. Bei einem angenommenen spezifischen Gewicht von 1,4 (Zwart et al., 2013) und 30 cm Krumentiefe beläuft sich der Vorrat an organischer Bodensubstanz auf 76 Tonnen. Eine jährliche Zunahme von 0,03 Prozentpunkten bedeutet einen Nettozuwachs pro Jahr von 1260 kg organischer Substanz. Bei einem angenommenen Kohlenstoffgehalt von 58 % der organischen Substanz ergibt dies eine Netto-CO₂-Bindung von 2700 kg pro Hektar pro Jahr. Diese Zunahme an organischer Substanz und die damit einhergehende Bindung von CO₂ sind von vorübergehender Art. Das Betriebskonzept-2 hat mit 1,8 – 1,9 % organischer Substanz den voraussichtlichen Gleichgewichtszustand bereits annähernd erreicht.

Konklusion: Wenn die Modellierung stimmt, ist das Potenzial für die Speicherung von CO₂ gering. Sollte aus genaueren Messungen des Kohlenstoffvorrates hervorgehen, dass eine Zunahme zu verzeichnen ist, wäre jedoch ein Potenzial vorhanden. Es gibt noch Bodenproben aus früheren Jahren, und genauere Analysemethoden sind verfügbar, so dass dies immer noch untersucht werden kann.

Ausstoß von Methan und Lachgas

Der Ausstoß von Methan und Lachgas wurde in diesem Versuchsfeld nicht gemessen oder modelliert. Analog zur Erwartung bezüglich des Ammoniakausstoßes darf für dieses System davon ausgegangen werden, dass der Ausstoß von Methan und Lachgas sehr niedrig ist. Der Ausstoß beider Gase wird durch anaerobe Verhältnisse im Boden gefördert und verläuft gewissermaßen parallel zum Prozess der Denitrifikation. Die Denitrifikation ist Teil des Ndicea-Modells. In Abbildung 12 ist die Denitrifikation grafisch dargestellt. Der berechnete Mittelwert ist 9 kg N pro Hektar pro Jahr. Dies ist ein niedriger Wert, der sich großteils durch die im Durchschnitt sehr niedrigen Nitratkonzentrationen in der Ackerkrume erklären lässt (siehe Abbildung 3).

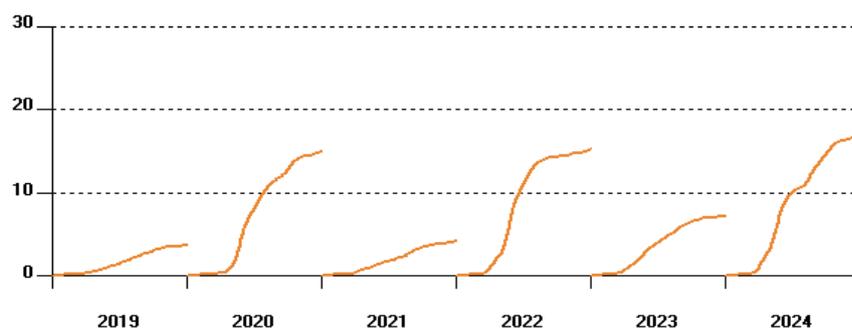


Abbildung 12: Denitrifikation aus der Ackerkrume
y-Achse: kg N pro Hektar, für jedes Jahr kumulativ

Brennstoffverbrauch

Pflügen ist eine Aktivität, die viel Brennstoff erfordert. Bei nicht wendender Bodenbearbeitung wird nicht gepflügt, doch es finden andere Bearbeitungen statt. Das Erstellen einer Gesamt-CO₂-Bilanz des Betriebs ist so komplex, dass es die Möglichkeiten dieser Bewertung übersteigt. Es wäre jedoch in drei Hinsichten durchaus interessant:

- Wird die durch Verzicht auf Pflügen realisierte Brennstoffersparnis durch eine Zunahme der übrigen Bearbeitungsgänge zunichte gemacht?
- Wie wirkt sich der Verzicht auf den Einsatz von Tierdung aus? Denn ob der CO₂-Effekt von Tierdung nun der Viehwirtschaft oder dem Ackerbau angerechnet wird, der Effekt ist derselbe.
- Eine CO₂-Belastung durch den Einsatz von Mineraldünger spielt innerhalb dieses Betriebssystems keine Rolle, ist jedoch ein interessanter Punkt für den Vergleich mit einem konventionellen Ackerbausystem.

4.7 Interne Prozesse

Die modellhafte Beschreibung des Betriebskonzepts-2 macht es möglich, die Mineralstoffflüsse innerhalb des Systems auf Detailebene zu untersuchen. Dies wird noch interessanter, wenn auch ein konventioneller Ackerbaubetrieb auf diese Art beschrieben und untersucht wird. Dazu wurde ein fiktiver konventioneller Ackerbaubetrieb beschrieben, und zwar auf der Grundlage der Situation und der Erfahrungen des Versuchsbetriebs Kollumerwaard (nach mündlichen Informationen des Betriebsleiters, Philip Kramer). Das Betriebskonzept-2 von Planty Organic ist in Abbildung 6 wiedergegeben, das des konventionellen Ackerbaubetriebs in Abbildung 13.

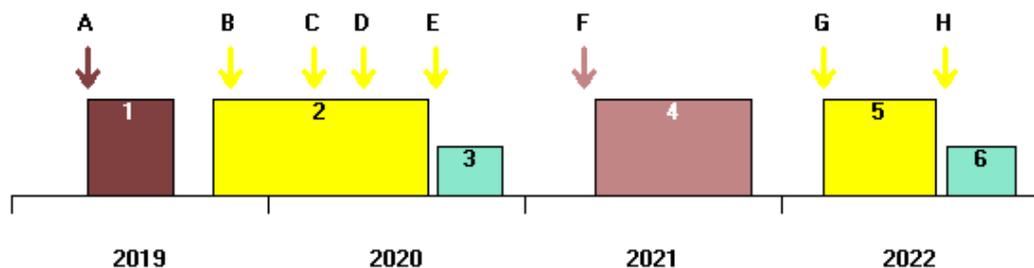


Abbildung 13: Fruchtarten und Düngergaben im Verlauf der Zeit, konventionelles System

- 1 = Setzkartoffel, Ertrag 35.000 kg (20 % TS) mit 1,57 % Stickstoff in der TS
- 2 = Winterweizen, Ertrag 9.500 kg (85 % TS) mit 2,1 % Stickstoff in der TS
- 3 = Ölrrettich, 2.200 kg TS, eingearbeitet, mit 2,3 % Stickstoff in der TS
- 4 = Zuckerrübe, Ertrag 80.000 kg (21,8 % TS) mit 0,55 % Stickstoff in der TS
- 5 = Sommergerste, Ertrag 7.000 kg (85 % TS) mit 1,76 % Stickstoff in der TS
- 6 = Weißer Senf, 2.200 kg TS, eingearbeitet, mit 2,1 % Stickstoff in der TS
- A = Mineraldünger N-P₂O₅-K₂O 78-70-200
- B = Mineraldünger N-P₂O₅-K₂O 100-0-0
- C = Rindergülle N-P₂O₅-K₂O 102-38-145
- D = Mineraldünger N-P₂O₅-K₂O 50-0-0
- E = Mineraldünger N-P₂O₅-K₂O 40-0-0
- F = Mineraldünger N-P₂O₅-K₂O 140-100-140
- G = Mineraldünger N-P₂O₅-K₂O 80-20-0
- H = Mineraldünger N-P₂O₅-K₂O 40-0-0

Mineralstoffbilanz

Die Mineralstoffbilanzen beider Systeme sind in Tabelle 5 wiedergegeben.

Tabelle 5: Mineralstoffbilanzen von Planty Organic und einem konventionellen Ackerbaubetrieb

| | Planty Organic | | | Konventionell | | |
|------------------------|----------------|-------------------------------|------------------|---------------|-------------------------------|------------------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| Zufuhr durch Dünger | 0 | 0 | 0 | 158 | 57 | 121 |
| N-Bindung | 68 | | | 0 | | |
| Deposition | 28 | 3 | 8 | 28 | 3 | 8 |
| Zufuhr insgesamt | 96 | 3 | 8 | 186 | 60 | 129 |
| Abfuhr durch Produkte | 64 | 32 | 94 | 120 | 60 | 145 |
| Berechneter Überschuss | 32 | -29 | -86 | 66 | 0 | -16 |
| Verflüchtigung | 0 | | | 7 | | |
| Denitrifikation | 10 | | | 14 | | |
| Auswaschung | 18 | | | 45 | | |
| Bodenaufbau | 4 | | | -2 | | |

Die Stickstoffzufuhr findet bei Planty Organic durch N-Bindung statt, wofür 17 % der Oberfläche benötigt wird. Die Zufuhr im konventionellen System, in Form von Mineraldünger, wird durch den Input fossiler Brennstoffe ermöglicht.

Die Produktion von Planty Organic, ausgedrückt als Stickstoff im Marktprodukt pro Hektar, ist halb so hoch wie die des konventionellen Betriebs. Allerdings ist der Stickstoffüberschuss ebenfalls halb so hoch wie im konventionellen System. Die Umweltbelastung durch Planty Organic (Verflüchtigung und Auswaschung) ist beträchtlich niedriger als im konventionellen System, das übrigens voraussichtlich, ebenso wie Planty Organic, die europäische Nitratrichtlinie einhält. Planty Organic weist ein kleines Plus in der Stickstoff-Bodenbilanz auf, das konventionelle System ein sehr kleines Minus.

Interne Stickstoffströme

Bei Planty Organic wird durchschnittlich 234 kg N pro Hektar pro Jahr von Pflanzen aufgenommen; im konventionellen System ist dies 212 kg N. Im Planty Organic-System ist es also mehr, obwohl der Unterschied nicht groß ist. Er lässt sich dadurch erklären, dass im Planty Organic-System während eines längeren Zeitraums als im konventionellen System ein wachsender Pflanzenbestand vorhanden ist (82 % gegenüber 69 % der Zeit), und vor allem dadurch, dass Leguminosen (Klee-Luzerne- und Gras-Wicke-Gemenge, Ackerbohne) mit einem relativ hohen N-Gehalt angebaut werden.

Der Verbleib des Stickstoffs ist dagegen sehr unterschiedlich, siehe Abbildung 14.

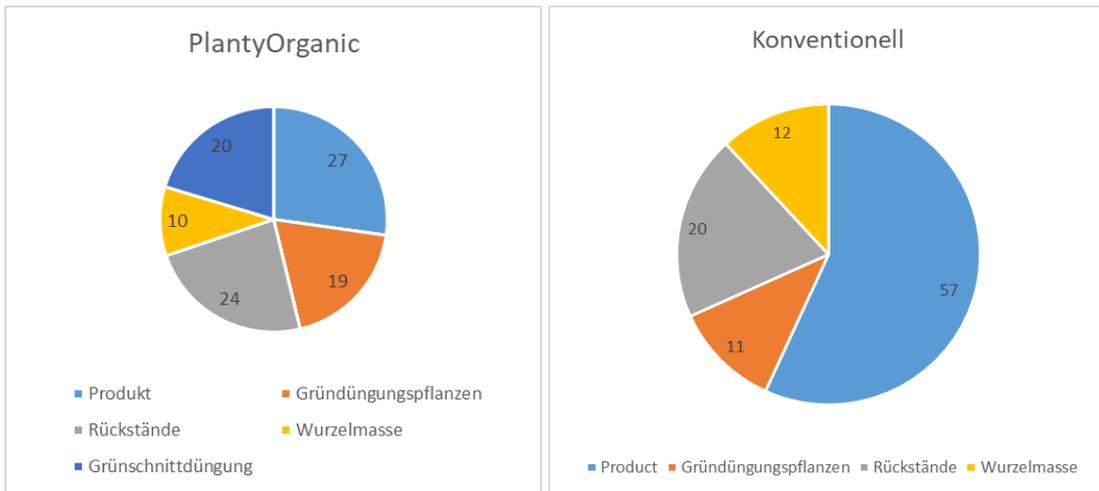


Abbildung 14: Verbleib des aufgenommenen Stickstoffs in %

Im konventionellen System verlässt über die Hälfte des aufgenommenen Stickstoffs das System als Marktprodukt. Im biologischen System ist dies gut ein Viertel; der Rest ist für die Stickstoffversorgung der Folgefrüchte bestimmt.

N-Effizienz

Im Planty Organic-Betriebskonzept-2 wird 96 kg N pro Hektar pro Jahr zugeführt: 68 kg durch N-Bindung und 28 kg durch Deposition. Im konventionellen System ist dies insgesamt 186 kg, also das Doppelte. Der Verbleib des zugeführten Stickstoffs ist in Abbildung 15 dargestellt.

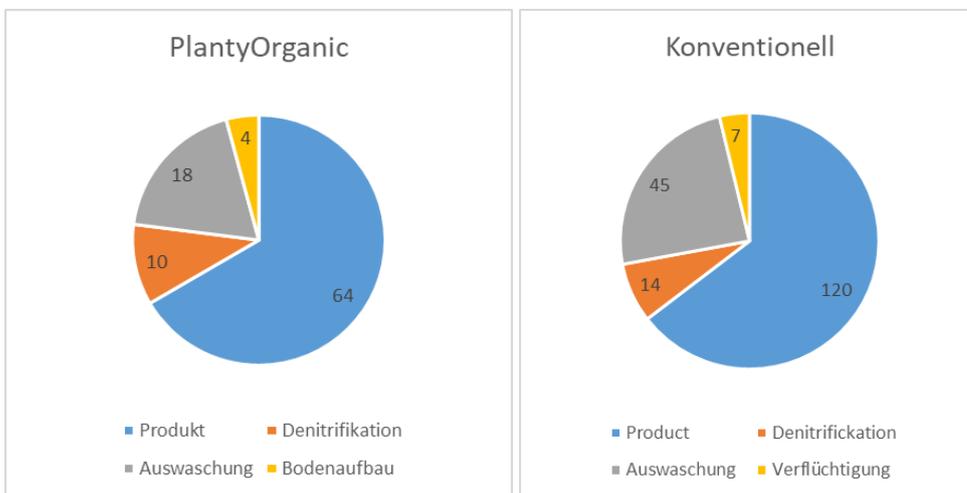


Abbildung 15: Verbleib des zugeführten Stickstoffs in kg/ha

Bei Planty Organic wird 64 kg (69 %) des zugeführten Stickstoffs in Marktprodukten genutzt, im konventionellen System 120 kg (65 %). Planty Organic geht somit ein klein wenig effizienter mit dem N-Input um als das konventionelle System. Die Verluste betragen im biologischen System 28 kg (31 %), und 4 kg (4 %) des N-Inputs kommt der Bodenfruchtbarkeit zugute. Im konventionellen System betragen die Verluste 66 kg (36 %) und tritt ein sehr kleiner Verlust an Bodenfruchtbarkeit auf. Das Muster der N-Nutzung und der Verluste ist erstaunlich

vergleichbar, doch *in Kilo N pro Hektar* ausgedrückt sind die Verluste im konventionellen System etwa doppelt so hoch wie im Planty Organic-System. Es hat den Anschein, dass die Entscheidung für ein hohes Maß interner Ströme (unter anderem Grünschnittdüngung, Gründüngungspflanzen, Erntereste) zwar der Produktion Grenzen setzt, aber auch die Verluste minimiert. Dies wäre näher zu untersuchen.

Nach der üblichen Berechnungsweise "am Hoftor" weist Planty Organic eine unendlich hohe N-Effizienz auf, da durch das Hoftor nichts angeführt wird. Bei einer anderen Berechnungsart wird die Stickstoffbindung mitgerechnet, nicht aber die Deposition. In dem Fall ist die Effizienz von Planty Organic 94 %. Vermutlich ist dies der höchste Wert, der jemals in Feldversuchen im Praxismaßstab in den Niederlanden realisiert wurde.

5 Diskussion

Produktion

Das Planty Organic-Ackerbausystem erreicht ein Ertragsniveau, das mit den Ergebnissen anderer biologischer Ackerbaubetriebe vergleichbar ist (Minderhout und Troost, 2008; www.biowad.nl; Rijswijk und Pals, 2006; www.cbs.nl). Rechnet man die Fläche mit, die zur Stickstoffbindung und zum Realisieren anderer Bodenpflegemaßnahmen benötigt wird, ist die Produktion 17 % niedriger. Dem steht gegenüber, dass praktisch keine Effekte auf die Gesellschaft abgewälzt werden, mit Ausnahme des direkten Verbrauchs fossiler Energie (Bos et al., 2007). Das Vermeiden von Abwälzung auf die Allgemeinheit und die Schaffung von Nutzeffekten für die Gesellschaft werden leider noch nicht vergütet.

Bemühungen um Maßnahmen, die darauf abzielen, unter Beibehaltung der drei Ausgangspunkte den Ertrag zu erhöhen, sind denkbar, doch darf man sich davon, bis auf eine Ausnahme, keine allzu großen Auswirkungen versprechen. Grund dafür ist die Tatsache, dass das System sehr wahrscheinlich vor allem stickstofflimitiert ist und eine substantielle Erhöhung des Stickstoffangebotes bei den gegebenen Grundvoraussetzungen kaum möglich ist. Dies wird in den folgenden Abschnitten näher erläutert.

N-Bindung

Eine Erhöhung der N-Bindung ist in beschränktem Maße möglich, wenn ein etwas höherer Ertrag der Grünschnittkulturen erzielt wird. Die realisierten 9,5 Tonnen Trockensubstanz mit 3 % Stickstoff in der Trockensubstanz ließen sich vielleicht ein wenig steigern. Die Ackerbohne hat in den drei Jahren, in denen diese Kultur nun in die Fruchtfolge aufgenommen ist, ziemlich niedrige Erträge geliefert, was zumindest in einem Jahr krankheitsbedingt war. Wenn dieser Ertrag strukturell zu erhöhen ist, wird auch die N-Bindung etwas höher. Von den vier Gründüngungskulturen enthält im Betriebskonzept-2 nur eine einen Schmetterlingsblütler (die Gründüngungskultur nach Hafer). Nach Kürbis und nach Möhre ist die Aussaat eines Schmetterlingsblütlers wegen des späten Zeitpunkts der Saat wenig erfolgversprechend. Nach der Weizen/Ackerbohne-Mischkultur kann die Ackerbohne als Stoppelrest stehen bleiben und durchwachsen und damit einen bescheidenen Beitrag zur N-Bindung liefern. Dadurch erübrigt sich eine Bodenbearbeitung und werden Saatgutkosten gespart. Ob der Unkrautdruck im Jahr darauf beherrschbar bleibt, muss sich noch zeigen. Maßnahmen, die auf eine kleine Erhöhung der N-Bindung abzielen, sind ein Schwerpunkt für die kommenden Jahre.

N-Erhaltung

Eine Verminderung der Denitrifikation ist beinahe unmöglich, da diese bereits äußerst gering ist. Die beiden wichtigsten steuernden Faktoren, nämlich das Ausmaß des Abbaus der organischen Substanz und der Gehalt an Mineral-N in der Ackerkrume (Bradbury et al., 1993), sind systemimmanent bereits sehr niedrig. Ein dritter entscheidender Faktor,

vorübergehend anaerobe Bedingungen im Boden, sollte sowieso vermieden werden. Dieser potenzielle Mechanismus der Denitrifikation wird im Ndicea-Modell nicht berücksichtigt. Auch für die Auswaschung gilt, dass es sehr schwierig sein wird, diese weiter zu verringern. Im Betriebskonzept-2 wurde Roggen nach dem Möhrenbau als Gründüngungskultur in die Fruchtfolge aufgenommen. Durch die späte Möhrenernte wird der Ertrag voraussichtlich sehr gering sein (600 kg TS/ha), vorausgesetzt, dass Aussaat und Aufgang überhaupt gut verlaufen. Wenn sich durch eine ausgeklügelte Betriebsführung – und günstige Witterungsverhältnisse – sowohl zu Anfang als auch in der Schlussphase dieser Gründüngungskultur eine oder ein paar Wochen gewinnen ließen, könnte auch ein etwas höherer Ertrag mit einer entsprechend höheren N-Aufnahme realisiert werden. Dies gilt übrigens auch für die anderen drei Gründüngungskulturen. Durch eine Verkürzung der Pause zwischen Ende der Gründüngungskultur und Aussaat der folgenden Hauptkultur ließe sich ein kleiner und ein etwas größerer Vorteil erzielen: eine noch etwas geringere Auswaschung, und möglicherweise ein beträchtlich höherer Ertrag und N-Gehalt, der zum Teil durch N-Bindung realisiert wird.

N-Zufuhr aus dem Kreislauf

Den zirkulären Ackerbau der Zukunft kann man sich als ein System mit hundertprozentiger Rückführung von Bioabfall und Klärschlamm vorstellen: eine möglichst geschlossene Produktions- und Verbrauchskette. Man darf annehmen, dass der Verlust an Phosphat in dieser zukünftigen Kette relativ gering sein wird (Schoumans et al., 2008). Für Stickstoff gilt dies, in Anbetracht der Leichtigkeit, mit der dieser an Wasser und Luft abgegeben wird, nicht. Auch die unterschiedliche Aufnahme von N und P durch den menschlichen Körper wird sich auf das N/P-Verhältnis des Rückführungsstromes auswirken. Für leicht lösliche Mineralstoffe wie Kalium wird, ebenso wie für Stickstoff, kein hundertprozentiger Kreislauf realisierbar sein.

Die Abfuhr durch Produkte beträgt im Betriebskonzept-2 jährlich 64 kg N und 32 kg $P_2 O_5$ pro Hektar (Tabelle 5). Nehmen wir einmal an, dass 30 kg $P_2 O_5$ durch kompostierten Bioabfall mit einem Gehalt von 8,9 kg N und 4,4 kg $P_2 O_5$ pro Tonne Frischsubstanz kompensiert wird (Quelle: www.handboekbodemenbemesting.nl). Dies bedeutet eine durchschnittliche jährliche Zufuhr (aus dem Kreislauf!) von 61 kg N. Nur ein sehr kleiner Teil dieses Stickstoffs ist direkt aufnehmbar (Mineral-N-Fraktion < 10 %). Der Rest wird der organischen Bodensubstanz zugeführt und allmählich freigesetzt. Die Modellierung mit Ndicea zeigt (hier nicht dargestellt), dass der Gehalt an organischer Substanz in diesem Fall beträchtlich zunimmt. Bereits innerhalb weniger Jahre führt dies zu einer Erhöhung der Stickstoffverfügbarkeit und damit des Produktionspotenzials. Der Gehalt an organischer Bodensubstanz steigt in diesem Fall langsam Richtung 3 %. Übrigens ist anzumerken, dass das N/P-Verhältnis der abgeführten Produkte nach dem Handbuch beinahe dasselbe ist wie das des Bioabfalls. Dies stimmt nicht mit der Tatsache überein, dass Phosphat leichter im Kreislauf erhalten bleibt als Stickstoff; der relative Anteil des Stickstoffs und

das N/P-Verhältnis werden also abnehmen. Das N/P-Verhältnis wird daher niedriger ausfallen als im Obenstehenden angenommen.

Niveau der N-Verfügbarkeit

Die Kultur, die auf die Schnittkultur für Grünschnittdüngung folgte, war 2012 und 2013 Blumenkohl. Es erwies sich als unmöglich, einen guten Ertrag zu erzielen, was vermutlich auf Stickstoffmangel zurückzuführen ist. Obwohl 2012 noch Monterra-Pellets und 2013 Grünschnittdüngung in Pelletform zugeführt wurden, konnte für den Blumenkohl kein hinreichend hohes Niveau an verfügbarem N realisiert werden. Deshalb wurde ab 2013 Kürbis an dieser Stelle in die Fruchtfolge aufgenommen, und damit werden gute Ergebnisse erzielt.

Im Allgemeinen ist der Mineral-N-Gehalt niedrig bis sehr niedrig, was nicht mit einer niedrigen N-Verfügbarkeit für die Kulturen verwechselt werden darf. Wenn die Mineralisation von Stickstoff aus der organischen Substanz an jedem Wachstumstag auf einem vergleichbaren Niveau liegt wie die Aufnahme durch den Pflanzenbestand, können Kulturen bei einem niedrigen gemessenen Mineral-N-Gehalt ausgezeichnet gedeihen. Voraussetzung dafür ist, dass das Bodenleben aktiv genug ist und genügend abbaubare organische Substanz antrifft, und dass das Wurzelsystem in der Lage ist, den durch Mineralisation freigesetzten Stickstoff sofort zu nutzen. Das ist die große Herausforderung für biologische Anbausysteme bei beschränkter N-Zufuhr, und ein Schwerpunkt bei der weiteren Optimierung des Planty Organic-Betriebssystems.

Organische Bodensubstanz

Die Messungen der organischen Bodensubstanz zeigen eine leicht zunehmende Tendenz von 0,03 Prozentpunkten pro Jahr. Die Modellierung deutet eine sehr geringfügige Abnahme der organischen Substanz an, sowie einen kleinen Anstieg des N-Vorrats, was zu einer kleinen Abnahme des C/N-Verhältnisses der organischen Bodensubstanz führt. Weder die Messungen noch die Modellierung lässt gesicherte Aussagen zu.

Für die Fruchtfolge und Düngung (ausschließlich betriebseigene Grünschnittdüngung) nach Betriebskonzept-2 wurde mithilfe der niederländischen Standardmethode die Bilanz der organischen Substanz berechnet. Zur Ermittlung der effektiven (= 1 Jahr nach Ausbringung noch vorhandenen) organischen Substanz wurden Angaben aus den verfügbaren Quellen (www.kennisakker.nl; www.handboekbodemenbemesting.nl) herangezogen, und der jährliche Abbau wurde auf 2 % angesetzt (Janssen et al., 1990). Bei der Berechnung wurde wegen der erwartungsgemäß niedrigeren Erträge der Gründungspflanzen eine Korrektur vorgenommen. Das Ergebnis ist ein berechnetes Gleichgewicht von 2,1 % organischer Bodensubstanz. Sollte dies der Wirklichkeit entsprechen, besteht noch die Möglichkeit einer Zunahme des Gehalts an organischer Substanz (die Ausgangslage ist 1,8 – 1,9 %) und damit der CO₂-Bindung: Eine Zunahme der organischen Substanz in einer Bodenschicht von 30 cm um 0,2 – 0,3 Prozentpunkte bedeutet im Lauf der Zeit 18 – 25 Tonnen CO₂-Bindung pro

Hektar. In dem abgeschlossenen Projekt "Credits for Carbon Care" (Rietberg et al., 2013) und dem laufenden Projekt "Koolstofboeren" wurde untersucht bzw. wird daran gearbeitet, wie sich diese Dienstleistung an der Gesellschaft zu Geld machen ließe. In Österreich ist bereits ein derartiges System operationell (www.oekoregion-kaindorf.at).

Die Fruchtfolge wurde auch mit dem Online-Tool zur Bilanzierung der organischen Substanz auf www.kennisakker.nl durchgerechnet. Bei dieser Berechnung wird praktisch derselbe Datensatz für die effektive organische Substanz zugrunde gelegt, doch der Abbau ist, je nach Bodenart und pH, variabel. Im Fall des Bodens von Planty Organic ergibt dies einen hypothetischen Abbau von 2,46 % an Stelle von 2 %. In der Literatur werden Werte zwischen 1,6 und 3,2 % Abbau pro Jahr genannt (TCB 2016). Die Erträge sind in dem Online-Tool vorgegeben und können nicht angepasst werden, was im Fall von Planty Organic zu einer Überschätzung der Zufuhr führt. Dieses Tool berechnet eine positive Bilanz der organischen Substanz, die letztendlich einen Gleichgewichtszustand von 2,0 % organischer Substanz ergibt. Wenn die Zufuhr der organischen Substanz in dem Tool 10 % zu hoch eingeschätzt ist, würde das Gleichgewicht bei der entsprechenden Korrektur bei 1,8 % liegen, d. h. dem gleichen Wert wie in der Ausgangssituation.

Beide Rechenmethoden (feststehender Abbauwert und manuell korrigierte Zufuhr; variabler Abbauwert und nicht korrigierte Zufuhr) gehen von einer konventionell durchgeführten Bodenbearbeitung aus. Bei einer reduzierten Bodenbearbeitung wird angenommen, dass der Abbau insgesamt abnimmt (Balen und Haagsma, 2017). Bei Planty Organic wird eine nicht wendende Bodenbearbeitung durchgeführt. Dies würde wiederum darauf hindeuten, dass beide Methoden zu einer Überschätzung des Abbaus führen.

Alles in allem scheint es Grund zur Annahme zu geben, dass bei Planty Organic organische Bodensubstanz aufgebaut wird. Genauere Messungen könnten Aufschluss darüber geben, oder es muss im Lauf der Zeit deutlich werden.

Mineralstoffgehalte von Boden und Pflanzen

Obwohl keine Zufuhr stattfindet, scheint von einer Abnahme der Mineralstoffgehalte in Boden und Pflanzen keine Rede zu sein.

Für den Boden überrascht dies nicht: Die Ausgangslage ist ein reicher Boden mit einem großen Vorrat. Selbst wenn der Vorrat in 0-30 cm Tiefe tatsächlich kleiner geworden ist, wird die Abfuhr im Verhältnis zum Vorrat so gering sein, dass sich dieser Unterschied in den Ungenauigkeiten von Beprobung und Analyse verliert. Auch könnten Mineralstoffe aus 30-90 cm Tiefe mobilisiert werden, die zum Teil über Erntereste und Grünschnittdüngung in die Ackerkrume gelangen. Dies qualitativ und quantitativ festzustellen, ist eine anspruchsvolle Aufgabe.

Wenn der Bodenvorrat oder die Verfügbarkeit von Mineralstoffen vorläufig nicht abnimmt, ist es kein Wunder, dass auch im Mineralstoffgehalt der Pflanzen keine klare abnehmende Tendenz zu erkennen ist.

Sowohl bezüglich des Boden (Freisetzung) als auch bezüglich der Kulturen (Aufnahme) stellt sich die Frage, welche Rolle das Bodenleben dabei spielt. Der einzige Bodenfaktor, der von 2014 bis 2016 eine konsistente und große Zunahme aufweist (Tabelle 4), ist das Bodenleben. Dies ist ein "Black-Box-Parameter": Es geschieht alles Mögliche, doch was, wodurch und wie, verrät dieser Parameter nicht. Die Erforschung des Bodenlebens und seiner Funktionalität kann Licht in dieses Dunkel bringen. Auch im Ndicea-Modell wird das Bodenleben bei der Simulation des Abbaus der organischen Substanz und der dabei auftretenden Stickstoffmineralisation als "Black Box" behandelt.

6 Allgemeine Konklusionen

Nach fünf vollständigen Produktionsjahren des Planty Organic-Betriebssystems können wir den Schluss ziehen, dass ein Betriebssystem mit einem großen Potenzial entwickelt wurde. Es handelt sich um ein robustes System mit umfassenden internen Regulierungsmechanismen, aus dem noch viel gelernt werden kann. Bezüglich der Fragen, die in dieser Bewertung erörtert wurden (Kapitel 2), ziehen wir die folgenden Konklusionen:

- **Realisierbarkeit**
Mehrere kleine und größere Fragen sind noch offen, doch ein System mit vollständiger Stickstoffautarkie mit Grünschnittdüngung bei nicht wendender Bodenbearbeitung ist in der Praxis realisierbar.
- **Ertrag**
Das Ertragsniveau ist mit dem anderer biologischer Ackerbaubetriebe vergleichbar. Wenn die zur Stickstoffbindung benötigte Oberfläche mitgerechnet wird, liegt die Produktion niedriger. Eine Analyse des gesamten CO₂-Footprints könnte über diese Obstschale zu vergleichender Äpfel und Birnen Aufschluss geben, sowohl hinsichtlich übriger biologischer Betriebe mit Nutzung von Tierdung als auch im Vergleich zum konventionellen Ackerbau.
- **Bodenfruchtbarkeit**
Es gibt keine Hinweise darauf, dass die Bodenfruchtbarkeit im System ohne Zufuhr von Nährstoffen abgenommen hat. Wahrscheinlich ist der Gehalt an organischer Substanz leicht gestiegen. Die Aktivität des Bodenlebens hat nach den Messungen beträchtlich zugenommen.
- **Pflanzen**
Der Nährstoffgehalt der Pflanzen hat nicht abgenommen.
- **Umwelt**
Die Umweltleistungen des Systems sind außerordentlich positiv: sehr geringe Auswaschung, kein Ammoniakausstoß, kein Austrag von Pflanzenschutzmitteln.
- **Klima**
Möglicherweise wird CO₂ im Boden gebunden. Es darf angenommen werden, dass praktisch kein Ausstoß von Methan und Lachgas stattfindet. Über den direkten Brennstoffverbrauch lässt sich nichts sagen.

Für den biologischen Ackerbau wurden Möglichkeiten untersucht, die praktikabel sind. Jeder Ackerbauer kann danach streben, einen größeren Teil seines Stickstoffbedarfs selbst zu decken. Der Einsatz von Gründüngungspflanzen bzw. deren intensive Förderung lohnt sich. Die Pflege oder Erhöhung des Gehalts an organischer Bodensubstanz ist für jeden Ackerbauern machbar. Der Übergang zu einer nicht wendenden Bodenbearbeitung bietet Vorteile, und inzwischen verfügt der Sektor über genügend Erfahrung, um die Risiken zu minimieren.

Für den konventionellen Ackerbau wurde plausibel gemacht, dass die Pflege der internen Bewegungen der organischen Substanz und der Mineralstoffe Vorteile bieten kann. Ebenso wie für die biologisch arbeitenden Kollegen gilt, dass sich der Einsatz von Gründüngungspflanzen lohnt. Wo möglich (nach Getreide) kann dies auch ein Schmetterlingsblütler sein, wobei sich Kosten für den Zukauf von Stickstoff einsparen lassen. Eine Herausforderung stellt die Verlängerung der Vegetationsperiode von Gründüngungspflanzen dar, sowohl zu Anfang (z. B. nach Zwiebel) als auch später (z. B. durch Bodenbearbeitung im Frühjahr statt Herbstfurche). Eine andere Aufgabe ist die Erweiterung des Kulturplans mit Fruchtarten, die selbst die Bodenfruchtbarkeit erhöhen. Im Projekt "Veldleeuwerik" (www.veldleeuwerik.nl) wurden damit gute Erfahrungen gemacht.

7 Empfehlungen

Inzwischen wurden genügend Kenntnisse und Erfahrungen gesammelt, um drei Themenbereiche, die bei Planty Organic erarbeitet wurden, in handlicher Form für die Praxis verfügbar zu machen:

- Leitfaden Grünschnittdüngung. Erörterung aller Aspekte, die in der Praxis bei der Gewinnung und Ausbringung von Grünschnittdüngung eine Rolle spielen. Dabei würde es um eine Aktualisierung bereits früher publizierter Erkenntnisse gehen. Diese Publikation richtet sich hauptsächlich an den biologischen Ackerbau.
- Leitfaden eigene Stickstoffversorgung. Erörterung aller Aspekte, mit denen ein Ackerbauer, der auf seinem Betrieb mehr Stickstoff binden will, in der Praxis zu tun bekommt. Auch diese Publikation ist hauptsächlich für den biologischen Ackerbau gedacht.
- Orientierungshilfe Kulturplanerweiterung. Erörterung aller Aspekte, an die es zu denken gilt, wenn eine Erweiterung des Kulturplans in Erwägung gezogen wird. Diese Publikation könnte in Zusammenarbeit mit Stichting Veldleeuwerik ausgearbeitet werden und ist hauptsächlich auf den konventionellen Ackerbau ausgerichtet.

Die folgenden Themen wären in Folgeuntersuchungen weiter abzuklären:

- Stickstoffdynamik: Können noch kleine Modifikationen an Fruchtarten, Düngezeitpunkten und Qualität der Düngemittel vorgenommen werden, durch die die Stickstoffverfügbarkeit für die Hauptkulturen – und damit das Ertragspotenzial – ein wenig zunimmt, ohne dass dies zu wesentlichen Änderungen des Systems führt?
- Organische Substanz: Wie viel CO₂ wird gebunden, und welches sind die gesellschaftlichen und betriebswirtschaftlichen Vorteile einer weiteren Zunahme des Gehalts an organischer Bodensubstanz?
- Systemstabilität: Welche Bedeutung haben Durchwurzelungstiefe und -intensität und die internen Bewegungen von organischer Substanz und Nährstoffen für Stabilität und Produktivität?
- Welche Rolle spielt das Bodenleben hinsichtlich der Systemdynamik (man denke z. B. an Mykorrhizen), und wie kann in diesem Bereich gesteuert werden?
- Phosphatdynamik: Welcher Anteil des von den Kulturen aufgenommenen Phosphats stammt unmittelbar aus der Mineralisation der organischen Bodensubstanz? Kann dieses Wissen genutzt werden, um die Düngungsempfehlung für Phosphat in den Niederlanden anzupassen? Inwieweit tragen die Kulturen zur Phosphatmobilisierung aus weniger leicht aufnehmbaren Phosphatvorräten bei?
- CO₂-Footprint: Welches ist der CO₂-Footprint dieses Ackerbausystems ohne Zufuhr von Düngemitteln und mit minimaler Bodenbearbeitung im Vergleich zu anderen, sowohl biologischen wie auch konventionellen Ackerbausystemen?

8 Ergänzungen bezüglich der Jahre 2017 – 2018

Der Jahresbericht über 2017 ist hier zu finden: <http://www.louisbolk.org/downloads/3326.pdf>.

Den Jahresbericht über 2018 finden Sie auf <http://www.louisbolk.org/downloads/3404.pdf>.

In dieser Ergänzung zur Bewertung der Jahre 2012 – 2016 wird ausschließlich betrachtet, wie sich die Nährstoffgehalte von Pflanzen und Boden im weiteren Zeitverlauf entwickelt haben.

Abbildung 16 zeigt den Mittelwert aller in den unterschiedlichen Fruchtarten analysierten Nährstoffe, der ermittelt wurde, nachdem die einzelnen Nährstoffe zuvor jeweils auf 100 indexiert wurden = mittlerer Wert der sieben Jahre. Auf diese Weise lässt sich ein ungefährender Eindruck einer möglichen Zu- oder Abnahme des Gesamtnährstoffgehalts der Pflanzen gewinnen. Da bis auf Stickstoff keine Nährstoffe zugeführt werden, würde eine Abnahme der Inhaltsstoffe nicht erstaunen.

Die Schwankungen zwischen den Jahren erweisen sich als größer als eine eventuelle steigende oder abnehmende Tendenz. Die Konklusion ist berechtigt, dass sich der Nährstoffgehalt der Pflanzen in sieben Jahren nicht verändert hat.

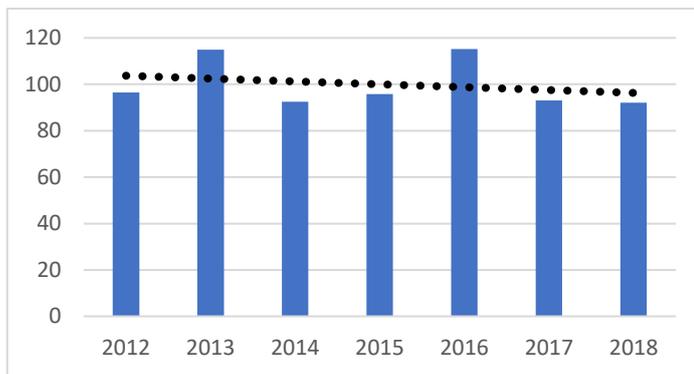


Abbildung 16: Auf 100 indexierter Wert des Gesamtnährstoffgehalts im Erntegut

Abbildung 17 zeigt den Mittelwert aller analysierten Nährstoffgehalte des Bodens und anderer Bodenparameter, der ermittelt wurde, nachdem die Einzelwerte zuvor jeweils auf 100 indexiert wurden = mittlerer Wert der sieben Jahre. Da bis auf Stickstoff keine Nährstoffe zugeführt werden, würde eine Abnahme der Gehalte nicht erstaunen. Es handelt sich hier, abgesehen von Stickstoff und Kohlenstoff, um verfügbare Nährstoffe, nicht um absolute Werte.

Nichts deutet darauf hin, dass die Verfügbarkeit von Nährstoffen im Lauf der Zeit abnimmt.

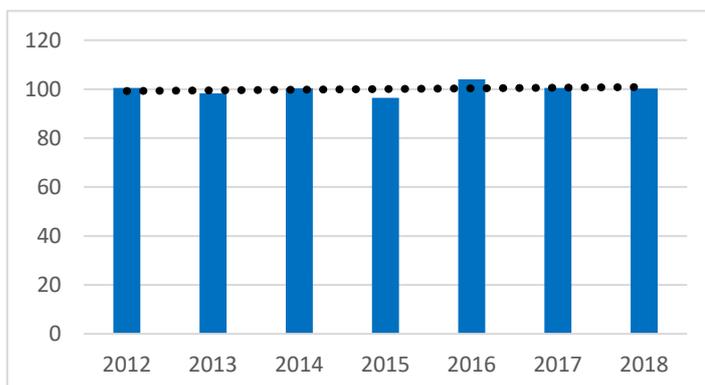


Abbildung 17: Sämtliche Bodenparameter auf 100 indexiert = Mittelwert aller Jahre und Schläge

Abbildung 18 stellt den Verlauf des Gehalts an organischer Substanz dar, wobei die Messwerte der sechs Schläge und sieben Jahre auf 100 indexiert sind = Mittelwert der sieben Jahre und aller Schläge. Die Schwankungen über die Jahre sind relativ groß, größer als aufgrund der Zufuhr und des Abbaus der organischen Substanz zu erwarten wäre. Der Trend ist jedoch steigend. Dies wird durch eine Regressionsanalyse mit Hilfe des Statistikprogramms Genstat bestätigt, siehe Abbildung 19. Man sieht einen positiven Neigungswinkel (0,0405 % pro Jahr) mit einem signifikanten F pr. = 0,004.

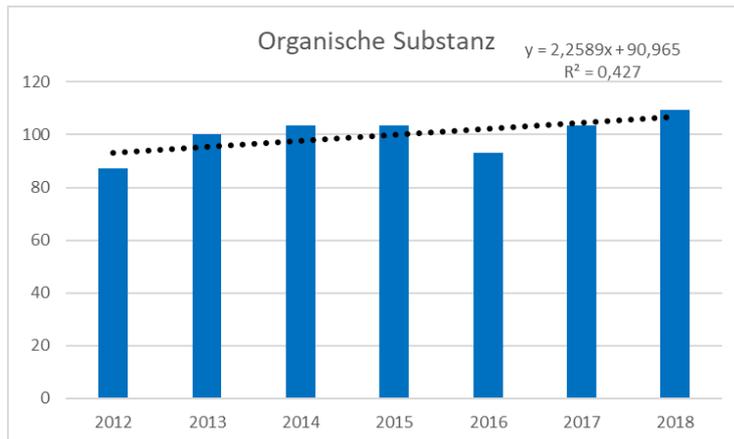


Abbildung 18: Organische Substanz, auf 100 indexiert = Mittelwert aller Jahre und Schläge

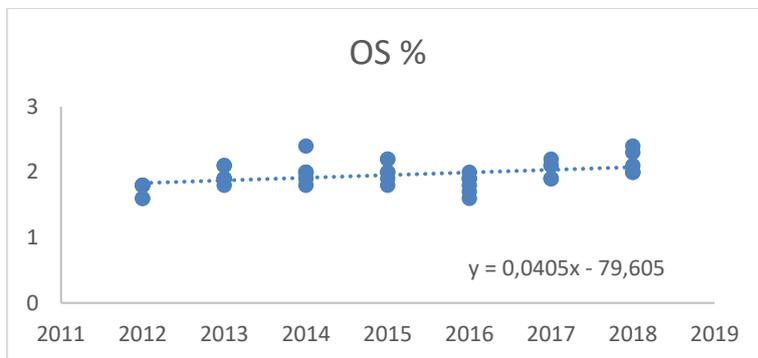


Abbildung 19: Regressionskurve der Messungen der organischen Substanz

Abbildung 20 zeigt die Messungen des Gesamt-N-Vorrats der sechs Schläge und sieben Jahre, auf 100 indexiert = Mittelwert der sieben Jahre und aller Schläge. Die Schwankungen über die Jahre sind relativ groß. Der Gesamtstickstoffgehalt scheint eine abnehmende Tendenz aufzuweisen. Die Regressionsanalyse zeigt jedoch, dass die Abnahme (Neigungswinkel – 16,07 kg/ha pro Jahr) nicht signifikant ist (F pr. = 0,016). Eine mögliche Abnahme wäre großteils auf den hohen Wert des Jahres 2012 zurückzuführen. Ab 2013 scheint der Wert in etwa gleich zu bleiben. Eine Abnahme von 263 kg/ha innerhalb eines Jahres (von 1255 auf 992 kg/ha), die nach den Messungen (Mittelwert der sechs Schläge) im Jahr 2013 aufgetreten sein müsste, ist sehr unwahrscheinlich, und dies gilt auch für die Zunahme im Jahr 2018 von 990 auf 1125 kg N/ha.

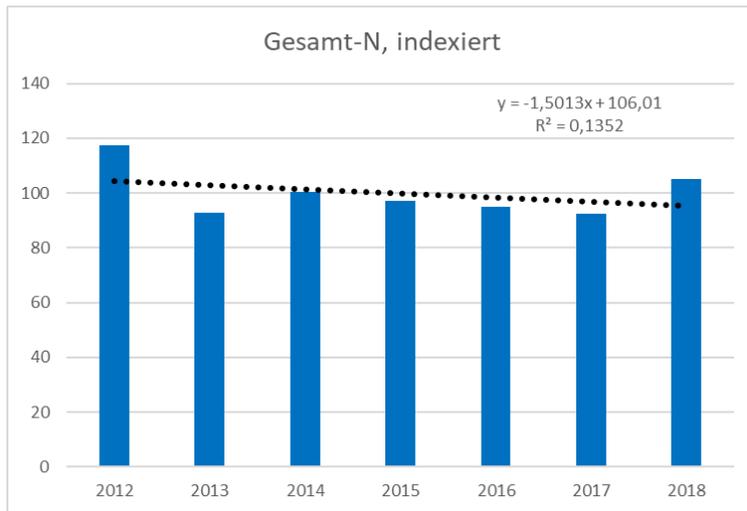


Abbildung 20: Gesamtstickstoff auf 100 indexiert = Mittelwert der Jahre und Schläge

Die Ergebnisse für Phosphat werden im Hinblick auf mögliche zukünftige Forschungen gesondert dargestellt, siehe Abbildung 21. Untersucht wurden drei in den Niederlanden übliche Parameter für Bodenphosphat: P-PAE = verfügbares Phosphat; P-Al = Bodenvorrat (nicht dasselbe wie Gesamt-P); P-w = wasserlösliches Phosphat. Eine Tendenz zur Abnahme der Phosphatverfügbarkeit scheint kaum oder gar nicht aufzutreten. Das ist bemerkenswert, da jährlich etwa 30 kg P_2O_5 /ha abgeführt und nichts zugeführt wird. Offensichtlich ist der Boden imstande, diese Mengen aus dem Bodenvorrat in 0-30 cm Tiefe zu mobilisieren oder aus einer Tiefe von 30-60 cm oder mehr zu mobilisieren und in höhere Schichten zu verlagern. Dies ließe sich nur anhand einer Gesamt-Phosphatbilanz feststellen. Dazu müssten außer den dargestellten Analysen auch das Gesamt-P und das organische P ermittelt werden. Es sind noch Bodenproben aus 0-30 cm Tiefe aus dem Jahr 2012 vorhanden, die somit immer noch, zusammen mit einer neuen Serie von Ende 2020, analysiert werden können. Ein Netto-Entzug von über 270 kg P_2O_5 /ha in neun Jahren (2012 – 2020) müsste sich in der P-Bilanz oder dem Umfang der einzelnen P-Fractionen bemerkbar machen, zumal sechs Schläge, also quasi sechs Wiederholungen, verfügbar sind.

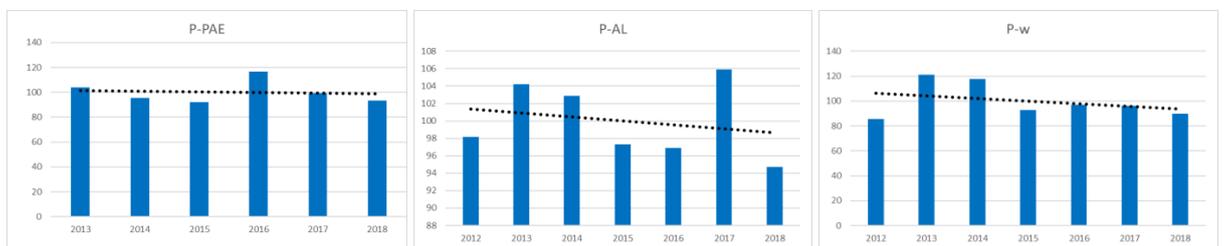


Abbildung 21: P-PAE, P-Al und P-w, auf 100 indexiert = Mittelwert aller Jahre und Schläge

Literatuur

- Ann. (2010). **Nitratrichtlijn**. Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union.
- Balen, D. van, und Haagsma, W. (2017). **De effecten van gereduceerde grondbewerking**. Ekoland, Mai 2017, 12-13.
- Bos, J.F.F.P., Haan, J.J. de, und Sukkel, W. (2007). **Energieverbruik, broeikasgasemissies en koolstofopslag: de biologische en gangbare landbouw vergeleken**. Wageningen UR, rapport 140, 109 S.
- 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. und Vonk, J. (2015). **Emissies naar lucht uit de landbouw, 1990-2013**. WOt technical report 46, Wageningen University and Research, ISSN 2352-2739, 160 S.
- Burgt, G.J.H.M. van der, (2008). **Nitrogens degrees of freedom**. In: Burgt and Timmermans (Eds). Proceedings QLIF Seminar, February 2008, Driebergen, S. 7-8.
- Burgt, G.J.H.M. van der (2012). **Planty Organic Bedrijfsontwerp**. Louis Bolk Instituut, Driebergen, publicatie nummer 2012 030 LbP, 33 S.
- Hospers, M., Anema, D. und Bus, M.C. (2014). **Planty Organic. Voortgang 2013**. Biowad; Louis Bolk Instituut Driebergen, 37 S.
- Hospers, M., Polema, T. und Bus, M.C. (2014). **Planty Organic. Voortgang 2014**. Biowad; Louis Bolk Instituut Driebergen, 36 S.
- Hospers, M., Polema, T. und Bus, M.C. (2015). **Planty Organic. Voortgang 2015**. Biowad; Louis Bolk Instituut Driebergen, rapport 2015-049.LbP, 37 S.
- Hospers, M., Rietema, C. und Bus, M.C. (2017). **Planty Organic. Voortgang 2016**. Biowad; Louis Bolk Instituut Driebergen, rapport 2017-002 LbP, 37 S.
- 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: W.P. Locher und H. de Bakker (red.). Bodemkunde van Nederland. Deel 1: algemene bodemkunde. Malmberg, Den Bosch, S. 109-127.
- Minderhoud, J. und Troost, A.-J. (2008). **Pompoenen – Biologische teelt**. PPO Lelystad, publicatienummer 376, 45 S.
- Rietberg, P. (2013) **Credits for Carbon Care**, eindrapportage. Louis Bolk Instituut, Driebergen, 8 S.
- Rijswick, C. van, und Pals, P. (2006). **De Nederlandse peensector in beeld**. Rabobank International, 36 S.
- Schoumans, O.F., Willems, J. und Duinhoven, G. van (2008). **30 vragen en antwoorden over fosfaat in relatie tot landbouw en milieu**. Wageningen, Alterra, 53 S.
- TCB (2016). **Dynamiek van organische stof in Nederlandse landbouwbodems**. Technische Commissie Bodem, Den Haag, rapport TCB A110 (2016), 26 S.
- Zwart, K. (2003). **Denitrificatie in de bouwvoor en de ondergrond**. Alterra rapport 724, ISSN 1566-7197, 57 S.
- 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-Quellen:

www.biowad.nl

www.cbs.nl

www.handboekbodemenbemesting.nl

www.kennisakker.nl

www.oekoregion-kaindorf.at

www.veldleeuwerik.nl

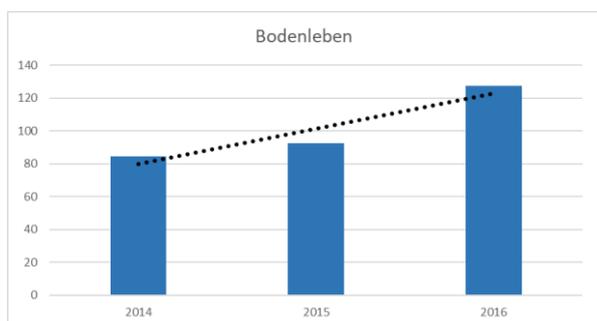
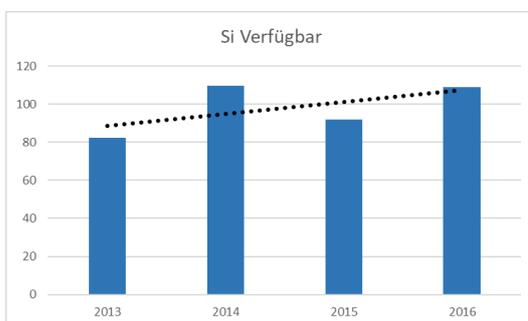
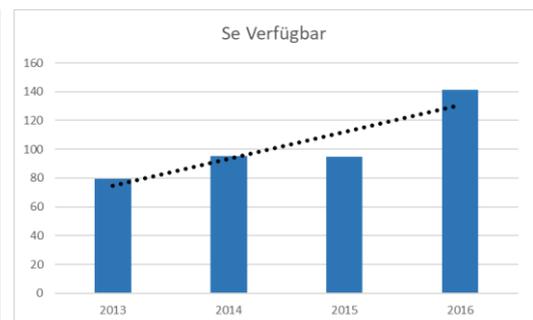
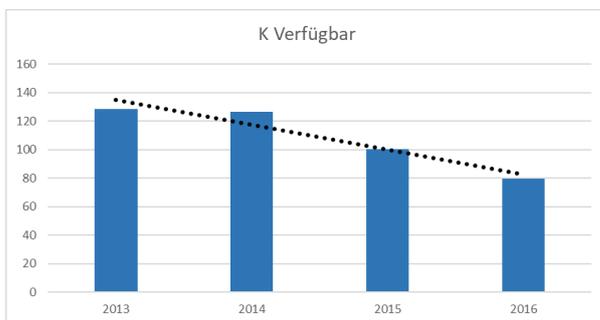
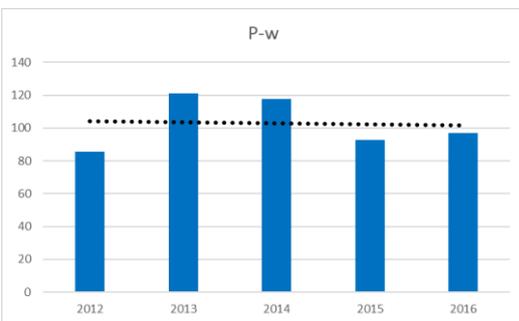
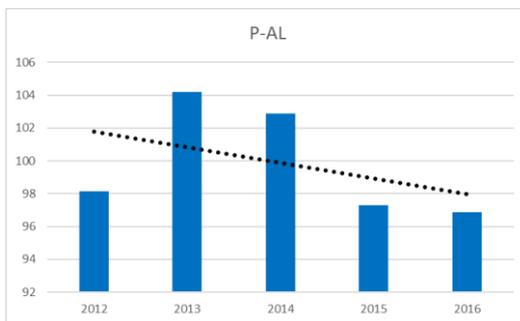
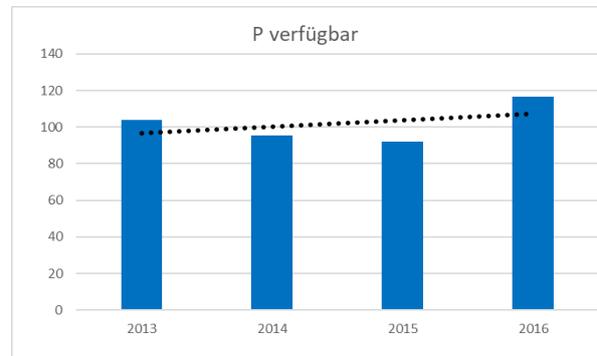
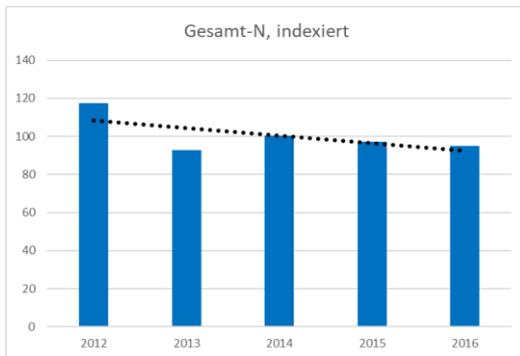
Anlage 1: Gemessene und simulierte Mineral-N-Werte

| Schlag | A | | B | | 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 |
| | | | | | | |

| Schlag | D | | E | | 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 | | | | |

Anlage 2: Auswahl indexierter Bodenparameter

Es werden nur die Grafiken von Parametern gezeigt, die eine mehr oder weniger ausgeprägte Tendenz aufweisen. Für alle Werte siehe Tabelle 4.



Anlage 3: Nährstoffgehalte der Pflanzen

| 2012 | | Kartoffel | Möhre | Sommerweizen | Blumenkohl |
|-------------------------------|---|-----------|-------|--------------|------------|
| Gesamt-N | % | 1,38 | 0,94 | 1,73 | 3,48 |
| P ₂ O ₅ | % | 0,6 | 0,53 | | 1,35 |
| K ₂ O | % | 3,05 | 3,40 | | 5,09 |

| 2013 | | Kartoffel | Möhre | Hafer | Sommerweizen | Blumenkohl |
|-------------------------------|---------|-----------|-------|-------|--------------|------------|
| N | % | 1,32 | 0,83 | 1,70 | 1,68 | 2,59 |
| P ₂ O ₅ | % | 1,01 | 1,11 | 2,64 | 1,91 | 2,49 |
| K ₂ O | % | 3,01 | 3,15 | 0,67 | 0,47 | 5,38 |
| Ca | g/kg TS | 1,15 | 3,59 | 1,35 | 0,53 | 3,02 |
| Mg | g/kg TS | 0,93 | 1,11 | 1,43 | 1,21 | 1,00 |

| 2014 | | Kartoffel | Möhre | Winterweizen | Kürbis | Roggen |
|-------------------------------|----------|-----------|-------|--------------|--------|--------|
| N | % | 1,01 | 1,36 | 1,55 | 1,58 | 1,32 |
| P ₂ O ₅ | % | 0,60 | 0,71 | 0,80 | 0,62 | 0,94 |
| K ₂ O | % | 2,71 | 3,72 | 0,56 | 3,01 | 0,66 |
| Calcium | g/kg TS | | 3,20 | 0,33 | 1,10 | 0,47 |
| Magnesium | g/kg TS | 1,1 | 1,2 | 1,0 | 1,1 | 1,0 |
| Schwefel | g/kg TS | 1,4 | 1,9 | 1,3 | 1,5 | 1,2 |
| Kupfer | mg/kg TS | 6,9 | 7,6 | 4,2 | 4,5 | 4,6 |
| Eisen | mg/kg TS | 56,7 | 36,2 | 27,3 | 39,8 | 29,9 |
| Mangan | mg/kg TS | 2,6 | 2,9 | 5,4 | 1,8 | 11,8 |
| Zink | mg/kg TS | 19,7 | 34,5 | 39,9 | 28,0 | 40,0 |

| 2015 | | Kartoffel | Möhre | Hafer | Kürbis | Ackerbohne/ Sommerweizen |
|-------------------------------|----------|-----------|-------|-------|--------|-----------------------------|
| N | % | 1,16 | 1,26 | 1,92 | 1,70 | 4,41 |
| P ₂ O ₅ | % | 0,48 | 0,60 | 1,10 | 0,76 | 1,40 |
| K ₂ O | % | 2,72 | 3,32 | 0,67 | 2,47 | 1,50 |
| Calcium | g/kg TS | 0,6 | 3,4 | 0,9 | 0,9 | 1,7 |
| Magnesium | g/kg TS | 1,0 | 0,9 | 1,5 | 1,2 | 1,5 |
| Schwefel | g/kg TS | 1,3 | 1,1 | 1,8 | 1,5 | 1,9 |
| Kupfer | mg/kg TS | 4,3 | 5,0 | 4,0 | 5,7 | 14,9 |
| Eisen | mg/kg TS | 90 | 61 | 106 | 83 | 57 |
| Mangan | mg/kg TS | 6 | 5 | 18 | 5 | 15 |
| Zink | mg/kg TS | 15 | 21 | 34 | 26 | 47 |

| 2016 | | Kartoffel | Möhre | Hafer | Kürbis | Ackerbohne/ Sommerweizen |
|-------------------------------|----------|-----------|-------|-------|--------|-----------------------------|
| N | % | 1,53 | 1,10 | 1,67 | 1,28 | 3,49 |
| P ₂ O ₅ | % | 0,85 | 0,69 | 0,98 | 1,03 | 1,63 |
| K ₂ O | % | 3,42 | 2,32 | 0,71 | 3,26 | 1,48 |
| Calcium | g/kg TS | 1,3 | 3,5 | 1,0 | 1,5 | 1,7 |
| Magnesium | g/kg TS | 1,3 | 1,0 | 1,3 | 1,2 | 1,8 |
| Schwefel | g/kg TS | 1,9 | 1,0 | 1,9 | 2,6 | 2,4 |
| Kupfer | mg/kg TS | 7,07 | 6,86 | 3,05 | 8,09 | 12,3 |
| Eisen | mg/kg TS | 284 | 149 | 76 | 337 | 88 |
| Mangan | mg/kg TS | 12 | 7 | 23 | 6 | 13 |
| Zink | mg/kg TS | 17 | 16 | 26 | 24 | 46 |