



Effect van organische stofbeheer op opbrengst, bodemkwaliteit en stikstofverliezen op een zuidelijke zandgrond

Resultaten van de gangbare bedrijfssystemen van het project Bodemkwaliteit op zand in de periode 2011-2016

Janjo de Haan, Marie Wesselink, Wim van Dijk, Harry Verstegen, Willem van Geel, Wim van den Berg



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Effect van organische stofbeheer op opbrengst, bodemkwaliteit en stikstofverliezen op een zuidelijke zandgrond

Resultaten van de gangbare bedrijfssystemen van het project Bodemkwaliteit op zand in de periode 2011-2016

Janjo de Haan, Marie Wesselink, Wim van Dijk, Harry Verstegen, Willem van Geel, Wim van den Berg¹

¹ Wageningen University & Research

Dit onderzoek is gefinancierd door het Ministerie van EZ, ZLTO en LLTB uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), businessunit Praktijkonderzoek AGV in het kader van de PPS Beter Bodembeheer van de TKI Agri & Food.

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

Wageningen, januari 2018

Rapport WPR-754

Haan, J.J. de, M. Wesselink, W. van Dijk, H.A.G. Verstegen, W.C.A. van Geel, W. van den Berg. 2017. *Effect van organische stofbeheer op opbrengst, bodemkwaliteit en stikstofverliezen op een zuidelijke zandgrond. Resultaten van de gangbare bedrijfssystemen van het project Bodemkwaliteit op zand in de periode 2011-2016*. Wageningen Research, Rapport WPR-754. 108 blz.; 31 fig.; 45 tab.; 51 ref.

In het bedrijfssysteemonderzoek Bodemkwaliteit op zand op WUR-proeflocatie Vredepeel worden twee gangbare bedrijfssystemen met elkaar vergeleken gedurende de periode 2011-2016: één systeem met een gebruikelijke organische stofaanvoer met gebruik van drijfmest (STANDAARD) en één systeem met een lage organische stofaanvoer met gebruik van meststoffen zonder of met een laag gehalte organische stof (LAAG).

Systeem LAAG heeft een 5% lagere totale droge stofproductie ($p < 0,05$) en een lager risico op stikstofuitspoeling. De nitraatconcentraties in het grondwater (n.s.), de N-min voorraden in de bodem in het najaar ($p < 0,1$), en het stikstofoverschot (n.s.) zijn in LAAG in alle gevallen lager dan STANDAARD. In beide systemen ligt de nitraatconcentratie in het grondwater boven de norm in de Europese nitraatrichtlijn (50 mg/l). Het organisch stofgehalte in LAAG is 0,4%-punt lager dan STANDAARD ($p < 0,01$). Andere bodemparameters zijn in de loop van de tijd van de proef niet veranderd. Er kon geen duidelijk verband afgeleid worden tussen de aanvoer van organische stof en lachgasemissies. Aanvoer van extra organische stof in de vorm van compost in zowel LAAG als STANDAARD leidt tot hogere opbrengsten (n.s.), met name in systeem LAAG, maar geen verhoging van de uitspoeling. De opbrengsten in STANDAARD liggen gemiddeld 15% lager dan de praktijkopbrengsten op de proeflocatie, mogelijk veroorzaakt door de strikte bemestingsstrategie sinds de start van het bedrijfssystemenonderzoek in 1988.

Met de indicaties voor lagere stikstofverliezen, hoewel nog steeds boven de nitraatnorm, bij een lagere aanvoer van organische stof, maar tegelijkertijd lagere opbrengsten geeft dit onderzoek een dilemma weer tussen een belangrijk milieuaspect en de economie van het boerenbedrijf.

Trefwoorden: organische stof, stikstofuitspoeling, gewasopbrengsten, bodemvruchtbaarheid, akkerbouw, vollegrondsgroenten, zand, Zuidoost Nederland, mest, bedrijfssysteemonderzoek

DOI: <https://doi.org/10.18174/440226>

Bij dit rapport hoort ook een datafile: <https://doi.org/10.17026/dans-27s-zkxe>

© 2018 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Praktijkonderzoek AGV, Postbus 430, 8200 AK, Lelystad; T 0317 48 07 00; <http://www.wur.nl/plant-research>

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

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

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

Rapport WPR-754

Foto omslag: Harry Verstegen

Inhoud

Inhoud	3
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
1.1 Aanleiding	13
1.1.1 Bodemkwaliteit en organische stof	13
1.1.2 Het zuidelijk zandgebied	14
1.1.3 Waterkwaliteit in het zuidelijk zandgebied	14
1.1.4 Mestbeleid	15
1.2 Bedrijfssystemenonderzoek op proeflocatie Vredepeel	15
1.2.1 Historie bedrijfssystemenonderzoek	15
1.2.2 Conclusies Nutriënten Waterproof	16
1.3 Doelstelling project en dit rapport	16
1.4 Leeswijzer	17
2 Materiaal en methoden	19
2.1 Opzet bedrijfssystemenonderzoek Vredepeel	19
2.1.1 Locatie Vredepeel	19
2.1.2 Bedrijfssystemen	19
2.1.3 Complicaties in het vergelijken van organische stofaanvoer strategieën	20
2.1.4 Vruchtwisseling	22
2.1.5 Bemesting	22
2.2 Metingen en analyses	23
2.2.1 Aanvoer effectieve organische stof	23
2.2.2 Opbrengst en kwaliteit	23
2.2.3 Bodemkwaliteit	25
2.2.4 Stikstofbodembalans	26
2.2.5 N-min voorraad bodem	30
2.2.6 Nitraatconcentraties in het grondwater	30
2.2.7 Stikstofuitspoelfractie en toegepaste correcties	30
2.2.8 Lachgasemissies	32
2.2.9 Fosfaat- en kalibalans	32
2.2.10 Overzicht maatstaven en streefwaarden	32
2.2.11 Compostplots	33
2.3 Statistische analyse van de resultaten	33
2.3.1 Statistische opzet en toetsingsprocedures	33
2.3.2 Variantie analyse	34
2.3.1 Regressieanalyse	34
3 Resultaten	35
3.1 Aanvoer effectieve organische stof	35
3.2 Opbrengst en kwaliteit	36
3.2.1 Marktbaar opbrengst	36
3.2.2 Droge stofproductie	37
3.2.3 Kwaliteit	38
3.2.4 Financiële doorvertaling en waarde organische stof	38
3.3 Bodemkwaliteit	39

3.3.1	Organische stofgehalte	39
3.3.2	Chemische bodemkwaliteit	39
3.3.3	Nematoden	40
3.3.4	Overige bodemmetingen	42
3.4	Stikstofbodembalans	42
3.4.1	Stikstofaanvoer	42
3.4.2	Stikstofafvoer	44
3.4.3	Stikstofbodemoverschot	44
3.4.4	Stikstofefficiëntie	45
3.4.5	Langjarige stikstofnawerking uit organische mest, gewasresten en groenbemesters	46
3.5	N-min voorraad bodem	47
3.6	Nitraatconcentraties in het grondwater	48
3.7	Stikstofuitspoelfractie	49
3.7.1	Stikstofuitspoelfractie	49
3.7.2	Correcties	50
3.7.3	Regressieanalyse relatie stikstofbodemoverschot en nitraatvrucht	51
3.8	Overige relaties tussen stikstofbodemoverschot, N-min voorraad bodem en nitraatconcentraties grondwater	53
3.9	Lachgasemissies	53
3.10	Fosfaat- en kalibalans	54
3.10.1	Fosfaatbalans	54
3.10.2	Kalibalans	55
3.11	Overzicht resultaten parameters per systeem	56
3.12	Compostplots	56
3.12.1	EOS-aanvoer	57
3.12.2	Opbrengst	57
3.12.3	Stikstof-, fosfaat- en kaliaanvoer	58
3.12.4	Nitraatconcentraties in het grondwater	58
4	Discussie	59
4.1	Systeemvergelijking	59
4.1.1	Vergelijking van verschillen in EOS-aanvoer	59
4.1.2	Kanttekeningen bij het onderzoek	59
4.1.3	Systeemprestaties	60
4.2	Effect van organische stofbeheer op productie en bodemkwaliteit	61
4.2.1	Effecten op opbrengst	61
4.2.2	Nutriënteneffecten	61
4.2.3	Niet-nutriënten effecten	62
4.3	Effect van organische stofbeheer op stikstofefficiëntie en stikstofverliezen	64
4.3.1	Stikstofefficiëntie	64
4.3.2	Stikstofuitspoeling	64
4.3.3	Lachgasemissies	66
4.4	De waarde van organische stof	67
4.5	Organische stofvoorziening binnen beleid	67
4.5.1	Organische stofvoorziening en de mestwetgeving	67
4.5.2	Organische stofvoorziening en overig beleid	68
5	Conclusies en aanbevelingen	69
5.1	Conclusies	69
5.1.1	Gewasproductie en bodemkwaliteit	69
5.1.2	Stikstofemissies	69
5.2	Aanbevelingen	70
5.2.1	Aanbevelingen voor mestbeleid	70
5.2.2	Aanbevelingen voor de praktijk	70
5.2.3	Aanbevelingen voor onderzoek	70

Literatuur	73
Bijlage 1 Historie en ligging van de bedrijfssystemen	77
Bijlage 2 Uitleg Excelfile "Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016.xls"	81
Bijlage 3 Neerslag en temperatuur Vredepeel 2011-2016	83
Bijlage 4 Zaai, poot, plant en oogstdata 2011-2016	87
Bijlage 5 Gehanteerde bemestings-strategie	88
Bijlage 6 Forfaitaire getallen voor berekening EOS-aanvoer	90
Bijlage 7 Stikstofbalans bodem	91
Bijlage 8 Parameters waarop variantieanalyse is uitgevoerd	92
Bijlage 9 Nadere verklaring verschillen in organisch stofgehaltes STANDAARD en LAAG	93
Bijlage 10 Resultaten regressieanalyse stikstofbodemoverschot, N-min voorraden bodem en nitraatuitspoeling	94

Woord vooraf

Voorliggend rapport heeft een lang en onstuimig proces van ontstaan gehad. Het proces is lang geweest vanwege de relatief lange periode van zes jaar dat het onderzoek van Bodemkwaliteit op zand (BKZ) omvat. Ook is het terrein dat het onderzoek beslaat breed, van agronomie, bodemkwaliteit in brede zin en stikstofprocessen in het bijzonder. Het heeft veel inspanning gekost om alle verzamelde gegevens van registraties en metingen goed op een rij te krijgen. Daarbij komt dat het onderzoek voortbouwt op het bedrijfssystemenonderzoek op de locatie Vredepeel zoals dit sinds 1988 wordt uitgevoerd en vanaf 2001 een focus heeft op het beperken van nutriëntenverliezen en sinds 2005 een vergelijking heeft tussen gangbare bedrijfssystemen met een normale en een lage organische stofaanvoer.

Het proces is onstuimig geweest vanwege de grote verschillen in nitraatuitspoeling tussen het biologische systeem en de gangbare systemen. Dit was voor LTO Nederland de aanleiding ons de vraag te stellen om na te gaan of de resultaten van deze systemen samen onderbouwning kunnen geven voor een equivalente maatregel in het mestbeleid rond organische stof. Hoewel we in eerste instantie hiermee aan de slag zijn gegaan, hebben we uiteindelijk moeten concluderen dat deze systemen door het verschil in vruchtwisseling, productiemethode en situering op de proefboerderij (met bijgevolg een afwijkende bodemvruchtbaarheid en grondwaterstand) niet goed te vergelijken zijn. Hierdoor kan het project geen onderbouwning leveren voor de aanvankelijk gestelde vraag over de relatie tussen organische stofaanvoer en stikstofuitspoeling en is er om misverstanden te voorkomen voor gekozen om de resultaten van het biologische systeem en van de gangbare systemen apart van elkaar in afzonderlijke rapporten te rapporteren. Helaas hebben we in eerdere jaren wel over het vergelijk van de gangbare en biologische systemen gecommuniceerd.

Hierbij willen we ook iedereen bedanken die dit onderzoek en deze rapportage mede mogelijk heeft gemaakt. Ten eerste Marc Kroonen, de bedrijfsleider van proefbedrijf Vredepeel, en zijn collega's voor al het werk in de uitvoering van de systemen wat ze al vele jaren zonder problemen doen. Ook bedankt voor het meedenken in de mogelijke aanpassing van de systemen zowel om tot een betere opzet als een beter resultaat te komen. Ten tweede bedanken we de financiers van het onderzoek: zowel het ministerie van LNV via de PPS Beter Bodembeheer (en de voorloper de PPS Duurzame Bodem) als de ZLTO en LLTB via hun onderzoeksfondsen Proef & Selectie en STOP/SAF, in het bijzonder Annet Zweep (ministerie van LNV), Jan Roefs (ZLTO) en John Stemkens en Ton Besouw (LLTB). Jullie bijdragen voor dit kostbare onderzoek worden zeer gewaardeerd. Ten derde willen we de begeleidingscommissie van het project, bestaande uit een aantal gangbare en biologische telers en een beleidsmedewerker van ZLTO bedanken voor de vele intensieve discussies zowel in het veld als in de zaal over de resultaten van dit onderzoek en de betekenis in de praktijk. Tot slot willen we de reviewers van het rapport bedanken: Jaap Schröder, Martin van Ittersum, Gerrie van de Ven, Renske Hijbeek, Gerard Velthof, Dico Fraters, Leo Bouwman, Guusje Koorneef en Wijnand Sukkel. Mede door jullie vaak uitgebreide commentaar hebben we de rapportage kunnen verbeteren en is het geworden zoals het nu voorligt.

Janjo de Haan, Marie Wesselink, Wim van Dijk, Harry Verstegen, Willem van Geel, Wim van den Berg Lelystad, december 2017

Samenvatting

Inleiding

In de Nederlandse landbouwpraktijk heerst de indruk dat de bodemkwaliteit achteruitgaat. Bodembeheer staat onder andere hierdoor in de middelpunt van het debat in Nederland. Daarnaast is duurzaam bodembeheer een belangrijk aandachtspunt in het beleid als oplossingsrichting voor diverse maatschappelijke knelpunten bij behoud van economisch perspectief voor ondernemers. Met name het belang van organische stof in goed bodembeheer is in discussie, mede vanwege het aangescherpte mestbeleid. Hierbij speelt de vraag wat het effect is van organische stofbeheer op de bodemkwaliteit en welke effecten dit heeft op gewasopbrengsten en andere ecosysteemdiensten zoals waterkwaliteit, behoud biodiversiteit en vermindering broeikasgasemissies.

In lange termijn onderzoek kunnen de interacties tussen de verschillende vragen onderzocht worden. In het bedrijfssystemenonderzoek 'Bodemkwaliteit op zand' (BKZ) dat op de WUR-proeflocatie Vredepeel wordt uitgevoerd, ligt een dergelijk onderzoek. Dit onderzoek heeft tot doel om op semi-praktijkschaal systemen en bodembeheersstrategieën voor plantaardige productie in het Zuidoostelijk zandgebied te ontwerpen, te testen en te verbeteren teneinde te voldoen aan gestelde (beleids)doelstellingen op het vlak van stikstofverliezen, bodemkwaliteit en opbrengsten. De opzet is dynamisch, de gehanteerde strategieën en maatregelen worden elk jaar geëvalueerd en zo nodig bijgesteld.

Deze rapportage beschrijft de resultaten van het onderzoek naar de effecten van organische stofaanvoer in de gangbare systemen van BKZ op opbrengst, bodemkwaliteit, nutriëntenbalansen en stikstofstromen inclusief stikstofuitspoeling over de periode 2011-2016. In (Haan et al. 2017) worden de resultaten van het onderzoek in het biologische bedrijfssysteem gerapporteerd. Het onderzoek naar effecten van grondbewerking is gepland om in 2018 te worden gerapporteerd.

Materiaal en methoden

In BKZ zijn er twee gangbare bedrijfssystemen, STANDAARD en LAAG. Beide systemen hebben een gelijke 6-jarige vruchtwisseling met akkerbouw-, groente- en voedergewassen. De systemen zijn beide in enkelvoud aangelegd. In STANDAARD is een gemiddelde aanvoer van organische stof nagestreefd (2000 kg effectieve organische stof per hectare) zoals hoort in een goede landbouwpraktijk, zowel met dierlijke mest als gewasresten en groenbemesters. De gewassen zijn bemest met drijfmest en kunstmest. Hiermee is de verwachting dat de bodemvruchtbaarheid en het mineralisatieniveau gehandhaafd blijft. In LAAG is een lage aanvoer van organische stof nagestreefd door (nagenoeg) geen organische stof met dierlijke mest aan te voeren. De aangevoerde organische stof in dit systeem komt vooral uit gewasresten en groenbemesters. De gewassen in LAAG zijn bemest met kunstmest en kunstmestvervangers (mineralenconcentraten en spuiwater). De werkzame stikstofaanvoer was gelijk over beide systemen. Tot en met 2013 is bemest op wat minimaal nodig werd geacht voor een optimale opbrengst, vanaf 2014 is bemest binnen de strenge stikstof- en fosfaatgebruiksnormen die vanaf 2015 gelden. De overige teelthandelingen waren gelijk over beide systemen. Het verschil in organische stofaanvoer tussen de systemen is al eerder gestart in 2005 in het project Nutriënten Waterproof. Vóór 2005 was de organische stofaanvoer tussen de systemen vrijwel gelijk. Vanaf 2011 lagen op twee van de zes percelen van elk systeem vier compostplots waar jaarlijks 10-20 ton compost per ha is toegediend om te kijken naar het effect van compost op opbrengst en uitspoeling in beide systemen.

Jaarlijks zijn alle inputs met organische mest en kunstmest, opbrengsten en kwaliteit van de gewassen, hoeveelheden van gewasresten en groenbemesters en alle overige teelthandelingen geregistreerd per perceel. Ook zijn jaarlijks per perceel de bodemvruchtbaarheid, de aanwezigheid van plantparasitaire aaltjes, de voorraad aan minerale bodemstikstof (in het voorjaar, na de oogst en in het najaar) en de stikstofgehalten in mest, oogstproducten, gewasresten en groenbemesters gemeten. In de loop van de jaren zijn ook een aantal bodembioologische en bodemfysische metingen uitgevoerd.

Daarnaast zijn in 2013 op één en in 2016 op twee percelen per systeem lachgasemissies gemeten. Analyses zijn gemaakt van de aanvoer van effectieve organische stof, gewasopbrengsten, bodemkwaliteit, nutriëntenbalansen (stikstof, fosfaat en kali), N-min voorraad van de bodem, nitraatconcentraties in het grondwater, stikstofuitspoelfracties en lachgasemissies. Hierbij is met name gekeken naar de verschillen tussen de systemen en niet zozeer naar de absolute waarde bij de systemen. De stikstofuitspoelfracties zijn gecorrigeerd voor verschillen in nawerking van organische inputs, verdamping en grondwaterstand. Ook is gekeken naar de verbanden tussen stikstofoverschot en -voorraden in de bodem na de oogst en in het najaar en naar het verband tussen stikstofoverschot en de nitraatvrucht en nitraatconcentraties in het grondwater.

Op alle gemeten parameters is een statistische analyse toegepast. Omdat de systemen niet in herhalingen zijn aangelegd is het enkel mogelijk om verschillen tussen de systemen te toetsen. Dit is gedaan met een variantieanalyse. In deze variantieanalyse is ook het jaareffect, de interactie tussen systeem en jaar en de interactie tussen gewas en jaar getoetst.

In de compostplots zijn vanaf 2013 opbrengsten gemeten en op één perceel ook de nitraatconcentraties in het grondwater. Verder zijn geen metingen in de compostplots uitgevoerd. De resultaten van de compostplots hebben hierdoor een voorlopig karakter.

Resultaten

De aanvoer met effectieve organische stof ligt in STANDAARD op circa 1900 en in LAAG op circa 1000 kg/ha/jaar. Bij de compostplots is in beide systemen daar bovenop bijna 3000 kg effectieve organische stof per ha per jaar per jaar extra toegediend.

LAAG haalt op rotatieniveau een lagere gemiddelde totale droge stofopbrengst (-7%) dan STANDAARD ($p < 0,05$), LAAG heeft gemiddeld over de gewassen ook een lagere marktbaar opbrengst, weliswaar niet significant. Het financiële opbrengstverschil op rotatieniveau tussen STANDAARD en LAAG bedraagt circa € 430 per ha. Er waren tussen de systemen nauwelijks kwaliteitsverschillen in de gewassen. De marktbaar opbrengsten in STANDAARD liggen 15% onder de praktijkopbrengsten van proefbedrijf Vredepeel en ca 3% onder de gestelde streefopbrengsten. Voor systeem LAAG gaat het hier om respectievelijk 22% en 10%.

Het organische stofgehalte van de bodem verschilt significant tussen de systemen en is gemiddeld over 2011-2016 0,4 procentpunt lager in LAAG ten opzichte van STANDAARD. Alle chemische bodemkwaliteitsparameters zijn in LAAG lager dan in STANDAARD. Voor Pw, P-CaCl₂, P-Al, K-getal en CEC zijn deze verschillen significant, voor de overige bodemparameters niet. De aaltjespopulaties zijn nauwelijks verschillend. Er zijn geen significante verschillen in overige bodembioologische en -fysische parameters.

Het stikstofbodemoverschot voor LAAG is gemiddeld 89 kg/ha/jaar, voor STANDAARD 102 kg/ha/jaar. Dit verschil is significant. Zowel de totale stikstofaanvoer als de stikstofafvoer in LAAG zijn lager dan in STANDAARD. Het verschil in stikstofaanvoer is groter dan in afvoer, waardoor het overschot in LAAG lager is. De stikstofefficiëntie, gedefinieerd als stikstofafvoer met marktbaar gewas gedeeld door de totale stikstofaanvoer, was gelijk voor beide systemen (60%). De werkzame stikstofaanvoer in de systemen was gelijk. De berekende mineralisatie van stikstof uit in voorgaande jaren toegediende organisch materiaal was in LAAG lager dan in STANDAARD door de lagere aanvoer van organische stof met mest.

De N-min voorraad in de bodem is zowel in het voorjaar, na de oogst als in het najaar significant lager in LAAG. De nitraatconcentraties in het grondwater waren met 57 mg/l niet significant lager in LAAG dan in STANDAARD (68 mg/l). De nitraatconcentraties liggen in beide systemen boven de nitraatnorm van 50 mg/l. De stikstofuitspoelfractie (het deel van het overschot dat uitspoelt) was niet significant verschillend tussen de systemen (67% voor LAAG en 65% voor STANDAARD), ook na correctie voor verschillen in grondwaterstanden, verdamping en nawerking van stikstof tussen de systemen. Wel steeg de uitspoelfractie na deze correcties naar ruim 80% voor beide systemen. Er bleken geen significante verbanden te bestaan tussen stikstofoverschot, stikstofuitspoeling en N-min voorraden in de bodem.

De metingen van lachgasemissies geven geen eenduidig beeld. Opvallend waren de regelmatig negatieve waarden voor lachgasemissie.

De fosfaataanvoer ligt onder de fosfaatgebruiksnorm bij toestand neutraal, waarin het proefveld zich bevindt. Het fosfaatoverschot is in beide systemen licht negatief. De kalioverschotten zijn in LAAG hoger dan in STANDAARD door een lagere afvoer. De aanvoer is ongeveer gelijk.

De compostplots laten over de eerste 6 jaar al enkele trends zien. De opbrengsten in LAAG zijn met compost 5% hoger dan zonder compost (n.s.). In STANDAARD is dit positieve effect van compost niet zichtbaar bij de versopbrengsten maar wel bij de droge stofopbrengsten. De nitraatconcentratie in het grondwater onder compostplots is gemiddeld gelijk met de plots zonder compost.

Discussie

Bij de interpretatie van de resultaten moet rekening gehouden worden met een aantal aspecten wat betreft voorgeschiedenis, onderzoeksopzet (er waren geen herhalingen, de beide systemen waren niet gewaard aangelegd en er is mogelijk een stikstofeffect vanuit nawerking organische mest) en specifieke locatieaspecten (invloed Peelkanaal en aanwezigheid buisdrainage). Doordat de velden ook in de periode vóór 2005 ook zijn gebruikt voor systeemonderzoek was er een verschil in bodemvruchtbaarheid in de periode voorafgaand aan het onderzoek. Het organische stofgehalte was lager in LAAG (-0,2%-punt) en ook de fosfaat- en kalitoestand waren wat lager in LAAG). Het beeld is dat deze aspecten niet of hooguit beperkt invloed hebben gehad op de resultaten maar dat dit niet met zekerheid is vast te stellen.

Conclusie

Systeem LAAG tendeert in de periode van 7 tot 12 jaar na het starten van het verschil in organische stofaanvoer lagere opbrengsten dan in STANDAARD. De stikstofverliezen zijn lager in LAAG bij een lagere organische stofaanvoer gezien het lagere stikstofbodemoschot, de lagere N-min voorraden in de bodem in het najaar en de lagere stikstofuitspoeling. Wel is laatstgenoemde in tegenstelling tot het stikstofbodemoschot en de N-minvoorraad niet significant. Er is geen verschil in stikstofefficiëntie tussen de systemen en ook de uitspoelfracties zijn gelijk. Ook leidt een lagere organische stofaanvoer tot een lager organische stofgehalte in de bodem. Andere bodemparameters zijn in de loop van de tijd van de proef niet of nauwelijks veranderd. Er kon geen duidelijk verband afgeleid worden tussen organische stofaanvoer en lachgasemissies. Aanvoer van extra organische stof in de vorm van compost leidt tot hogere opbrengsten in LAAG en in iets mindere mate in STANDAARD. Daarnaast is de uitspoeling (vooralsnog) gelijk tussen de compostplots en niet compostplots. Omdat de vergelijking tussen wel en niet aanvoer van compost nog maar zes jaar heeft geduurd zijn dit voorlopige resultaten.

Met de aanwijzingen voor lagere stikstofverliezen (hoewel nog steeds boven de nitraatnorm) bij een lagere aanvoer van organische stof, maar tegelijkertijd lagere opbrengsten geeft dit onderzoek een dilemma weer tussen een belangrijk milieuaspect en de economie van het boerenbedrijf. Vooralsnog zijn er geen andere duidelijke nadelen waargenomen van de lagere organische stofaanvoer in LAAG ten opzichte van STANDAARD in de bodembioologische en bodemfysische metingen. Het is nog onduidelijk wat zorgt voor lagere opbrengsten in LAAG behalve eventuele nutriënteneffecten van organische stof.

Aanbevelingen

De resultaten zoals gerapporteerd in dit rapport bieden op dit moment onvoldoende aanknopingspunten voor onderbouwing van een equivalente maatregel in het mestbeleid rond aanvoer van organische stof. Er is wel perspectief in aanvoer van compost maar de resultaten op dit vlak zijn nog onvoldoende. Wel wordt duidelijk dat een lagere organische stofaanvoer leidt tot lagere opbrengsten en is het belangrijk om eventuele effecten van het mestbeleid op organische stofaanvoer te blijven monitoren.

Boeren wordt geadviseerd om voldoende organische stof aan te voeren. Wanneer de aanvoer te laag is kunnen mestsoorten gekozen worden met meer organische stof per kg fosfaat. Vanwege het effect

op opbrengst kan dit rendabel zijn ook als de meststoffen duurder zijn. Binnen de mestwetgeving zijn er voldoende mogelijkheden (o.a. inzet rundveedrijfmest en compost) voor voldoende organische stof aanvoer, hoewel dit wel afhangt van de beschikbaarheid van deze producten.

Aanbevolen wordt dit onderzoek voort te zetten en meer in detail te kijken naar de effecten van de compostplots. Om processen beter te begrijpen is het van belang ook andere zaken beter te meten zoals afvoer via drains, grondwaterstanden, stikstofbinding, bodemmineralisatie en broeikasgasemissies. Daarnaast is het aan te bevelen een specifieke gedetailleerde lange termijnproef aan te leggen om de effecten van diverse vormen en hoeveelheden van organische stof op opbrengst, bodemkwaliteit en de uitspoeling van stikstof te onderzoeken.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

1.1.1 Bodemkwaliteit en organische stof

De algemene indruk in de landbouw is dat de bodemkwaliteit achteruitgaat. Aanwijzingen hiervoor zijn toenemende ondergrondverdichting (Akker, van den & Groot, de, 2008) en toenemende problemen met bodemgebonden ziekten en plagen door o.a. intensieve rotaties en afgenomen beschikbaarheid van chemische middelen. In de praktijk heerst een gevoel van afnemende bodemvruchtbaarheid, mede vanwege de aangescherpte mestwetgeving. Dit gevoel kan echter niet hard gemaakt worden; een recente analyse van data van Eurofins Agro laat zien dat organische stofgehalten van in Nederland over het algemeen niet dalen (Velthof et al., 2017).

Bodembeheer staat onder andere hierdoor in het middelpunt van het debat in Nederland. Duurzaam bodembeheer is een belangrijk aandachtspunt in het beleid als oplossingsrichting voor diverse maatschappelijke knelpunten bij behoud van economisch perspectief voor ondernemers. Duurzaam bodemgebruik, zonder precieze definitie wat dit inhoudt, wordt door diverse beleidsmakers gezien als de oplossing om bodembedreigingen zoals erosie, bodemverdichting, bodemverontreiniging, emissies naar het grondwater en naar de lucht, afname van het gehalte aan organische stof en biodiversiteit te voorkomen en op te lossen.

Er is (nog) geen consensus over de directe effecten van maatregelen voor duurzaam bodembeheer, waarbij organische stof vaak een rol speelt, op de diverse bedreigingen. Er zijn bijvoorbeeld enerzijds hypothesen dat een hoger organische stofgehalte in de bodem nutriëntenefficiëntie verhoogt doordat gewassen beter groeien en meer nutriënten opnemen en doordat (positief geladen) nutriënten beter worden vastgehouden en minder snel uitspoelen. Anderzijds zijn er hypothesen dat een hoger organische stofgehalte in de bodem nutriëntenverliezen vergroot doordat een verhoogde aanvoer leidt tot een verhoogde N-mineralisatie in periodes zonder gewasgroei en daardoor tot een hogere uitspoeling. Vanwege het aangescherpte mestbeleid en de aandacht voor bodemkwaliteit is dit onderzoeksonderwerp in de belangstelling komen te staan bij de landbouw en overheid (zie ook [advies CDM](#) hierover).

Het is echter lastig om aan te tonen wat het effect is van veranderend management op de bodemkwaliteit en welke effecten dit heeft op gewasopbrengsten en andere ecosysteemdiensten. Hijbeek et al. (2017) vonden in een meta-analyse over 20 lange termijn proeven in Europa geen algemeen significant effect van organische stof wanneer er werd gecompenseerd voor verschillen in nutriëntenaanvoer bij verschillen in organische stofaanvoer. Bij bepaalde typen organische stof, gewassen en weers- en bodemomstandigheden was er wel een significant effect. De Technische Commissie Bodem (TCB) heeft begin 2016 een advies aan de overheid gegeven over de toestand en dynamiek van organische stof in Nederlandse Landbouwbodems (Technische Commissie Bodem, 2016). De TCB stelt dat organische stof in belangrijke mate bijdraagt aan onmisbare ecosysteemdiensten, zoals vruchtbaarheid, biodiversiteit, structuur, vochtregulatie en bindings- en filtercapaciteit van de bodem. Volgens de TCB speelt de kwaliteit van OS ten onrechte nauwelijks een rol bij bemesting van landbouwgrond. De TCB adviseert om te focussen op behoud van kwaliteit en voorraad van organische stof en meer 'langzame' nutriëntenarme meststoffen (zoals composten) te gebruiken en meer organische stof met gewasresten aan te voeren. Daarnaast adviseert ze het landbouwkundig beheer van de bodem meer te richten op behoud van organische stof door bijvoorbeeld minder intensieve grondbewerking en verhoging van de grondwaterstand. Voorkomen moet worden dat een hogere aanvoer van organische stof negatieve effecten heeft zoals hogere broeikasgasemissies.

1.1.2 Het zuidelijk zandgebied

In het zuidelijk zandgebied speelt deze problematiek een grote rol. Vandaar de keuze voor dit gebied als locatie van het onderzoek dat in dit rapport is beschreven. Het zuidelijk zandgebied beslaat het grootste deel van Noord-Brabant, Noord- en Midden-Limburg. Het is een relatief hoger gelegen gebied met weinig reliëf, met dekzand en oude rivierzanden aan het oppervlak. Het zuidelijk zandgebied wordt doorsneden door kleine rivieren en beken, zoals de Dommel, de Aa, de Mark en de Dintel (www.geologievannederland.nl). De gronden waren van nature arm. Pas na de Tweede Wereldoorlog is met de komst van kunstmest grootschalige intensieve landbouw in het gebied ontstaan.

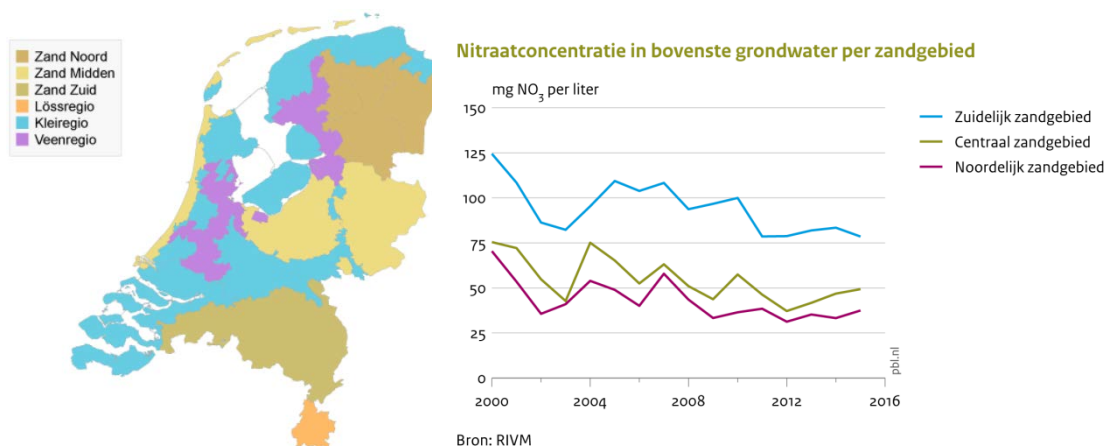
Het huidige grondgebruik in het zuidelijk zandgebied bestaat uit 40% gras, 25% voedergewassen, vooral snijmais, 25% akkerbouw en 10% procent tuinbouw waarvan het grootste deel vollegrondsgroenten. Het akkerbouwoppervlak is verdeeld in 30% aardappelen, 30% granen, 15% suikerbieten, 15% akkerbouwmatige groenten en 10% overige gewassen (statline.cbs.nl). Het aandeel uitspoelingsgevoelige gewassen is daarmee ca. 40%.

Het gebied kent een grote intensieve veehouderij met ca. 60% van de Nederlandse varkens en 40% van de Nederlandse kippen. In het gebied wordt 7,9 miljoen ton dunne rundvee mest en 6,7 miljoen ton dunne varkensmest geproduceerd, samen meer dan 90% van de totale mestproductie in het gebied. Hierdoor is de mestproductie veel hoger dan de plaatsingsruimte van mest op basis van het mestbeleid. In het gebied werd in 2014 49 miljoen kg fosfaat (P_2O_5) geproduceerd terwijl er slechts plaatsingsruimte is voor 15 miljoen kg fosfaat (statline.cbs.nl). Het verschil moet afgezet worden buiten de regio wat hoge kosten met zich meebrengt, deze bedragen 15-25 euro per ton afhankelijk van de mestsoort (Koeijer, de et al., 2016).

Het aandeel biologische landbouw in het zuidelijk zandgebied is klein. Slechts 1,6% van het areaal wordt biologisch beheerd, waarbij het aandeel in de melkveehouderij groter is dan in de akker- en tuinbouw (statline.cbs.nl).

1.1.3 Waterkwaliteit in het zuidelijk zandgebied

In tegenstelling tot het noordelijk en centraal zandgebied, is de nitraatconcentratie in het grondwater onder landbouwgrond in het zuidelijk zandgebied nog ruim hoger dan de 50 mg nitraat/l ondanks een afname in de afgelopen 15 jaar (Figuur 1, Fraters et al., 2016). Er zijn geen uitsplitsingen gemaakt per regio voor de verschillende bedrijfstakken. Gemiddeld over alle zandregio's ligt de uitspoeling op akkerbouwbedrijven op 81 mg nitraat per liter, terwijl voor melkveebedrijven de gemiddelde nitraatconcentratie 39 mg nitraat per liter bedraagt (Fraters et al., 2016). Bij akkerbouwbedrijven is de concentratie dus ruim hoger, en sinds 2000 is de nitraatconcentratie niet meer gedaald.



Figuur 1 Indeling naar grondsoortregio's waarbij de zandregio is verdeeld in de zandgebieden Noord, Midden en Zuid (links) en de nitraatconcentraties in het bovenste grondwater per zandgebied in de periode 2000-2016 (rechts, Fraters et al., 2016)

Behalve de nitraatconcentratie in het grondwater zijn ook de stikstof- en fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater over het algemeen te hoog op zandgronden: slechts 30-50% van de meetpunten voldoet aan de normen die gehanteerd worden voor stikstof in de periode 2011-2014. Dit is 46-62% voor fosfaat (Klein & Rozemeijer, 2015).

1.1.4 Mestbeleid

Om de stikstof- en fosfaatemissies vanuit de landbouw te verminderen zijn in de afgelopen jaren in het mestbeleid diverse maatregelen genomen. In 2006 is een stelsel van stikstof- en fosfaatgebruiksnormen geïntroduceerd. Deze normen zijn in de afgelopen jaren voor het Zuidelijk zandgebied sterk aangescherpt. De stikstofgebruiksnormen voor de uitspoelingsgevoelige gewassen begonnen in 2006 rond de landbouwkundige bemestingsadviezen maar liggen sinds 2015 voor uitspoelingsgevoelige gewassen ca. 25-30% daaronder (in het Zuidelijk zandgebied). De fosfaatgebruiksnormen zijn in de loop van de jaren verlaagd van 85 kg/ha naar 50 kg/ha voor de meeste percelen (gezien de overwegend hoge fosfaattoestanden op deze percelen). Ook de werkingscoëfficiënt voor varkensdrijfmest is in de afgelopen jaren aangescherpt van 60% naar 80% (www.rvo.nl).

Met name de aanscherpingen voor stikstof maken het voor boeren lastig om een optimale gewasproductie te realiseren. Op basis van proefresultaten van stikstofbemestingsproeven in heel Nederland mag een gemiddelde opbrengstderving van 3-5% verwacht worden (Van Dijk et al, 2007). Daarnaast wordt het voor boeren lastiger om voldoende organische stof aan te voeren met organische meststoffen omdat het gebruik van organische mest beperkt wordt door vooral de hoeveelheid fosfaat en in mindere mate door de hoeveelheid stikstof die aangevoerd mag worden. Hoewel boeren gericht kunnen kiezen voor meststoffen met een gunstige organische stof-nutriënten verhouding vormt beschikbaarheid en prijs van meststoffen toch een belemmering.

Boeren zien de aanvoer van voldoende organische stof als noodzaak voor het behalen van goede opbrengsten en behoud van lange termijn bodemvruchtbaarheid. Ze zetten vraagtekens bij de aanname dat gebruik van dierlijke mest tot meer stikstofuitspoeling leidt omdat een voldoende organische stofaanvoer leidt tot hogere opbrengsten en afvoeren (Stallen, 2017).

1.2 Bedrijfssystemenonderzoek op proeflocatie Vredepeel

1.2.1 Historie bedrijfssystemenonderzoek

In 2011 is op de WUR-locatie Vredepeel (gelegen in het zuidelijk zandgebied) het project "Bodemkwaliteit op zand" gestart. Het project is een bedrijfssystemenonderzoek (Vereijken, 1999; Haan, de & Garcia Diaz, 2002). Het bedrijfssysteemonderzoek heeft tot doel om op semi-praktijkschaal een systeem met een dusdanige combinatie van strategieën en maatregelen te ontwerpen, testen en verbeteren zodat aan de gewenste doelstellingen voldaan kan worden. Deze doelstellingen liggen zowel op maatschappelijk vlak, zoals het verminderen van emissies, als op economisch vlak gericht op het realiseren van een economisch gezonde bedrijfsvoering. De opzet is dynamisch, de gehanteerde strategieën en maatregelen worden elk jaar geëvalueerd en zo nodig bijgesteld.

Het bedrijfssystemenonderzoek op Vredepeel is gestart in 1989. Het project "Bodemkwaliteit op zand" wordt vanaf 2011 uitgevoerd en is een voortzetting, in aangepaste vorm, van de eerdere projecten die op dezelfde proefvelden van proefbedrijf Vredepeel zijn uitgevoerd. Deze eerdere projecten zijn Nutriënten Waterproof (NWP) van 2005 t/m 2008 (Haan, de et al., 2010) en Telen met Toekomst (TmT) van 2001 t/m 2003 (Smit et al., 2005). Deze twee projecten waren vooral gericht op het voldoen aan de EU-nitraatrichtlijn in de akkerbouw en open teelten in het zuidelijk zandgebied. Daarvoor was het bedrijfssystemenonderzoek tussen 1989 en 2000 voornamelijk gericht op geïntegreerde gewasbescherming in de akkerbouw (Wijnands & Kroonen, 2002a; Wijnands & Kroonen, 2002b), met een wat mindere focus op stikstofuitspoeling en het verbeteren van nutriëntenefficiëntie.

Een korte beschrijving van de historie van het bedrijfssystemenonderzoek op Vredepeel is opgenomen in Bijlage 1 met een korte opsomming van de systemen per projectperiode, geteelde gewassen en bijzonderheden in de teelt en uitvoering.

1.2.2 Conclusies Nutriënten Waterproof

De conclusies uit het voorgaande project NWP waren dat het niet mogelijk is om zonder opbrengstverliezen, en dus inkomstenverliezen, de nitraatnorm uit de EU-nitraatrichtlijn (50 mg nitraat per liter in het bovenste grondwater) in de open teelten op het zuidoostelijk zandgebied te halen. Optimalisatie van de bemesting kan nog een kleine verbetering geven maar onvoldoende om de nitraatnorm te halen. De grootste winst is hier in rijenbemesting met dierlijke mest in maïs. Maatregelen die wel effectief zijn kosten geld en/of opbrengst en zijn: extensievere rotaties met meer granen, grassen en groenbemesters en het afvoeren van stikstofrijke gewasresten. Wat betreft organische stofbeheer was het beeld niet duidelijk. Zowel een lage organische stofaanvoer als een hogere organische stofaanvoer in een biologisch systeem gaf een lagere uitspoeling dan het systeem dat het meest vergelijkbaar was met de praktijk. Vanuit NWP werd de aanbeveling gedaan om vervolgonderzoek op te starten naar integraal bodembeheer en naar teeltsystemen los van de grond. Onderzoek naar dit laatste is in 2009 opgestart in een apart onderzoeksprogramma Teelt de grond uit (www.teeltdegrond.nl). Het onderzoek naar integraal bodembeheer is opgenomen in het vervolg van het bedrijfssystemenonderzoek in het project Bodemkwaliteit op zand.

1.3 Doelstelling project en dit rapport

Doel van het project Bodemkwaliteit op zand is het ontwikkelen van praktisch toepasbare strategieën en maatregelen die bijdragen aan een duurzaam bodembeheer op zandgrond en voldoende economisch perspectief geven aan de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt in het zuidelijk zandgebied.

De ontwikkeling van maatregelen is bedoeld voor zowel biologische als gangbare bedrijven en is gericht op organische stofbeheer en grondbewerking. Deze rapportage gaat alleen in op de resultaten van organische stofbeheer in de twee gangbare bedrijfssystemen. Resultaten van het organisch stofbeheer in het biologische bedrijfssysteem zijn beschikbaar in een aparte rapportage (Haan, de et al., 2017). Resultaten van de grondbewerking zijn deels beschikbaar in een studentenrapport (Vervoort, 2016).

Doel van deze rapportage is de analyse van de effecten van verschillen in organische stofaanvoer tussen twee gangbare systemen, waarbij de uitkomsten vergeleken worden met vooraf bepaalde streefwaarden, ten aanzien van:

- De aanvoer van effectieve organische stof (EOS)
- De marktbare opbrengst, kwaliteit en bruto droge stofproductie inclusief de verschillen in kosten en opbrengsten
- De fysische, chemische en biologische bodemkwaliteit
- De stikstofstromen in het systeem. Hierbij gaat het om
 - o De stikstofbodembalans: aanvoer, afvoer en overschot
 - o De stikstofbenutting (stikstofafvoer/stikstofaanvoer)
 - o Voorraden minerale stikstof in de bodem aan het begin van het groeiseizoen, na de oogst en in november (start uitspoelingsseizoen)
 - o De nitraatconcentraties in het grondwater in de winterperiode
 - o De stikstofuitspoelfractie (dat deel van het overschot dat uitspoelt naar het grondwater)
 - o Lachgasemissies
- De fosfaat- en kalibalansen

1.4 Leeswijzer

Dit rapport is traditioneel opgebouwd als onderzoeksrapport met in hoofdstuk 2 materiaal en methoden, hoofdstuk 3 de resultaten, hoofdstuk 4 de discussie en hoofdstuk 5 de conclusies en aanbevelingen. In de bijlagen is achtergrondinformatie opgenomen. Bij de rapportage hoort ook een Excelfile "Data rapportage gangbare systemen Bodemkwaliteit op zand 2011-2016 Gangbaar.xls" met de data van de gangbare systemen op gebied van effectieve organische stofaanvoer, opbrengst, chemische bodemvruchtbaarheid en stikstofstromen inclusief een samenvatting van de statistische analyses. Een toelichting bij dit bestand is opgenomen in Bijlage 2. Waar relevant staat bovenaan de paragrafen in hoofdstuk 2 en 3 een verwijzing naar de tabbladen van het rekenbestand. Voor data van een aantal metingen over bodemkwaliteit en lachgasemissies wordt verwezen naar andere rapporten.

2 Materiaal en methoden

2.1 Opzet bedrijfssystemenonderzoek Vredepeel

2.1.1 Locatie Vredepeel

Proeflocatie Vredepeel ligt op een Peel-ontginningsgrond in het zuidoostelijk zandgebied van Nederland ca. 8 km ten westen van Venray. Deze regio heeft de hoogste uitspoeling van nitraat en fosfaat in Nederland. De bodem wordt geclassificeerd als een veldpodzol met een bouwvoor van 30-40 cm, daaronder een onregelmatige overgangslaag van 10-15 cm en daaronder het oorspronkelijke dekzand (Vos, de et al., 2001). De grond op de proefboerderij is in de mestwetgeving gekenmerkt als uitspoelingsgevoelig (GHG \geq 70 cm en een GLG \geq 120) en representatief voor zandgronden in Oost Brabant en Noord Limburg. De bodemtextuur van de bouwvoor is 93% matig fijn zand, 4,5% leem en 2,2% klei en een organische stofgehalte wat varieert van 3,4 tot 4,2% gemiddeld over de jaren 2011-2016 tussen de verschillende percelen, met een gemiddelde waarde over alle percelen over de periode 2011-2016 van 3,7% (zie paragraaf 3.3). Ook onder de bouwvoor wordt de bodemtextuur gedomineerd door matig fijn zand. Het zandpakket is 2-12 m dik met leem- en veenlenzen. De laag daaronder bestaat uit grof zand, grind en klei- en leemlenzen (Tabel 1 en Groenendijk et al., 2017). In de percelen van de systemen STANDAARD en LAAG in dit onderzoek zitten geen klei- of veenlenzen binnen twee meter onder maaiveld. De ondergrond is verdicht volgens Van den Akker en De Groot (2008) met dichtheden van rond de 1700 kg m⁻³. De percelen op het bedrijf zijn goed ontwaterd, ze zijn allen gedraineerd op een afstand van 6 meter en een diepte van 60-80 cm. Volgens De Vos et al. (2006) zou ca. 60% van het water via de drains worden afgevoerd. Het Peelkanaal ten westen van de Proeflocatie heeft invloed op de ontwatering en grondwaterstanden van de proeflocatie, met name in de percelen die direct aan het kanaal grenzen. De grondwaterstand in de winter ligt gemiddeld tussen de 80 en 120 cm. De gemiddelde neerslag in de zes jaar van de beschreven proefperiode (2011-2016) was 852 mm (periode maart-februari). Dit ligt 77 mm boven het langjarige gemiddelde van 775 mm. De gemiddelde jaartemperatuur is 11,3°C. Een samenvatting van de weersgegevens van 2011-2016 staat in Bijlage 3.

Tabel 1 Beschrijving bodemopbouw rond Vredepeel (van Beek et al., 2005 gebaseerd op Rijks Geologische Dienst 1975). De veenlaag op 2,7 m – mv. is slecht doorlatend en vormt een fysische barrière voor verticaal transport met een geschatte weerstand van 100 dagen.

Laag	Beschrijving
0 – 0,6 m –m.v.	Zand, matig fijn, humeus, lichtbruin, ingesloten enkele recente wortelresten
0,6 – 1,5 m –m.v.	Zand, fijn, lichtgeel
1,5 -2,0 m –m.v.	Zand, fijn, lichtgrijs
2,0 – 2,7 m –m.v.	Zand, matig fijn, zwak lemig, zwak humeus, bruin
2,7 – 3,2 m –m.v.	Veen
3,2 - 5,5 m –m.v.	Zand, matig fijn, humeus, donkerbruin
5,5 – 7,8 m –m.v.	Zand, zeer grof, bruingrijs, met weinig overwegend wit kwartszand
7,8 m –m.v.	Grond, fijn en grof

2.1.2 Bedrijfssystemen

Het onderzoek in BKZ omvatte twee gangbare bedrijfssystemen en één biologisch bedrijfssysteem. Deze rapportage gaat alleen over de gangbare bedrijfssystemen genaamd STANDAARD en LAAG. Beide systemen hebben eenzelfde vruchtwisseling. In STANDAARD is een gemiddelde aanvoer van organische stof nagestreefd zoals ook in de gangbare omliggende praktijk gedaan wordt. De gewassen zijn bemest met drijfmest en kunstmest binnen de stikstof- en fosfaatgebruiksnormen. Hiermee is de verwachting dat de bodemvruchtbaarheid en het mineralisatieniveau gehandhaafd blijven. In LAAG is

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

Beide bedrijfssystemen omvatten elk zes percelen (voor de gewassen van de 6-jarige vruchtwisseling, zie 2.1.4) welke om en om naast elkaar liggen. De helft van elk perceel is geploegd en de andere helft is niet-kerend bewerkt. In deze rapportage wordt niet ingegaan op de verschillen in grondbewerking. Alle gegevens in deze rapportage zijn gemeten in de geploegde perceelsdelen. Op twee percelen van elk systeem (18.1 en 27.1 STANDAARD en 18.2 en 27.2 LAAG) zijn 4 plots aangelegd waar jaarlijks met compost extra organische stof wordt aangevoerd. Van 2011 tot en met 2014 10 ton/ha/jaar en in 2015 en 2016 20 ton/ha/jaar. Aldus ontstaat een oplopende trap van hoeveelheden effectieve organische stof (EOS) die jaarlijks wordt aangevoerd en kunnen ook strategieën vergeleken worden met een vergelijkbare hoeveelheid EOS-aanvoer met andere typen organische mest. In Figuur 2 is de globale situering van de bedrijfssystemen aangegeven. Figuur 3 geeft de ligging in meer detail weer inclusief de ligging van individuele percelen en de compostplots.



Figuur 2 WUR-locatie Vredepeel en de ligging van de gangbare bedrijfssystemen, het Peelkanaal en de bedrijfsgebouwen

Beide systemen zijn aangelegd in enkelvoud en niet geward. Er zijn geen herhalingen, waardoor de foutenmarge van de gemeten parameters binnen een systeem niet statistisch getoetst kan worden. Wel kunnen de prestaties van de twee systemen onderling vergeleken worden. Dit gebeurt met een Students t-toets (voor verdere details zie paragraaf 2.3).

2.1.3 Complicaties in het vergelijken van organische stofaanvoer strategieën

2.1.3.1 Verschil in beschikbaarheid van nutriënten

Het vergelijken van strategieën van organische stofaanvoer is complex. De samenstelling van de organische stof in de diverse strategieën is verschillend en met de variatie in aanvoer van organische stof wordt ook gevarieerd in de aanvoer van nutriënten. Dit wordt deels gecompenseerd door de (werkzame) aanvoer van de nutriënten gelijk te trekken via kunstmest maar de beschikbaarheid van de nutriënten blijft verschillend (bijvoorbeeld direct oplosbaar in kunstmest of organisch gebonden in organische mest) waardoor de beschikbaarheid van deze nutriënten verschillend is in de tijd. Dit geldt vooral voor stikstof: Bij het starten van toepassing van organische meststoffen met lage stikstofwerkingscoëfficiënten zal slechts een klein deel van de toegediende stikstof al in het eerste jaar mineraliseren. Dit heeft tot gevolg dat eerst meer totaal stikstof aangevoerd moet worden om voldoende stikstof beschikbaar te hebben voor de gewasgroei. In de loop van de jaren kan de stikstofaanvoer beperkt worden omdat meer en meer beschikbaar komt uit mineralisatie van meststoffen toegediend in eerdere jaren tot het moment dat evenwicht bereikt is. Daarom wordt in de analyse ook gekeken naar de mineralisatie van stikstof uit organische mest, gewasresten en

groenbemesters over de jaren om na te gaan in hoeverre er al dan niet sprake is van evenwicht is met de jaarlijkse aanvoer. Ook in een evenwichtssituatie is het patroon van stikstofbeschikbaarheid over het jaar nog steeds verschillend van kunstmest: bij kunstmest is de stikstof direct beschikbaar na toepassing, bij organische mest komt deze geleidelijk vrij over het jaar, deels ook na de opnameperiode van de gewassen.

										→ N	
peelkanaal											
pad					pad						
				19.2 b					29.2 b	18m.	
				19.2 a					29.2 a	18m.	
				19.1 b					29.1 b	18m.	
				19.1 a					29.1 a	15m.	
meetperceel	aardappel + gbm z.gerst (LET OP N-braakvelden)	z.gerst	LE	velden)	0,3446 ha				Eng.raaigras + prei winter (LET OP N-braakvelden)	0,3492 ha	18m.
	aardappel + gbm z.gerst	z.gerst			0,3446 ha				Eng.raaigras + prei winter	0,3492 ha	18m.
	aardappel + gbm z.gerst	z.gerst			0,3491 ha				Eng.raaigras + prei winter	0,3492 ha	18m.
	aardappel + gbm z.gerst	z.gerst			0,2910 ha				Eng.raaigras + prei winter	0,2910 ha	15m.
						loops					
				erwt + gbm Eng.raaigras	0,3546 ha				snijmais + gbm z.gerst	0,3492 ha	18m.
				erwt + gbm Eng.raaigras	0,3546 ha				snijmais + gbm z.gerst	0,3492 ha	18m.
				erwt + gbm Eng.raaigras	0,3546 ha				snijmais + gbm z.gerst	0,3492 ha	18m.
				erwt + gbm Eng.raaigras	0,2955 ha				snijmais + gbm z.gerst	0,2910 ha	15m.
				zomergerst + gbm Japanse haver	0,3546 ha				peen + gbm zomergerst	0,3492 ha	18m.
				zomergerst + gbm Japanse haver	0,3546 ha				peen + gbm zomergerst	0,3492 ha	18m.
				zomergerst + gbm Japanse haver	0,3546 ha				peen + gbm zomergerst	0,3492 ha	18m.
				zomergerst + gbm Japanse haver	0,2955 ha				peen + gbm zomergerst	0,2910 ha	15m.
					4,0479 ha					4,0158 ha	
				200m.					200m.		
						kavelpad					
				compost plots							
				standaard grondbewerking (ploegen);					3,9737 ha		
				alternatief grondbewerking (niet kerend);					4,0900 ha		
									8,0637 ha		
				percelen *.1 = STANDAARD = conventioneel, aan basis runderdrijfmest en varkensdrijfmest + kunstmest bijbemesting							
				percelen *.2 = LAAG = conventioneel, aan basis kunstmest, mineralenconcentraat en spuiwater + kunstmest bijbemesting							
				Vruchtwisseling:							
				aardappel (gbm z.gerst) - erwt (gbm Eng.raai) - prei - zomergerst (gbm bladram.) - peen (gbm z.gerst) - snijmais (gbm gerst)							

Figuur 3 *Ligging van de geïntegreerde systemen LAAG en STANDAARD met de perceelsbenaming, compostplots, grondbewerkingsobjecten en vruchtwisseling in 2016.*

2.1.3.2 Verschil in droge stofproductie en verdamping

Een tweede inherent effect van de onderzoeksaanpak is dat wanneer verschillen in aanvoer van organische stof verschillen in opbrengst geven het ook aannemelijk is dat er verschillen in verdamping en daarmee in neerslagoverschot ontstaan. Het neerslagoverschot is weer van invloed op de gemeten nitraatconcentratie. Een hogere opbrengst betekent een grotere verdamping, een lager neerslagoverschot en, bij een gelijke stikstofoverschot, een hogere nitraatconcentratie in het grondwater. In de analyse van de nitraatuitspoeling en stikstofuitspoelfractie worden daarom ook eventuele verschillen in de verdamping als gevolg van opbrengstverschillen betrokken.

2.1.4 Vruchtwisseling

In STANDAARD en LAAG is dezelfde zesjarige rotatie gehanteerd. Van 2011 tot en met 2015 omvatte deze

1. Aardappel – 2. Conservenerwt – 3. Prei (herfst) – 4. Zomergerst – 5. Suikerbiet – 6. Snijmais.

In 2016 is besloten de rotatie gelijk te trekken met de biologische vruchtwisseling. Daarom is suikerbiet vervangen door peen en is een vroege aardappel geteeld waar nog een geslaagde groenbemester achter geteeld kan worden.

De rest van de rotatie is gelijk over de jaren. Zaai-, plant- en poot en oogstdata zijn gelijk voor beide systemen (Bijlage 4). Binnen een jaar zijn dezelfde rassen geteeld in de systemen, de rassen verschilden in enkele gevallen wel over de jaren. Stro van de zomergerst en de gewasresten van de prei worden afgevoerd. De overige gewasresten blijven achter op het veld.

Om uitspoeling van stikstof te verminderen en stikstof de winter over te tillen is in STANDAARD en LAAG na alle hoofdteelten met uitzondering van prei een stikstofvanggewas geteeld:

- Engels raaigras (2011-2014) of Engels raaigras + witte klaver (2015-2016) na conservenerwt,
- Bladrammenas (2011-2012) of Japanse haver (2013-2016) na zomergerst,
- Zomergerst na aardappel, suikerbiet en snijmais.

De grasgroenbemester na conservenerwt is bemest met stikstof en in het voorjaar is er één snede geoogst en afgevoerd. Daarna is de groenbemester ingewerkt en is de prei geplant. Vanaf 2015 is Engels raaigras + witte klaver ingezaaid na conservenerwt, deze is niet bemest en niet afgevoerd. Het gewas is enkel geklepeld om veronkruiding tegen te gaan. De bladrammenas die in 2011 en 2012 is geteeld, is bemest. De gerstgroenbemester na aardappel, suikerbiet en snijmais is over het algemeen maar beperkt ontwikkeld vanwege het late zaaitijdstip en wordt daarom in de verdere analyses niet meegenomen, behalve de groenbemester na aardappel in 2016.

2.1.5 Bemesting

In deze paragraaf wordt op hoofdlijnen de bemesting bij beide systemen beschreven. Voor een meer gedetailleerde beschrijving wordt verwezen naar Bijlage 5.

2.1.5.1 Stikstof

Per jaar en systeem is een bemestings- en teeltplan gemaakt. Er is naar gestreefd om in STANDAARD en LAAG eenzelfde hoeveelheid werkzame stikstof toe te dienen aan elk gewas. Voor de berekening van de stikstofgift is een stikstofbalansmethode gebruikt. Hierin is op basis van de streefopbrengst van het gewas de stikstofbehoefte geschat waarop het aanbod van stikstof uit andere bronnen dan meststoffen (o.a. mineralisatie, depositie, binding) in mindering wordt gebracht.

Tot en met 2013 is voor stikstof bemest volgens deze systematiek los van de gebruiksnormen. Vanaf 2014 is de beperking opgelegd dat de stikstofgebruiksnorm op rotatieniveau niet mag worden overschreden. Vanaf dat moment is bemest op het niveau van de stikstofgebruiksnormen die vanaf 2015 voor het Zuidoostelijk zandgebied gelden. Hierin is de stikstofgebruiksnorm voor

uitspoelingsgevoelige gewassen met 20% gekort ten opzichte van de periode voor 2015. In situaties dat er een gebruiksnorm is voor een groenbemester en deze niet is bemest, is deze stikstof verdeeld over de gewassen op basis van de gemeten en verwachte behoefte.

De stikstofgift zoals berekend is zo efficiënt mogelijk aangewend met deling van giften en/of aangepaste toedieningstechnieken zoals rijenbemesting. In STANDAARD is de basisbemesting uitgevoerd met varkensdrijfmest en/of runderdrijfmest aangevuld met kunstmest. In LAAG is mineralenconcentraat en/of spuiwater gebruikt aangevuld met kunstmest. De drijfmest, mineralen concentraten en spuiwater zijn geïnjecteerd in de bodem.

2.1.5.2 Bemesting overige nutriënten

De fosfaatbemesting is gebaseerd op evenwichtsbemesting (fosfaataanvoer is gelijk aan de fosfaatafvoer). De bemesting met overige nutriënten was erop gericht om een gebrek te voorkomen en is uitgevoerd conform de adviesbasis bemesting (www.handboekbodemenbemesting.nl).

2.2 Metingen en analyses

Elk jaar zijn verscheidene metingen en analyses gedaan van de systemen. Van elk jaar is een complete teeltregistratie bijgehouden, met o.a. alle bemestingen en opbrengsten, stikstofgehalten van mest en oogstproducten, gewasresten en groenbemesters, N-min voorraad van de bodem in voorjaar (niet in 2011), na de oogst en in najaar, nitraatconcentraties in het bovenste grondwater in de winterperiode (niet in 2011), algemene bodemvruchtbaarheid en plantparasitaire aaltjes. Daarnaast is in 2011/2012 een uitgebreide serie metingen gedaan aan zowel fysische, chemische als biologische bodemkenmerken (Visser et al., 2014). In 2013 en 2016 zijn lachgasmetingen uitgevoerd (Booij et al., 2018). Ook zijn door derden bodemmetingen uitgevoerd die in dit verslag zullen worden aangehaald (Quist et al., 2015; Schrama et al., 2018).

2.2.1 Aanvoer effectieve organische stof

Excellfile "Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016 Gangbaar.xls"

- OVERZICHT kolommen E-H
- OVERZICHT COMPOST kolommen E-H
- GEWAS kolommen AY-AZ
- MEST kolom BA

De effectieve organische stofaanvoer van dierlijke mest en compost is berekend door de hoeveelheid mest te vermenigvuldigen met het gemeten droge stofgehalte, gemeten organische stofgehalte en de forfaitaire humificatiecoëfficiënt (Handboek Bodem en Bemesting, www.handboekbodemenbemesting.nl). Wanneer het organische stofgehalte in mest niet beschikbaar is, zijn forfaitaire waarden uit het Handboek Bodem en Bemesting en de Databank Samenstelling Meststoffen (www.kennisakker.nl) gebruikt.

Voor gewasresten en groenbemesters is een vergelijkbare berekening uitgevoerd: de versopbrengst is vermenigvuldigd met het gemeten droge stofgehalte, het forfaitaire organische stofgehalte in de droge stof en de forfaitaire humificatiecoëfficiënt. In Bijlage 6 zijn de gebruikte kengetallen voor de berekeningen opgenomen.

In STANDAARD wordt ernaar gestreefd het organische stof gehalte op peil te houden, dus evenveel effectieve organische stof (EOS) aan te voeren als dat er wordt afgevoerd. Bij gebrek aan goede afbraakpercentages per grondsoort is als ruwe streefwaarde voor organische stof 2000 EOS kg/ha gehanteerd (www.handboekbodemenbemesting.nl).

2.2.2 Opbrengst en kwaliteit

Excellfile "Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016 Gangbaar.xls"

- OVERZICHT kolommen J-U
- GEWAS kolommen E-L, P-Q, AB-AD, AM-AQ

2.2.2.1 Opbrengst en stikstofgehaltes

Jaarlijks is van alle gewassen in beide systemen een opbrengstbepaling gedaan op basis van bruto vers gewicht en marktbaar gewicht. Ter bepaling van de marktbaar opbrengst is bij een aantal gewassen ook een correctie doorgevoerd voor machine rooiverliezen om een schatting te maken van de daadwerkelijke veldopbrengst en om de marktbaar opbrengsten met praktijkopbrengsten van WUR-locatie Vredepeel en andere statistieken te kunnen vergelijken. De marktbaar opbrengst is de bruto-opbrengst gecorrigeerd voor rooiverliezen minus tarra en het niet marktbaar deel door kwaliteitsgebreken. Voor zomergerst is gecorrigeerd naar 15% vocht, voor conservenerwten naar een TM-getal van 120. De opbrengst van suikerbieten wordt uitgedrukt in kg suiker per ha en de opbrengst van snijmais in kg droge stof per ha. Om variatie binnen het gewas mee te nemen zijn naast de machinale oogst van het hele veld, in alle gewassen behalve zomergerst 4 plots van ca. 2-9 m² handmatig geoogst in elk veld. In de zomergerst is een strook van 1,5 m over de hele lengte van het perceel geoogst en is het vers gewicht bepaald van zowel oogstproduct als bovengrondse gewasrest. Vervolgens is van deze plots een mengmonster van zowel gewas als gewasresten gemaakt voor analyse op droge stofgehalte en stikstofgehalte door Eurofins Agro. Ook van de groenbemesters en gras-klover zijn de vers opbrengsten bepaald en zijn droge stofgehaltes en stikstofgehaltes bepaald door Eurofins Agro. Hiermee kan de droge stofproductie en stikstofopname in oogstproduct, gewasrest en groenbemester worden uitgerekend.

De opbrengsten zijn ook vergeleken met streefwaardes en de praktijkopbrengsten van het proefbedrijf. De streefwaardes staan in Tabel 2. Voor het vergelijk met praktijkopbrengsten zijn vergelijkbare praktijkpercelen gekozen van het proefbedrijf met per gewas hetzelfde ras als in "Bodemkwaliteit op zand".

2.2.2.2 Kwaliteit

Een aantal gewassen is ook op kwaliteit beoordeeld (Tabel 2). Voor aardappel gaat het hier om het onderwatergewicht. Het TM-getal, een maat voor de hardheid, bij de conservenerwten moet rond de 120 liggen. De oogst wordt echter bepaald door de afnemer en het TM-getal is zeer afhankelijk van het tijdstip van oogsten. Zomergerst moet voldoende droog zijn met een vochtgehalte van lager dan 16%. Het hectolitergewicht is een maat voor de grootte van de korrels. Deze moet minimaal 60 bedragen. Bij de suikerbiet wordt de kwaliteit bepaald door het gehalte aan suiker, minimaal 16,5% is gewenst, en de winbaarheid, minimaal 90% gewenst. Hierop wordt een teler ook financieel afgerekend. Voor snijmais gaat het ook om een voldoende hoog droge stofgehalte, dit moet bij oogst bij voorkeur boven de 31% liggen. Voor prei en peen zijn er geen kwaliteitscriteria al wordt de marktbaar opbrengst wel bepaald door de kwaliteit van het product: te kleine, misvormde en beschadigde prei en peen behoort niet bij de marktbaar opbrengst.

Tabel 2 Streefwaarden voor gewasproductie en gewaskwaliteit

Gewas	Streefwaarde productie	Streefwaarde kwaliteit	
		Parameter	Streefwaarde
Aardappel (laat t/m 2015)	60 ton/ha	onderwatergewicht	>425
Aardappel (vroeg 2016)	60 ton/ha	onderwatergewicht	>360
Conservenerwt	6 ton/ha	TM-getal	100-150
Prei	35 ton marktbaar/ha	Geen	
Zomergerst	7 ton/ha	Hectolitergewicht	>60
		Percentage vocht	<16%
Suikerbiet	16 ton suiker/ha	Percentage suiker	>16,5%
		Winbaarheid	>90%
Peen	80 ton marktbaar/ha	Percentage tarra	<20%
Snijmais	16 ton droge stof/ha	Percentage vocht	>31% d.s.

2.2.2.3 Financiële doorvertaling

De financiële opbrengsten van de gewassen worden bepaald door de marktbaar opbrengst te vermenigvuldigen met de productprijzen. De gehanteerde prijzen zijn voor aardappel € 0,13/kg, conservenerwt € 0,38/kg, prei € 0,37/kg, zomergerst € 0,18/kg, suikerbiet € 0,18/kg suiker en

snijmais 0,14/kg droge stof (KWIN, 2015). Om de waarde van één kg effectieve organische stof te berekenen op basis van de opbrengstverschillen tussen de systemen, wordt het verschil in financiële bouwplanopbrengst gedeeld door het verschil in aanvoer van effectieve organische stof tussen STANDAARD en LAAG.

Er is ook een vergelijk gemaakt in de kosten van meststoffen inclusief toediening. Gehanteerde prijzen zijn: Rundveedrijfmest wordt gratis gebracht en voor mestvarkensdrijfmest ontvangt men € 2 per ton. Voor mineralenconcentraat betaald men € 0,65 per kg geleverde N en voor spuiwater €7,50 per ton (bij 50-60 kg N per ton). Voor kunstmest worden de prijzen uit de KWIN Akkerbouw Vollegrondsgroenten (2015) gebruikt.

2.2.3 Bodemkwaliteit

Excellfile "Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016 Gangbaar.xls"

- OVERZICHT kolommen W-AG
- BODEM kolommen M-AV
- NEMATODEN

2.2.3.1 Organische stofgehalte

Voor organische stof is een lange meetreeks vanaf 1988 tot en met 2016 beschikbaar. Het organische stofgehalte is steeds met gloeiverlies bepaald. Behalve in de jaren 2004, 2005, 2007, 2008, 2010, 2011 en 2012, toen is het gehalte alleen met NIRS bepaald. Op de gehalten bepaald met gloeiverlies, aangevuld met de met NIRS bepaalde gehalten uit 2004, 2005, 2007, 2008, 2010, 2011 en 2012 is variantie analyse uitgevoerd. Perceel was hierbij de blokfactor met 6 niveaus en de jaarlijkse organische stofbepalingen waren herhaalde waarnemingen aan de 6 individuele percelen per systeem (dus 12 in totaal). Het systeem effect op het organische stofgehalte werd getoetst op dit individuele perceelsniveau (ie ook paragraaf de beschrijving van de overige statistiek in paragraaf 2.3.1). Daarnaast was de vraag of er in de loop van de tijd verschil in organische stofgehalte gaat optreden tussen beide systemen. Daarom is niet alleen een ANOVA uitgevoerd over de jaren 1988-2016, maar ook over afzonderlijke perioden binnen de jaren 1988 tot en met 2016.

2.2.3.2 Chemische bodemvruchtbaarheid

De jaarlijkse chemische bodemvruchtbaarheidsanalyses zijn gedaan door Eurofins Agro (voorheen BLGG AgroXpertus). Na de oogst in november worden per perceel 30 steken genomen van de laag 0-30 cm. De monsters zijn goed gemengd en een submonster wordt ingestuurd naar Eurofins Agro. Hier zijn de monsters geanalyseerd op organisch stof percentage, N-totaal, C/N verhouding, K-bodemvoorraad, S-totaal en CEC(niet in 2011 en 2012) (allen met NIRS), P-CaCl₂, K-CaCl₂, Na-CaCl₂, Mg-CaCl₂, pH-KCl, Pw, K-getal, en P-Al. Het organische stofgehalte is vanaf 2013 ook met de gloeiverliesmethode bepaald. Voor enkele parameters zijn streefwaarden beschikbaar vanuit de bemestingsadviezen (www.handboekbodemenbemesting.nl): Het streeftraject voor Pw is 30-45 mg P₂O₅/l grond, voor het K-getal 11-17, voor MgO 75-109 mg/kg grond en voor de pH-KCl 5,5-5,8.

2.2.3.3 Nematoden

Behalve in 2011 zijn jaarlijks in januari of februari de monsters voor analyse op plantparasitaire aaltjes genomen. Met een 13 mm grondboor zijn, verdeeld over het perceel, 35 steken (bouwvoor diep, circa 25 cm) genomen. Per perceel is op deze manier circa 1,5 liter grond verzameld. Van de grondmonsters is een submonster van 100 ml genomen waarvan de samenstelling van de (niet cystevormende) aaltjesbesmetting bepaald is in het laboratorium van Praktijkonderzoek AGV in Lelystad. Het 100 ml grondmonster is over een 180 µm zeef gespoeld. De nematoden in de opgevangen suspensie (<180 µm) zijn vervolgens opgespoeld met een Oosterbrink trechter (spoelfractie). De op de zeef achtergebleven grond en organisch materiaal (> 180 µm) is vier weken geïncubeerd bij 20°C om aanwezige eieren af te laten rijpen en de aaltjes uit de wortels te laten komen (incubatiefractie). Per fractie is in 2 x 10 ml suspensie het aantal nematoden geteld. Per monster is een determinatie tot op soort uitgevoerd voor de families *Meloidogynae*, *Pratylenchidae* en *Trichodoridae*.

Aan een tweede submonster van 500 ml is de besmetting van aardappel- en bietencysteaaaltjes bepaald. De cysten zijn met de Sienhorst-spoelkan opgespoeld en opgevangen op een 210 µm zeef. Het aantal cysten is geteld en vervolgens zijn de cysten gecrushed en is de inhoud, het aantal levende en dode eieren, bepaald.

In Tabel 3 zijn, voor zover bekend, de schadedrempels voor de belangrijkste aaltjessoorten weergegeven. De "schadedrempel" is de aaltjesdichtheid waarbij de eerste schade (opbrengstderving) in het gewas optreedt. De mate van schade die kan ontstaan is echter niet alleen afhankelijk van de dichtheid van de aaltjesbesmetting. Ook factoren als vocht, pH, organisch stofgehalte, aanwezigheid van andere pathogenen en ook ras hebben invloed op de uiteindelijke schade die ontstaat. Exacte schadedrempels per aaltjessoort en gewas zijn daarom niet te geven. In Tabel 3 is weergegeven vanaf welk besmettingsniveau de eerste schade kan ontstaan en tot welk niveau het opbrengstverlies (schadepcentage) kan oplopen. Ook de schadepcentage zijn niet absoluut maar geven een richting aan.

Voor de bepaling van aaltjesgemeenschappen zie Visser et al. (2014) en Quist et al. (2015)

Tabel 3 Schadedrempels (1 (indicatief, n/100 ml grond) voor de belangrijkste plantparasitaire aaltjessoorten en de maximale opbrengstverliezen (2 (schadepercents) die kunnen ontstaan bij het overschrijden van de schadedrempels

Gewas	Globodera pallida/rostochiensis	Heterodera betae	Meloidogyne hapla	Meloidogyne chitwoodi/fallax	Pratylenchus penetrans	Paratrichodorus pachydermus	Trichodorus similis
Aardappel	200 ¹ (70) ²	niet schadelijk	100 (30-50%)	10 (75-100%)	200 (30-50%)	10 (20)	10 (20%)
Conservenerwt	niet schadelijk	75 (>50%)	100 (30-50%)	10 (30-50%)	100 (15-30%)	10 (15-35%)	10 (15-35%)
Prei (geplant)	niet schadelijk	niet schadelijk	niet schadelijk	niet schadelijk	>1000 (10%)	10 (15-35%)	10 (15-35%)
Zomergerst	niet schadelijk	niet schadelijk	niet schadelijk	? (<15%)	niet schadelijk	? (<15%)	? (<15%)
Suikerbiet	niet schadelijk	75 (>50%)	100 (30-50%)	500 (10%)	niet schadelijk	150 (20%)	10 (10%)
Peen (B)	niet schadelijk	niet schadelijk	10 (100%)	10 (100%)	10 (20-40%)	50 (100%)	50 (100%)
Snijmais	niet schadelijk	niet schadelijk	niet schadelijk	? (0-15%)	? (15-35%)	? (15-35%)	1 (20%)

2.2.3.4 Overige bodemmetingen

Naast bovengenoemde metingen zijn een groot aantal bodemkwaliteitsmetingen uitgevoerd die reeds gepubliceerd zijn. Een serie bepalingen van diverse parameters van zowel chemische, fysische als biologische bodemkwaliteit is uitgevoerd in 2011 en 2012 (Visser et al., 2014) op de meetpercelen van elk systeem (percelen 18.1, 18.2, 27.1 en 27.2) als start van de nieuwe fase in het project "Bodemkwaliteit op zand". Het NIOO heeft in 2013 een serie bepalingen gedaan van diverse parameters van zowel chemische, fysische als biologische bodemkwaliteit in aardappel, conservenerwt, prei, zomergerst en maïs (Schrama et al., 2018). Chemische en fysische metingen van bodemkwaliteit zijn in 2016 uitgevoerd door Arjan Vervoort in het kader van zijn BSc-thesis (Vervoort, 2016). Nematodengemeenschappen zijn bepaald in 2013 door Casper Quist (Quist et al., 2015).

2.2.4 Stikstofbodembalans

Excellfile "Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016 Gangbaar.xls"

- OVERZICHT kolommen AI-BF
- OVERZICHT COMPOST kolommen O-T, Y-Z
- GEWAS kolommen AR-AX en BA-BE
- MEST

2.2.4.1 Stikstofaanvoer

De posten in de stikstofaanvoer voor bepaling van het bodemoverschot zijn de aanvoer van stikstof met organische mest en kunstmest, depositie, zaaizaad en plantgoed en stikstofbinding door vlinderbloemigen (zie ook Bijlage 7).

Van de aangevoerde organische mest is het stikstofgehalte gemeten. Vervolgens is de stikstofaanvoer berekend door de mestgift per ha te vermenigvuldigen met het gemeten stikstofgehalte. Ook is de aanvoer van (eerstejaars) werkzame stikstof uit organische mest en kunstmest berekend. De hoeveelheid hiervan is berekend op basis van werkingscoëfficiënten voor de minerale en organische stikstoffractie in de mest (www.handboekbodemenbemesting.nl).

Voor de stikstof in zaaizaad en pootgoed is een forfaitaire waarde van 5 kg/ha gebruikt. De depositie is afkomstig uit metingen van RIVM voor Zuidoost Nederland en is vastgesteld op 25 kg/ha (geodata.rivm.nl/gcn).

Er is zo goed mogelijk geprobeerd een schatting te maken van de stikstofbinding door grasklaver. Dit wordt bemoeilijkt doordat de gewasgroei van grasklaver maar in enkele gevallen is bepaald. Wanneer er helemaal geen opbrengstschatting is gemaakt, wordt er gerekend met een gemiddelde productie van de wel bekende grasklaver opbrengsten. Aangenomen is dat het aandeel klaver 15% is in het najaar en 40% in het voorjaar. Verder is aangenomen dat de verhouding tussen het droge stof-aandeel van klaver in een oogst en het aandeel van klaver in een bestand 0,82 bedraagt (klaver% in droge stof oogst/klaver% in bestand = 0,82; Schils et al., 2000) en de biologische stikstofbinding per ton klaver-droge stof 45 kg stikstof bedraagt (Elgersma & Hassink, 1997; Schils, 2002). Tenslotte is er vanuit gegaan dat het achterlaten van de (deels verterende) najaarssnede geen invloed heeft op de stikstofbinding door de voorjaarsnede. Daarmee komt de stikstofbinding uit op 12 kg stikstof per ton droge stof van gras-klaver.

Stikstofbinding in conservenerwt is berekend op basis van de stikstofopname in de droge korrel x 1,17 (Baddeley et al. 2014). Hierbij is aangenomen dat alle stikstof in de conservenerwt biologisch gebonden is. Dit geeft waarschijnlijk een overschatting van de stikstofbinding omdat ook bemest wordt en er minerale stikstof in de bodem aanwezig is. Daarnaast is een aandachtspunt dat deze bepaling gebaseerd is op droge erwten met een vochtpercentage van 14%, terwijl in deze proef conservenerwten geteeld zijn met een vochtpercentage van 75-80%.

Naast de totale stikstofaanvoer voor berekening van het bodemoverschot wordt ook de werkzame stikstofaanvoer met meststoffen berekend om deze te vergelijken met de gebruiksnorm voor werkzame stikstof. Hiervoor wordt een vergelijk gemaakt tussen de wettelijke aanvoer berekend met de forfaitaire werkingscoëfficiënten zoals vastgesteld in de mestwetgeving (www.rvo.nl) en de landbouwkundige aanvoer op basis van werkingscoëfficiënten voor de minerale en organische stikstoffractie in de mest (www.handboekbodemenbemesting.nl).

De correctie voor meerjarige werking van organische mest, gewasresten en groenbemesters wordt uitgelegd in paragraaf 2.2.4.5.

2.2.4.2 Stikstofafvoer

De posten in de stikstofafvoer voor bepaling van het bodemoverschot zijn de afvoer van stikstof met het geoogste product en het ammoniakverlies uit de toegediende kunstmest en organische mest. Van de geoogste producten is het stikstofgehalte bepaald en is de stikstofafvoer berekend door de bruto opbrengst te vermenigvuldigen met het stikstofgehalte. Wanneer het stikstofgehalte niet is bepaald is het gemiddelde van de jaren waarin deze wel is bepaald gehanteerd.

Het ammoniak-N verlies uit meststoffen wordt becijferd op 0,9% van de totale kunstmest stikstofgift en op 22% en 2% van de ammonium-N die in de vorm van, respectievelijk, ingewerkte en geïnjecteerde mest is toegediend (Velthof et al., 2009). Ammoniakverlies uit de gegroeide gewassen is niet meegenomen in de berekeningen.

2.2.4.3 Stikstofbodemoverschot

Het stikstofbodemoverschot wordt gedefinieerd als het verschil tussen aangevoerde totale stikstof met organische mest en kunstmest, depositie, zaaizaad en plantgoed en stikstofbinding door vlinderbloemigen zoals berekend in paragraaf 2.2.4.1, en de stikstof die wordt afgevoerd in de vorm

van geogoste producten en ammoniak zoals berekend in paragraaf 2.2.4.2. In Bijlage 7 is een voorbeeldberekening opgenomen.

De streefwaarde voor het stikstofbodemoverschot is afgeleid van de nitraatnorm (50 mg/l): bij een neerslagoverschot van 322 mm en een uitspoelfractie van 75% voor droge zandgronden zoals in het zuidelijk zandgebied, is er een toelaatbaar stikstofbodemoverschot van circa 50 kg/ha (Schröder et al., 2015; Fraters et al., 2012).

2.2.4.4 Stikstofefficiëntie

Om de stikstofefficiëntie van het gewas te bepalen ten opzichte van de aangevoerde stikstof wordt de stikstofinhoud van het marktbaar gewas gedeeld door de stikstofaanvoer van buitenaf (dierlijke mest, kunstmest, depositie, zaaizaad/plantgoed en stikstofbinding, zie ook paragraaf 2.2.4.1).

2.2.4.5 Mineralisatie van organische mest, gewasresten en groenbemesters

In de berekening van het bodemoverschot wordt aan de aanvoerkant geen rekening gehouden met mineralisatie uit organische stof. Dat komt, omdat is uitgegaan van een evenwichtssituatie. Om de mineralisatie in stand te houden moet er jaarlijks worden geïnvesteerd in nieuwe organische stof via mest en gewasresten. In geval van evenwicht is de hoeveelheid stikstof die in jaar *n* mineraliseert uit in voorgaande jaren toegediende mest, gewasresten en groenbemesters gemiddeld over een aantal jaren gelijk aan de toegediende hoeveelheid organische stikstof in mest en de opgenomen stikstof in gewasresten en groenbemesters. De mineralisatie en investering vallen dan tegen elkaar weg (zie ook Tabel 4, cursief gedrukte kruisposten).

In hoeverre er sprake is van evenwicht in de BKZ-periode en er hierbij verschillen zijn tussen de systemen, hebben we proberen na te gaan aan de hand van modelberekeningen met het mineralisatiemodel Minip (Janssen, 1984). Met dit model wordt de mineralisatie van in voorgaande jaren toegediend organisch materiaal berekend. Het model maakt gebruik van de volgende inputdata: N-org, C/N verhouding, toedieningstijdstip, en de initiële leeftijd (factor die in relatie staat tot de humificatiecoëfficiënt). Met deze gegevens kan de mineralisatie van mestgiften uit het verleden voor ieder jaar worden berekend. Omdat de volledige mineralisatie van organische mest een aantal jaar in beslag neemt zijn alle bemestingsgegevens van beide systemen vanaf 2008 op een rij gezet. Voor runderdrijfmest is dit vanaf 2005 gedaan omdat rundermest een hogere humificatiecoëfficiënt heeft en de mineralisatie van de organische fractie over een langere periode een aanzienlijke bijdrage aan de beschikbare minerale stikstof heeft.

Analoog aan organische mest is ook voor gewasresten en groenbemesters een dergelijke berekening uitgevoerd. Op basis van de geregistreerde hoeveelheid gewasresten, de massa van de groenbemesters, de geschatte hoeveelheid wortelresten van beide en de stikstofinhoud van beide, is berekend hoeveel stikstof er in de gewasresten en groenbemesters aanwezig was en hoeveel daaruit in de jaren erop mineraliseert. Ook voor de gewasresten en de groenbemesters zijn gegevens gebruikt vanaf 2008.

Om een inschatting te geven van hoever het systeem nog van het eerder genoemde evenwicht vandaan is, wordt het overschot opnieuw uitgerekend, rekening houdend met de mineralisatie. De termen die dan het overschot bepalen zijn weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4 *Stikstofaanvoer en –afvoer termen, rekening houdend met mineralisatie.*

Stikstofaanvoer	Stikstofafvoer
N organische mest	N gewas
N kunstmest	N emissie
N depositie	
N zaaizaad/plantgoed	
N stikstofbinding	
<i>N mineralisatie gewasresten</i>	<i>N-opname gewasresten</i>
<i>N mineralisatie groenbemester</i>	<i>N-opname groenbemester</i>
<i>N mineralisatie organische mest</i>	<i>N organisch organische mest</i>

2.2.5 N-min voorraad bodem

Excellfile "Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016 Gangbaar.xls"

- OVERZICHT kolommen BH-BJ
- BODEM kolommen E-L

N-min is elk jaar bepaald in het voorjaar (0-30 cm) (niet in 2011), direct na oogst (0-30 en 30-60 cm, afhankelijk van de oogstdatum van het gewas tussen eind juni en december) en begin november (0-30, 30-60 en 60-90 cm) in alle ploegpercelen. Per perceel worden 30 steken genomen. De monsters worden goed gemengd en een submonster wordt ingestuurd naar Eurofins Agro (voorheen BLGG AgroXpertus) voor analyse op NO_3^- en NH_4^+ . Een vuistregel voor een streefwaarde voor de N-min na oogst (0-60 cm) is 30-40 kg/ha (Smit et al., 2005). Hoger betekent een te ruime bemesting, lager betekent een mogelijk risico op een stikstoftekort. Een streefwaarde voor de N-min najaar (0-90 cm) is 45 kg/ha (Smit et al., 2005; de Buck et al., 2000). Uit een analyse van de resultaten vanuit de periode Telen met toekomst (Smit et al., 2005) bleek de streefwaarde voor de locatie Vredepeel verlaagd te moeten worden naar 30 kg/ha om het risico op overschrijding van de nitraatnorm te beperken. Beide streefwaarden worden hier getoetst.

2.2.6 Nitraatconcentraties in het grondwater

Excellfile "Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016 Gangbaar.xls"

- OVERZICHT kolommen BL-BM
- NO_3 GRONDWATER kolommen E-F

Nitraatconcentraties in het bovenste grondwater zijn bepaald op een diepte van ca. 2 m onder het oppervlak volgens de procedures die ook zijn gevolgd in Hack-ten Broeke et al. (1993) en Smit et al. (2005). Er is slechts op één diepte een buis geplaatst wat als nadeel heeft dat niet telkens dezelfde laag in het bovenste water wordt bemonsterd. In elk perceel (6) van elk systeem (2) zijn drie grondwaterbuizen geplaatst met 2,5 m lengte, een diameter van 4 cm en een geperforeerde zone van ca 50 cm. Elke buis is jaarlijks gedurende de periode half november-half februari maandelijks bemonsterd. De metingen omvatten de periode november 2012 tot februari 2017. Er zijn geen nitraatconcentraties gemeten in de winter na het teeltseizoen 2011. De grondwaterbuizen worden elk najaar na de oogst in november geplaatst en weer verwijderd voor de start van het volgende groeiseizoen na de laatste meting in februari. De drie buizen per perceel zijn diagonaal over het perceel geplaatst en in alle percelen jaarlijks op dezelfde plaats. Elke buis wordt voor bemonstering eerst geleegd en 24 uur later, wanneer de buis weer gevuld is met grondwater, wordt een monster genomen. Vanaf najaar 2015 is op dat moment in elke buis ook de grondwaterstand gemeten. Het watermonster wordt gekoeld tot 5°C en geanalyseerd op nitraat in het Chemisch Biologisch Bodem Laboratorium in Wageningen. De resultaten zijn vergeleken met de streefwaarde van 50 mg nitraat/l vanuit de nitraatrichtlijn. Drainbuizen zijn niet bemonsterd. Het is niet bekend welk deel van de afvoer via de drains is gelopen.

2.2.7 Stikstofuitspoelfractie en toegepaste correcties

Excellfile "Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016 Gangbaar.xls"

- OVERZICHT kolommen BO-CP
- NEERSLAGOVERSCHOT
- GRONDWATERSTAND

2.2.7.1 Stikstofuitspoelfractie

Door vergelijking van het stikstofbodemoverschot met de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater is berekend welk deel van het stikstofbodemoverschot is uitgespoeld naar het grondwater: de uitspoelfractie. Door vermenigvuldigen van de gemiddelde gemeten nitraatconcentratie in het bovenste grondwater (mg N/l) met het neerslagoverschot van het afgelopen jaar (mm) is berekend hoeveel kg stikstof per ha er is uitgespoeld, de nitraatvracht. Deze is gedeeld door het berekende stikstofbodemoverschot. De uitkomst hiervan is de uitspoelfractie. De berekende stikstofvracht wordt vergeleken met de stikstofuitspoelfracties zoals berekend door het RIVM in het LMM. Deze bedraagt 0,75 voor droge zandgronden (Fraters et al., 2012).

Gemiddelde uitspoelfracties per systeem, jaar, systeem per jaar, etc. zijn berekend door eerst de individuele nitraatvrachten en bodemoverschotten te middelen, en vervolgens pas deze gemiddeldes op elkaar te delen.

Er zijn diverse correcties uitgevoerd op de berekening van de stikstofuitspoelfractie om te corrigeren voor verschillende omstandigheden:

- Correcties voor niet-evenwicht situaties of wel verschillen in mineralisatie (zie ook paragraaf 2.2.4.5)
- Correcties voor verschillen in verdamping en neerslagoverschot
- Correcties voor verschillen in grondwaterstand

De correcties worden in de volgende paragrafen verder toegelicht. De correcties worden zowel apart als gecombineerd doorgerekend.

2.2.7.2 Correcties voor niet-evenwicht situaties

In paragraaf 2.2.4.5 is beschreven hoe met behulp van aanvullende mineralisatieberekeningen wordt getoetst in hoeverre er al dan niet sprake is van een evenwichtssituatie tussen mineralisatie uit eerder toegediend organisch materiaal en aanvoer van vers organische materiaal. Op basis van het berekende verschil tussen berekende N-mineralisatie en aanvoer van organische N is het stikstofbodemoverschot gecorrigeerd aan de hand waarvan een gecorrigeerde uitspoelfractie berekend wordt.

2.2.7.3 Correcties voor verschillen in verdamping

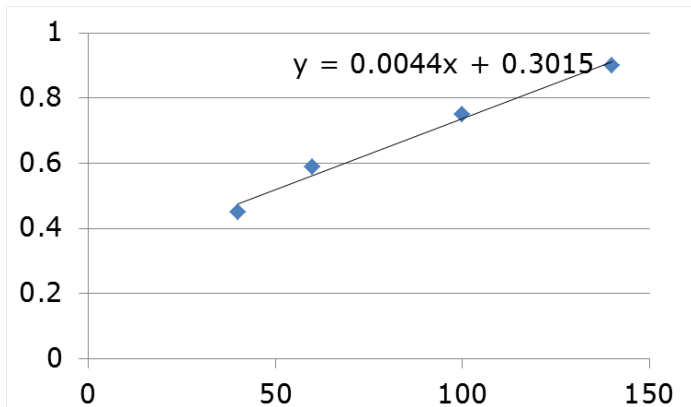
Zoals in paragraaf 2.1.3.2 aangegeven heeft de gewasproductie en verdamping invloed op de nitraatuitspoeling. Om de nitraatconcentratie te corrigeren voor verschillen in verdamping is de verdamping van LAAG gecorrigeerd op het verschil in gewasproductie met STANDAARD. De verdamping is per systeem per gewas berekend op basis van de referentiegewasverdamping (van KNMI-station Volkel) vermenigvuldigd met gewasafhankelijke correctiefactoren (Feddes, 1987). De neerslag is dagelijks gemeten met een regenmeter van het DACOM weerstation op de proeflocatie Vredepeel.

Vervolgens is de verdamping van STANDAARD op 100% gesteld en is de verdamping van LAAG evenredig aangepast op basis van de droge stofproductie van het betreffende gewas met eventuele groenbemester. Bij deze correctie wordt uitgegaan van het principe dat de verdamping evenredig is aan de droge stofproductie en dat dus een lagere droge stofproductie leidt tot een lagere verdamping en daarmee een hoger neerslagoverschot (= neerslag – verdamping). Daarnaast kan een hoger neerslagoverschot leiden tot een hogere grondwaterstand (waarvoor al gecorrigeerd wordt, zie volgende paragraaf 2.2.7.4) en meer vocht in de bodem waardoor de denitrificatie hoger kan zijn. De correctie moet daarom gezien worden als een worstcasebenadering.

2.2.7.4 Correcties voor verschillen in grondwaterstand

Omdat bekend is dat de grondwaterstand effect heeft op de hoeveelheid stikstofuitspoeling is tegelijkertijd met het nemen van een monster voor het bepalen van de nitraatconcentratie in de winter 2015-2016 en 2016-2017 de grondwaterstand onder maaiveld gemeten in elke meetbuis. Fraters et al. (2012) hebben een relatie afgeleid tussen de gemiddeld hoogste grondwaterstand en de uitspoelfractie (Figuur 4).

Deze relatie is alleen landelijk geldig. Bij gebrek aan meer informatie is deze relatie toch gebruikt om de stikstofuitspoelfracties te corrigeren naar een uitspoelfractie bij een grondwaterstand van 1 m onder maaiveld. Zoals uit de figuur af te lezen valt, verandert de uitspoelfractie 0,44% per cm grondwaterstandverandering. Voor de andere jaren wordt de gemiddelde grondwaterstand van bovenstaande periodes gebruikt bij gebrek aan gegevens. Dit zien we als acceptabele aanname omdat het vooral gaat om de verschillen tussen de systemen. De aanname is een worstcasescenario omdat de relatie in Fraters et al. (2012) eigenlijk gebaseerd is op de grondwatertrap. De hoogste grondwaterstand bij grondwatertrap V is kleiner dan 40 cm onder maaiveld in plaats van de in de figuur gehanteerde 40 cm en van GT VIII groter dan 140 cm onder maaiveld in plaats van de gehanteerde 140 cm. De richtingscoëfficiënt van de lijn in de grafiek is de hoogst mogelijke binnen deze GT aanduiding.



Figuur 4 Gehanteerde relatie grondwaterstand en uitspoelfractie (gebaseerd op Fraters et al., 2012)

2.2.8 Lachgasemissies

In de periode november 2012 tot december 2013 en november 2015 tot december 2016 zijn broeikasgasmetingen (lachgas, methaan, CO₂) en ammoniak uitgevoerd op de percelen 27.1b (STANDAARD) en 27.2a (LAAG). In 2015/2016 is er ook gemeten op perceel 28.1a (STANDAARD) en 28.2b (LAAG). In deze rapportage wordt alleen ingegaan op de lachgasemissies (N₂O). In 2012-2013 stond er gras en klaver op perceel 27. In 2015/2016 stond er zomergerst en maïs op perceel 27, en grasklaver en prei op perceel 28.

Lachgas is maandelijks gemeten en direct na teeltactiviteiten waar een hoge emissie verwacht kan worden samen met CO₂, methaan, ammoniak en waterdamp. Op elk meetmoment is op vier plaatsen per perceel gemeten met vier herhalingen per plaats. De hoeveelheid gassen zijn gemeten in afgesloten emmers van 10 of 67 liter die een halfuur op ringen geplaatst zijn met een foto-akoestische infrarood gasmeter, Innova 1412A-5, van LumaSense Technologies. Berekeningen zijn gemaakt van de lachgasemissies per dag en cumulatief. Tevens is de emissiefactor berekend wanneer de emissie positief is: de stikstof in de gemeten lachgasemissie gedeeld door de aangevoerde stikstof in dat jaar voor het betreffende perceel. Een uitgebreide beschrijving van de metingen en resultaten is te vinden in Booij et al. (2018). Voor de lachgasemissies zijn geen streefwaarden vastgesteld.

2.2.9 Fosfaat- en kalibalans

Excellfile "Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016 Gangbaar.xls"

- OVERZICHT kolommen CR-CX
- GEWAS kolommen AT-AU
- MEST kolommen AY-AZ, BG-BI, BK-BL

De fosfaat- en kalibalans zijn berekend op basis van de aanvoer van meststoffen met gemeten organische mestgehaltenes, de gemeten gewasopbrengsten (vers) vermenigvuldigd met de in het verleden bepaalde fosfaat- en kaligehalten in het bedrijfssystemenonderzoek uit de periode 1993-2004. In de periode van deze rapportage (2011-2016) zijn geen fosfaat- en kaligehalten in de gewassen bepaald en daarom is teruggevallen op eerdere waarden die meer representatief geacht worden voor de locatie dan de forfaitaire waarden uit het Handboek Bodem en Bemesting. De streefwaarde voor de fosfaatbalans is evenwichtsbemesting vanuit het mestbeleid (www.rvo.nl), dus een fosfaatoverschot van 0 kg/ha (marge -5 – 5 kg/ha). De streefwaarde voor de kalibalans is minder dan 40 kg/ha bij handhaven van de kalitoestand (Wijnands & Kroonen, 2002b).

2.2.10 Overzicht maatstaven en streefwaarden

In bovenstaande paragrafen is bij een deel van de metingen een streefwaarde of streeftrajecten geformuleerd waarmee de meting vergeleken wordt. In Tabel 5 is een overzicht opgenomen.

Tabel 5 *Overzicht maatstaven en streefwaarden*

Maatstaf	Streefwaarde	Eenheid	Referentie
EOS-aanvoer	2000	kg EOS/ha	www.handboekbodemenbemesting.nl
Opbrengsten	100%	%	Gewasspecifiek zie Tabel 2
<i>Bodem</i>			
Pw	30 – 45	mg P ₂ O ₅ /l grond	www.handboekbodemenbemesting.nl
K-getal	10 – 17	-	www.handboekbodemenbemesting.nl
pH	5,5 – 5,8	-	www.handboekbodemenbemesting.nl
<i>Stikstofstromen</i>			
Stikstofbodemoverschot	<50	kg/ha	Schröder et al., 2015; Fraters et al., 2012
Werkzame stikstofaanvoer met mest	168	kg/ha	www.rvo.nl
N-min na oogst (0-60 cm)	30 – 40	kg//ha	Smit et al., 2005
N-min najaar (0-90 cm)	30 – 45	kg/ha	Smit et al., 2005; de Buck et al., 2000
Nitraatconcentratie in grondwater	50	mg NO ₃ ⁻ /l	EU-nitraatrichtlijn
<i>Fosfaat- en kali balans</i>			
Fosfaatoverschot	-5 – 5	kg/ha	www.rvo.nl
Kalioverschot	<40	kg/ha	Wijnands & Kroonen, 2002b

2.2.11 Compostplots

Excellfile "Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016 Gangbaar.xls"

- OVERZICHT COMPOST
- GEWAS kolommen K-L, P-Q, AM-AO
- MEST kolommen BJ-BP, BR-BT
- NO₃ GRONDWATER E-F

In paragraaf 2.1.2 is beschreven dat op 2 percelen van elk systeem 4 compostplots zijn aangelegd. De opgebrachte compost is steeds geanalyseerd op totale stikstof, fosfaat, kali en organische stof. Op de compostplots zijn van 2013 tot 2016 opbrengstmetingen gedaan (2013 alleen percelen 27.1 en 27.2) volgens de methode zoals beschreven in paragraaf 2.2.2. Er zijn geen gewasgehalten bepaald en ook kwaliteit is niet bepaald. Ook zijn van 2013 tot 2016 uitspoelingsmetingen uitgevoerd op percelen 27.1 en 27.2 zoals beschreven in paragraaf 2.2.6. Andere metingen (zoals bodemvruchtbaarheid, N-min en gewasinhoud) zijn niet uitgevoerd. In paragraaf 3.11 worden de resultaten van de compostplots gegeven in vergelijking met de plots zonder compost op hetzelfde perceel voor EOS aanvoer, vers opbrengst van het hoofdproduct, aanvoer van stikstof, fosfaat en kali en nitraatconcentraties in het grondwater.

2.3 Statistische analyse van de resultaten

Excellfile "Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016 Gangbaar.xls"

- VARIANTIEANALYSE

2.3.1 Statistische opzet en toetsingsprocedures

De geanalyseerde data zijn gebaseerd op 6 percelen met binnen ieder perceel twee plots: één plot met systeem LAAG en één met systeem STANDAARD. De jaarlijkse metingen van opbrengst, organische stofgehalte et cetera in 2011-2016 zijn herhaalde waarnemingen aan de 2 plots binnen ieder perceel. Zie ook Figuur 3. Het nitraatgehalte, gemeten op één tijdstip, kan worden geanalyseerd als een gewarde blokkenproef. Het nitraatgehalte gemeten in meerdere jaren kan worden geanalyseerd als een split-plot blokkenproef, waarbij gewas en plot niet orthogonaal zijn. Daarom is in dat geval een gemengd model gebruikt dat is geanalyseerd met het REML directive binnen Genstat. Zie paragraaf 2.3.2.

Bij alle statistische toetsen op significante verschillen is een onbetrouwbaarheid van 0,05 aangehouden. De gepresenteerde Least Significant Differences (Lsd) zijn geschat met Students t-verdeling. Voor paarsgewijze toetsen is Students t-toets gebruikt. De resultaten van de paarsgewijze t-toets worden in tabellen aangegeven met letters. Gemiddelden zonder gemeenschappelijke letter zijn significant verschillend ($p < 0,05$). De overschrijdingskans van de F-toets, de F probability, wordt aangegeven met F pr.

2.3.2 Variantie analyse

Op de parameters opgenomen in Bijlage 8 zijn variantieanalyses uitgevoerd met REML. Het systeemeffect wordt in het plot binnen perceel stratum getoetst. Het jaar- en gewaseffect en de interactie tussen systeem en jaar en tussen gewas en jaar worden in het jaar binnen plot binnen perceel stratum getoetst. Het meest uitgebreide gemende model luidt dan:

$$Y_{ijk} = \mu + PERCEEL_i + PLOT_{ij} + JAAR_k + GEWAS.JAAR_{gk} + \beta_s + \gamma_g + \delta_k + \theta_{sg} + \vartheta_{sk} + E_{ijk}$$

Y_{ijk}	= gemeten respons op Plot j van Perceel i in Jaar k
μ	= algemeen gemiddelde
$PERCEEL_i$	= random bijdrage Perceel i ; $i = 16, 17, 18, 26, 27, 28$
$PLOT_{ij}$	= random bijdrage van Plot j binnen Perceel i ; $j = 1, 2$
$JAAR_k$	= random bijdrage van Jaar k
$GEWAS.JAAR_{gk}$	= random bijdrage van Gewas g in Jaar k
E_{ijk}	= bijdrage waarneming op Perceel i , Plot j en Jaar k
β_s	= effect systeem s ; $s = \text{STANDAARD, LAAG}$
γ_g	= effect gewas g ; $g = \text{AA, CE, PR, ZG, PN(2016), SB(2011-2015), SM}$
δ_k	= effect jaar k ; $k = 2011 \dots 2016$
θ_{sg}	= interactie effect systeem s , gewas g
ϑ_{sk}	= interactie effect systeem s , jaar k

Bij de variantie analyse op de resultaten van de compostplots is aangenomen dat binnen ieder perceel de plots met en zonder aanvoer van organische stof volledig geward waren aangelegd. Dit is in werkelijkheid niet het geval (zie paragraaf 2.1.2).

2.3.1 Regressieanalyse

Op het stikstofbodemoverschot, wel en niet gecorrigeerd, zijn regressieanalyses uitgevoerd met als verklarende variabele de hoeveelheid N-min gemeten na de oogst of in het najaar, de nitraatconcentratie in het grondwater en de nitraatvracht wel of niet gecorrigeerd. Op de nitraatconcentratie in het grondwater en de nitraatvracht, wel en niet gecorrigeerd, zijn regressie analyses uitgevoerd met als verklarende variabele de hoeveelheid N-min gemeten na de oogst of in het najaar (Tabel 6). De regressieanalyses zijn zowel voor de individuele data als voor de jaargemiddelden van de systemen uitgevoerd. Bij regressieanalyse op de jaargemiddelden per systeem is systeem steeds als invloedfactor opgenomen naast de verklarende variabele. De interactie tussen systeem en verklarende variabele is alleen opgenomen wanneer significant. Verder zijn in de figuren de jaargemiddelden en regressielijnen per systeem aangegeven met verschillende kleuren en zijn de jaargemiddelden voorzien met een label voor het jaar. De regressieanalyses op jaargemiddelden zijn uitgevoerd omdat hierbij gemiddeld wordt over de metingen aan de 6 gewassen per jaar. Daardoor is het mogelijk om te toetsen op systeemeffect maar ook op aanwezigheid van een trend en interactie van trend en systeem.

Tabel 6 Parameters waarmee regressieanalyses zijn uitgevoerd.

Stikstofbodemoverschot (ongecorrigeerd en gecorrigeerd)	N-min na oogst en najaar
Stikstofbodemoverschot (ongecorrigeerd en gecorrigeerd)	NO3 concentratie grondwater
Stikstofbodemoverschot (ongecorrigeerd en gecorrigeerd)	NO3 vracht (ongecorrigeerd en gecorrigeerd)
NO3 concentratie grondwater	N-min na oogst en najaar
NO3 vracht (ongecorrigeerd en gecorrigeerd)	N-min na oogst en najaar

3 Resultaten

In de volgende paragrafen wordt verwezen naar de Excelfile : Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016 Gangbaar.xls", deze file is te vinden via: <https://doi.org/10.17026/dans-27s-zkxe>

3.1 Aanvoer effectieve organische stof

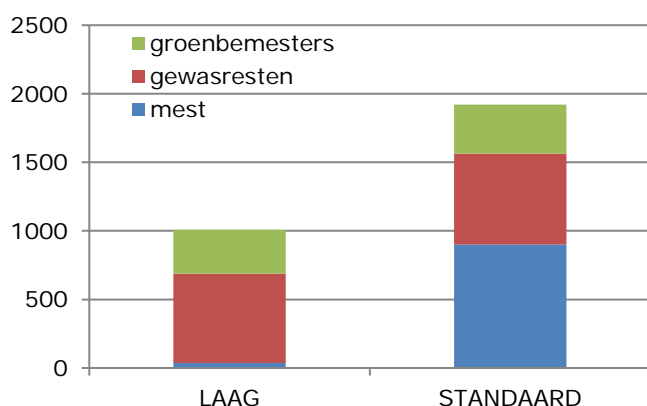
Excelfile "Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016 Gangbaar.xls"

- OVERZICHT kolommen E-H
- VARIANTIEANALYSE kolommen B-I
- GEWAS kolommen AY-AZ
- MEST kolom BA

Tussen de systemen STANDAARD en LAAG zijn er duidelijke niveau verschillen qua berekende aanvoer van effectieve organische stof (Tabel 7 en Figuur 5, $p < 0,001$). In de eerste jaren voldeed de EOS-aanvoer in STANDAARD nog niet altijd helemaal aan de streefwaarde (van ca. 2000 kg/ha), de laatste jaren werd deze wel (ruimschoots) gehaald, mede door een verschuiving van varkens- naar rundveedrijfmest. De EOS-aanvoer in LAAG bestaat vrijwel alleen uit aanvoer van organische stof uit gewasresten en groenbemesters. De EOS-aanvoer per jaar fluctueerde aanzienlijk door verschillen in productie van groenbemesters.

Tabel 7 Jaarlijkse berekende EOS-aanvoer (kg/ha/jaar) per systeem

Jaar	LAAG	STANDAARD
2011	879	1417
2012	1129	1812
2013	907	1773
2014	1056	2073
2015	918	2201
2016	1164	2243
Gemiddeld	1009	1920



Figuur 5 EOS-aanvoer (kg/ha) uitgesplitst naar bron, gemiddelde van 2011-2016, per systeem

3.2 Opbrengst en kwaliteit

Excellfile "Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016 Gangbaar.xls"

- OVERZICHT kolommen J-U
- VARIANTIEANALYSE kolommen J-U
- GEWAS kolommen E-L, P-Q, AB-AD, AM-AQ

3.2.1 Marktbaar opbrengst

In de opbrengst analyses is peen niet meegenomen, omdat dit gewas alleen in 2016 geteeld is. Peen heeft suikerbiet vervangen, dus de suikerbietgegevens zijn over de jaren 2011-2015.

Gemiddeld over alle jaren (2011-2016) wordt alleen bij de prei in STANDAARD en de suikerbiet en snijmais in beide systemen de streefopbrengst gehaald, in alle andere gevallen blijft de marktbaar opbrengst achter op de streefopbrengst (Tabel 8).

Een vergelijking tussen de systemen laat zien dat in LAAG voor alle gewassen behalve conservenerwt, een lagere marktbaar opbrengst gehaald wordt, geen van deze verschillen is echter significant. Het gewas prei in LAAG blijft het meest achter op STANDAARD. De opbrengst in LAAG blijft gemiddeld over de gewassen 5% achter op STANDAARD, dit verschil is niet significant.

Tabel 8 Gemiddelde en relatieve marktbaar opbrengsten van de gewassen per systeem en van de praktijkpercelen van het proefbedrijf in ton/ha over de jaren 2011-2016. Suikerbiet in ton suiker/ha, mais in ton droge stof/ha, conservenerwt gecorrigeerd naar TM120 en zomergerst gecorrigeerd naar 15% vocht.

	LAAG	STANDAARD	Praktijk	Streefwaarde	LAAG t.o.v. STANDAARD	Praktijk t.o.v. STANDAARD
Aardappel	46,0	49,4	64,7	60	93%	131%
Conservenerwt	5,1	5,1	6,6	6	102%	129%
Prei	34,2	39,6	53,4	35	87%	135%
Zomergerst	6,5	6,9	7,1	7	94%	103%
Suikerbiet ¹	16,3	16,4	15,8	16	99%	96%
Snijmais	15,8	16,4	17,7	16	96%	108%

¹ gemiddelde van 2011-2015

Gemiddeld blijven de STANDAARD opbrengsten 15% achter op de praktijkopbrengsten. De opbrengstverschillen zijn het grootst in aardappel en prei. Suikerbiet haalt als enige gewas in de systemen een hogere opbrengst dan in de praktijkpercelen.

De opbrengsten uitgesplitst per jaar staan in Tabel 9. Vanaf 2014 is de stikstofbemesting verlaagd. In Tabel 10 is de verhouding weergegeven tussen de gemiddelde opbrengst in de periode 2011-2013 en die in de periode 2014-2016. In LAAG is de opbrengst in 2014-2016 m.u.v. zomergerst hoger dan in 2011-2013. In STANDAARD is dat bij drie van de zes gewassen het geval. De aangepaste bemesting heeft in de afgelopen jaren overall niet geleid tot lagere producties. Ook de verhouding in opbrengst tussen STANDAARD en LAAG lijkt niet te veranderen vanaf 2014. Dit beeld is wel wisselend over de verschillende gewassen.

Tabel 9 Opbrengsten 2011-2016 per systeem per jaar in ton/ha. Suikerbiet in ton suiker/ha, mais in ton droge stof/ha, conservenerwt gecorrigeerd naar TM120 en zomergerst gecorrigeerd naar 15% vocht.

Gewas	LAAG						STANDAARD					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Aardappel	62,7	39,1	31,2	66,8	48,6	27,7	69,4	47,8	38,2	55,4	48,3	37,4
Conservenerwt	6,6	4,7	3,9	8,5	2,3	4,9	5,9	6,0	4,4	7,7	2,8	3,5
Prei	25,2	31,1	44,5	22,7	48,5	33,4	35,2	32,8	45,6	36,9	43,3	43,5
Zomergerst	6,8	7,1	6,5	8,2	5,0	5,5	6,8	8,0	7,2	7,7	5,9	6,1
Suikerbiet	15,7	15,0	16,7	16,3	17,8		15,5	15,2	16,4	16,4	18,6	
Snijmais	13,4	11,7	17,0	15,8	20,2	16,4	14,8	15,3	14,4	18,0	18,3	17,9

Tabel 10 Verhouding opbrengst LAAG en opbrengst STANDAARD in 2011-2013 en 2014-2016 en verhouding gemiddelde opbrengst in 2011-2013 en gemiddelde opbrengst in 2014-2016 in STANDAARD en LAAG.

	Verhouding opbrengst LAAG/STANDAARD		Verhouding gem opbrengst 2014-2016/2011-2013	
	2011-2013	2014-2016	LAAG	STAND
	Consumptieaardappel	0,86	1,01	1,08
Doperwt	0,93	1,12	1,03	0,86
Prei	0,89	0,85	1,04	1,09
Zomergerst	0,93	0,95	0,92	0,90
Suikerbiet	1,01	0,97	1,08	1,11
Snijmais	0,95	0,97	1,24	1,22

3.2.2 Droge stofproductie

De gemiddelde totale droge stofproductie bedraagt 12,1 ton in LAAG en 13,0 ton in STANDAARD ($p < 0,05$). De totale droge stofproductie bestaat uit het hoofdproduct, gewasresten en een eventueel geteelde groenbemester. De verschillen tussen STANDAARD en LAAG worden voornamelijk veroorzaakt door de droge stofproductie van het bijproduct (in LAAG bijna 10% lager dan STANDAARD, $p < 0,05$) en de groenbemester (in LAAG 21% lager dan STANDAARD, $p < 0,1$). Deze verschillen zijn significant. De droge stofproductie van het hoofdproduct is ruim 3% lager in LAAG, maar niet significant verschillend van STANDAARD. In de gemiddeldes van de droge stofproductie is de peen als gewas wel meegenomen (i.t.t. in paragraaf 3.2.1 Marktbaar opbrengst), omdat 2016 anders qua productie veel lager uit zou vallen, en dit de vergelijking bemoeilijkt.

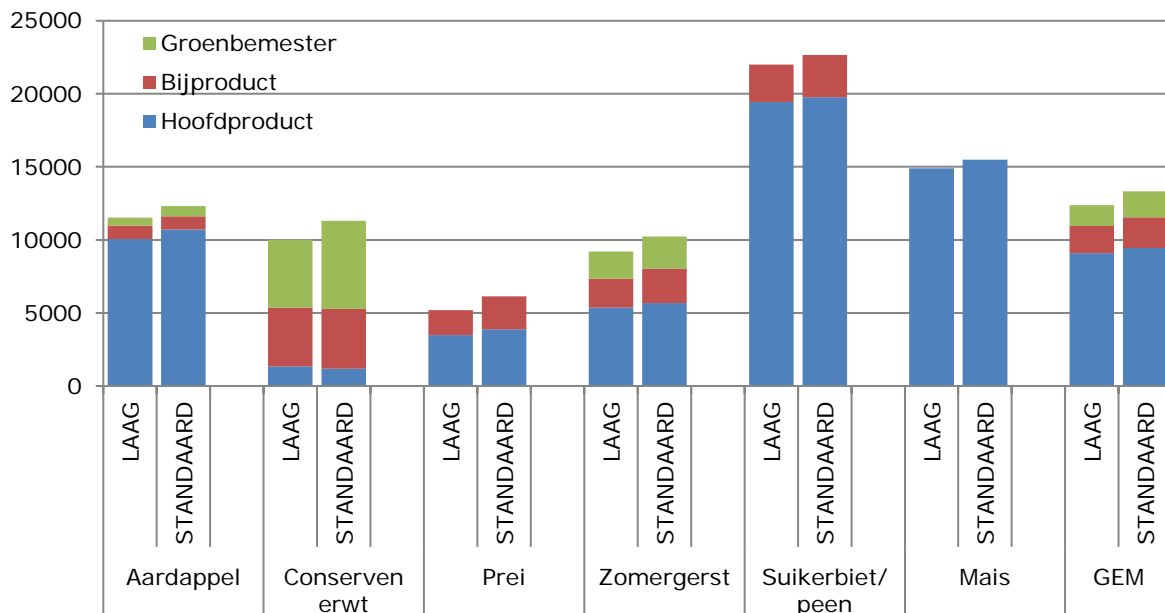
De droge stofopbrengsten per jaar per systeem zijn weergegeven in Tabel 11. Er blijkt geen duidelijke trend uit deze droge stofopbrengsten. De variatie tussen de jaren en systemen is groot. In alle jaren, behalve 2015 is de productie in LAAG lager dan in STANDAARD. Verschillen tussen de systemen per jaar zijn niet significant.

Het relatieve opbrengstverschil tussen STANDAARD en LAAG in de periode 2014-2016 is kleiner dan in de periode 2011-2013. De totale droge stofproductie is in STANDAARD in 2014-2016 lager dan in 2011-2013, terwijl in LAAG het omgekeerde het geval was.

Tabel 11 Totale droge stofproductie (hoofdproduct, bijproduct en evt. groenbemester) per systeem per jaar in ton/ha

	LAAG	STANDAARD
2011	11,9	13,2
2012	12,3	14,4
2013	11,9	12,4
2014	13,1	13,3
2015	13,1	12,8
2016	10,5	12,0
2011-2013	12,0	13,3
2014-2016	12,2	12,7
2011-2016	12,1	13,0

In Figuur 6 is de droge stofproductie uitgesplitst per gewas. Er zijn kleine verschillen in droge stofproductie van het hoofdproduct te zien tussen de systemen, voornamelijk bij de gewassen aardappel en snijmais. Voor geen enkel gewas is er een significant verschil tussen de systemen in droge stofproductie, zowel in totaal als voor hoofdproduct, bijproduct en groenbemester.



Figuur 6 Droge stofproductie per gewas per systeem, gemiddeld over de jaren 2011-2016, in kg/ha. STND=STANDAARD, GEM= gemiddeld.

3.2.3 Kwaliteit

Tabel 12 geeft de gemiddelde kwaliteit van de opbrengsten van STANDAARD en LAAG weer. Alle gewassen halen de streefkwaliteit, behalve de aardappel. Verschillen in kwaliteit van het gewas tussen de systemen wordt vooral gevonden in de aardappel. In beide aardappellrassen is de kwaliteit lager in LAAG. In de andere gewassen zijn er nauwelijks kwaliteitsverschillen tussen de systemen.

Tabel 12 Gemiddelde kwaliteit van de gewassen per systeem over de jaren 2011-2016. Voor streefwaarden zie ook paragraaf 2.2.2.

		Streefwaarde	LAAG	STANDAARD
Aardappel laat 2011 t/m 2015	onderwatergewicht	>425	378	390
Aardappel vroeg 2016	onderwatergewicht	>360	359	375
Conservenerwt	TM-getal	100-150	131	124
Zomergerst	hectolitergewicht	>60	68	69
	vochtpercentage	<16	14	14
Suikerbiet	suikerpercentage	>16,5	18	18
	winbaarheid (%)	>90	92	92
Peen 2016	tarrapercentage	<20	4	3
Snijmais	droge stofpercentage	>31	38	35

3.2.4 Financiële doorvertaling en waarde organische stof

De gemiddelde opbrengstverschillen en de daarbij behorende financiële verschillen tussen de systemen over de jaren 2011-2016 staan in Tabel 13. Alle financiële verschillen zijn positief ten gunste van de opbrengsten in STANDAARD, behalve voor de conservenerwt, omdat daar de gemiddelde marktbaar opbrengst in LAAG iets hoger is dan in STANDAARD. Het verschil is vooral groot voor prei door de relatief hoge prijs en hectare opbrengst. Het verschil is klein voor zomergerst, suikerbiet en snijmais, door de lagere prijzen en relatief kleine opbrengstverschillen. De aardappel zit hier tussenin. Het gemiddelde opbrengstverschil is € 428 per ha. Het gemiddelde verschil in effectieve organische stofaanvoer (EOS) is 911 kg/ha. Hieruit kan voor dit systeem een waarde €0,54 per kg EOS worden afgeleid. De variatie hierin tussen de gewassen is fors, van €-0,05 voor conservenerwt tot €2,26 voor prei. Naast het financiële verschil in opbrengsten is er ook een verschil in kosten van meststoffen inclusief toediening. Dit verschil is berekend op € 168/ha in het voordeel van STANDAARD.

Tabel 13 Opbrengstverschil en financieel opbrengstverschil tussen STANDAARD en LAAG, en de waarde van 1 kg EOS. Een positieve waarde impliceert een hogere opbrengst voor STANDAARD.

Gewas	Prijs (€/kg)	Opbrengst verschil (kg/ha)	Financieel verschil (€/ha)	Waarde 1 kg EOS (€/kg)
Aardappel	€ 0,13	3372	€ 438	€ 0,81
Conservenerwt	€ 0,38	-86	€ -33	€ -0,05
Prei	€ 0,37	5301	€ 1961	€ 2,26
Zomergerst	€ 0,18	440	€ 79	€ 0,08
Suikerbiet	€ 0,18	145	€ 26	€ 0,02
Snijmaïs	€ 0,14	694	€ 97	€ 0,09
Gemiddeld			€ 428	€ 0,54

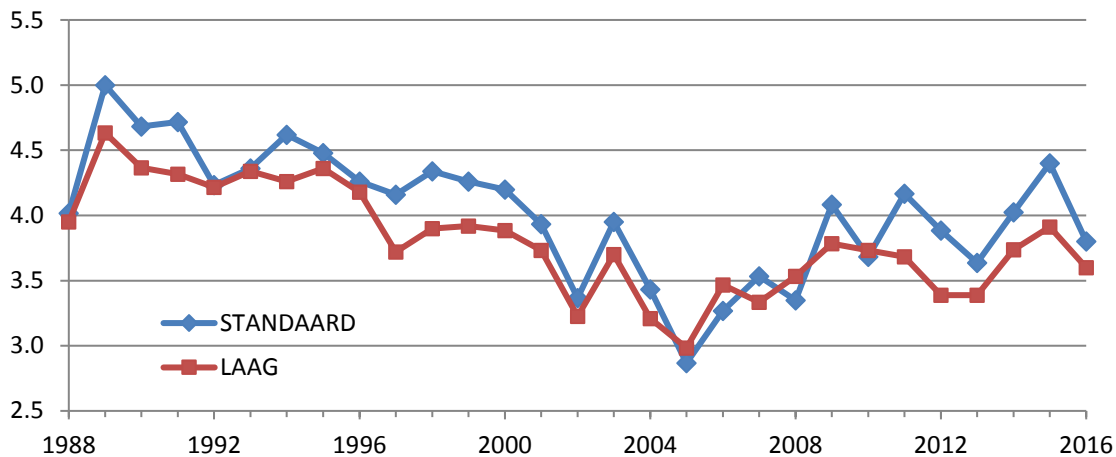
3.3 Bodemkwaliteit

Excellfile "Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016 Gangbaar.xls"

- OVERZICHT kolommen W-AG
- VARIANTIEANALYSE kolommen V-AQ
- BODEM kolommen M-AV
- NEMATODEN

3.3.1 Organische stofgehalte

Sinds 1988 zijn er jaarlijks organische stofmetingen gedaan op percelen uit de systemen. Resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur 7. De figuur laat geen trend zien, wel een grillig verloop met grote fluctuaties tussen de verschillende jaren. De waargenomen variatie kan deels samenhangen met lichte variatie in bemonsteringsdiepte en aanwezige perceelsvariatie. Over het algemeen is het organische stofgehalte in LAAG lager dan in STANDAARD. Dit verschil is echter over de hele periode 1988-2016 niet significant. Voor de periode 2011-2016 is dit wel het geval. Het verschil in organisch stofgehalte tussen STANDAARD en LAAG was in deze periode gemiddeld 0,4 %-punt. In de andere beschouwde deelperiodes (1988-2004, 2001-2004, 2005-2008, 2005-2016) was het verschil niet significant. Een nadere statistische toelichting op dit punt staat in Bijlage 9.

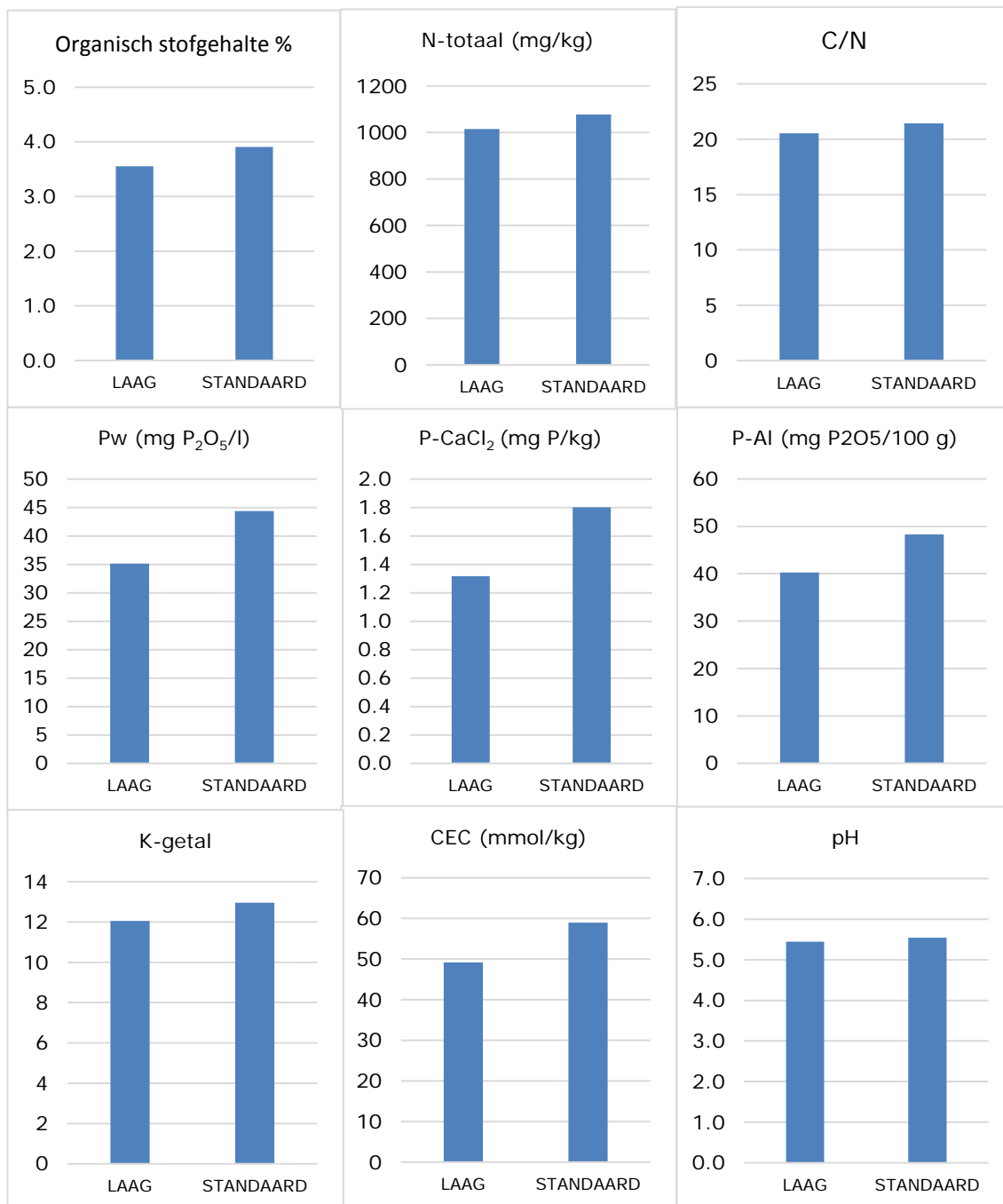


Figuur 7 Gemeten organische stofgehaltes gemiddeld per systeem per jaar.

3.3.2 Chemische bodemkwaliteit

De gemeten chemische bodemparameters staan per systeem gemiddeld over 2011-2016 weergegeven in Figuur 8. De Pw ligt in de klasse neutraal (36-55). K-getal ligt gemiddeld in klasse voldoende voor LAAG (10-12) en ruim voldoende voor STANDAARD (13-17). De pH ligt aan de onderkant van het adviestraject rond de 5,5 (voor klassegrenzen zie www.handboekbodemenbemesting.nl). Alle parameters zijn lager in LAAG dan STANDAARD, maar de verschillen zijn minimaal. Voor organische stofgehalte, Pw, P-CaCl₂, P-Al, K-getal en CEC zijn deze verschillen significant, voor N-tot, C/N en pH niet. De verschillen in organische stofgehalte, Pw, P-CaCl₂, P-Al en CEC waren in 2011 al aanwezig. In

2011 was er geen verschil in K-getal. Gemiddeld genomen kan er gezegd worden dat de bodemkwaliteit van STANDAARD iets beter is dan LAAG.



Figuur 8 Bodemvruchtbaarheidskenmerken gemiddeld per systeem in de periode 2011-2016.

3.3.3 Nematoden

3.3.3.1 Plantparasitaire aaltjes

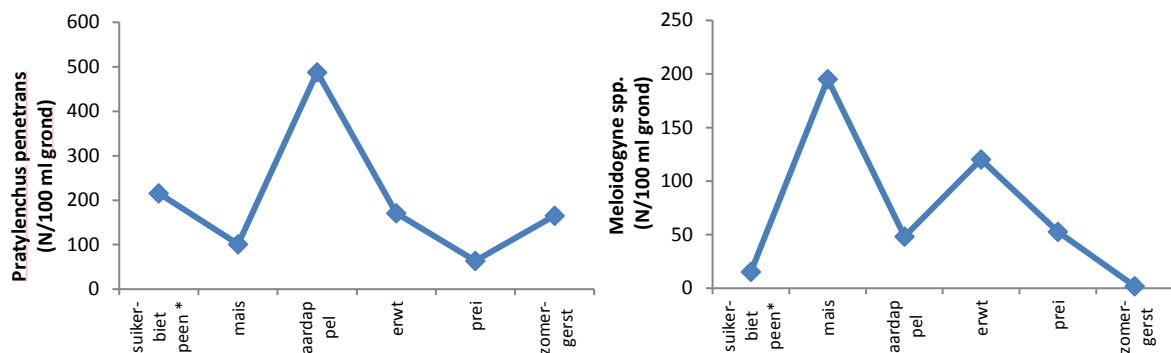
Alle systemen (percelen) zijn besmet met een aantal belangrijke, op zandgrond algemeen voorkomende, soorten. Dit zijn de wortelknobbelaaltjes soorten *Meloidogyne chitwoodi*, *M. fallax* en *M. hapla*, het wortellesieaaltje *Pratylenchus penetrans* en de Trichodoride-soorten *Paratrichodorus pachydermus*, *P. teres* en *Trichodorus similis*. De systemen zijn zeer licht besmet met aardappel- en bietencysteaaltjes. Dit zijn soorten die zich respectievelijk op aardappel en biet kunnen vermeerderen en ook schade in deze gewassen kunnen veroorzaken. Door de ruime vruchtwisseling van 1:6 blijven de besmettingsniveaus van deze twee soorten laag en onder de shadedrempel. Ook de besmetting

met Trichodoride-aaltjes is in alle systemen relatief laag en blijft voor alle gewassen onder de schadedrempel.

In Figuur 9 is de gemiddelde populatieontwikkeling van het wortellesieaaltje en het (bedrieglijk) maïswortelknobbelaaltje (*M. chitwoodi* + *M. fallax*) weergegeven, binnen de gewasrotatie van de systemen. De populatieontwikkeling van de verschillende plantparasitaire aaltjessoorten in STANDAARD en LAAG verschillen niet van elkaar en zijn daarom gemiddeld.

Aardappel en conservenerwt zijn de gewassen binnen de rotatie die gevoelig zijn voor het wortellesieaaltje. Door de teelt van de zeer goede waardplant mais neemt de besmetting van het wortellesieaaltje sterk toe, tot een voor de volgteelt aardappel schadelijke dichtheid. Bij deze dichtheid kan de schade in aardappel oplopen tot een opbrengstderving van meer dan 10%. Na aardappel neemt de besmetting af, maar ligt nog boven de schadedrempel van conservenerwt waardoor het aaltje ook in dit gewas nog enige schade (5 a 10% opbrengstderving) zal hebben veroorzaakt. Anderzijds heeft het organische stofgehalte in de bodem ook invloed op de mate van optreden van schade. Hierdoor kan het effect op opbrengst in STANDAARD mogelijk kleiner zijn dan in LAAG, (OS-gehalte wat hoger dan in LAAG). Het is echter nog niet mogelijk dit effect te kwantificeren. Op perceel 16 is in 2014 in STANDAARD en LAAG Tagetes als vanggewas geteeld voor de beheersing van het wortellesieaaltje.

Ook voor het (bedrieglijk) maïswortelknobbelaaltje (*M. chitwoodi* en *M. fallax*) zijn aardappel en conservenerwt de gevoelige gewassen binnen de rotatie. In beide systemen neemt de besmetting van maïswortelknobbelaaltjes toe door de teelt van suikerbiet (voornamelijk *M. fallax*) en de teelt van aardappel. De toename na suikerbiet zal niet hebben geleid tot opbrengstschade in de maïs maar mogelijk nog wel tot lichte kwaliteitsschade in de aardappelen die na de maïs zijn geteeld. Het gemiddelde besmettingsniveau na aardappel zal ook nog lichte schade (tweewassigheid) in de conservenerwten hebben veroorzaakt.



Figuur 9 Gemiddelde (over STANDAARD en LAAG) populatieontwikkeling wortellesieaaltjes (links) en wortelknobbelaaltjes (*M. chitwoodi* + *M. fallax*, rechts). Metingen gedaan in januari/februari voorafgaand aan de teelt van het gewas in de periode 2012-2016.

3.3.3.2 Aaltjesgroepen

De verschillende organische stofstrategieën lijken wel effect te hebben op de samenstelling van de totale aaltjespopulatie. Bij toenemende hoeveelheid organische mest neemt het aantal fungivore aaltjes af en bacterievore juist toe. Op basis van de samenstelling van de aaltjespopulatie zijn indices berekend; de Maturity index, Structure index en Channel index. De hoogste waarden hiervoor zijn gevonden in STANDAARD. De verschillen tussen de systemen zijn echter klein (Visser et al., 2014). Quist et al. (2015) vonden weinig verschillen tussen de systemen STANDAARD en LAAG, zowel in soortensamenstelling als in totale dichtheden. Des te meer verschil werd er gevonden tussen de verschillende gewassen. Elf van de dertien onderzochte nematodensoorten hadden een significante reactie op het gewasstype.

3.3.4 Overige bodemmetingen

De bodemfysische metingen in 2012 en 2016 lieten geen verschillen zien tussen de systemen in indringingsweerstand, bulkdichtheid, watervasthoudend vermogen en porievolume (Visser et al., 2014, Vervoort, 2016).

3.4 Stikstofbodembalans

Excellfile "Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016 Gangbaar.xls"

- OVERZICHT kolommen AI-BF
- VARIANTIEANALYSE kolommen AR-BY
- OVERZICHT COMPOST kolommen O-T, Y-Z
- GEWAS kolommen AR-AX en BA-BE
- MEST

3.4.1 Stikstofaanvoer

3.4.1.1 Stikstofaanvoer volgens de bodembalans

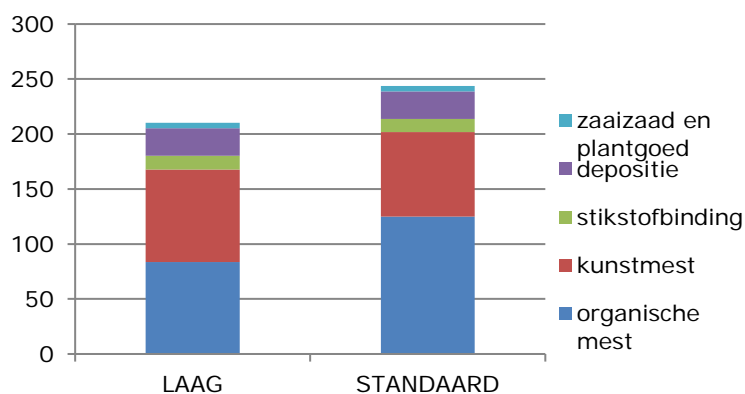
De totale stikstofaanvoer bestaat uit de stikstof uit mest en kunstmest, en aanvoer via depositie, zaaizaad/plantgoed en stikstofbinding. Voor beide systemen is de totale stikstofaanvoer per jaar weergegeven in Tabel 14. In LAAG is de stikstofaanvoer gemiddeld 33 kg lager dan in STANDAARD ($p < 0,001$). In de afzonderlijke jaren 2012, 2014 en 2015 zijn de verschillen tussen de systemen significant, voor 2011, 2013 en 2016 niet. Uit de tabel is duidelijk te zien dat vanaf 2014 de lagere gebruiksnorm (voor zandgronden in Zuidoost Nederland) is gehanteerd. De jaren 2011-2013 zijn significant verschillend van 2014-2016 ($p < 0,001$).

Tabel 14 Jaarlijkse totale stikstofaanvoer per systeem in kg/ha/jaar.

Jaar	LAAG	STANDAARD
2011	245	262
2012	239	283
2013	242	263
2014	177	216
2015	172	221
2016	191	220
Gemiddeld	211	244

Voor beide systemen geldt dat ruim 80% van de aangevoerde stikstof komt uit (kunst)mest, ongeveer 11% uit depositie, 6% uit stikstofbinding en nog 2% uit het zaaizaad/plantgoed (Figuur 10).

Verschillen tussen de systemen qua stikstofaanvoer zitten voornamelijk in de bemesting. In LAAG komt 40% van de stikstof uit organische mest (mineralenconcentraat en ook spuiwater is hierin meegerekend), en ook 40% uit kunstmest. In STANDAARD komt ruim 50% uit organische mest, en iets meer dan 30% uit kunstmest.



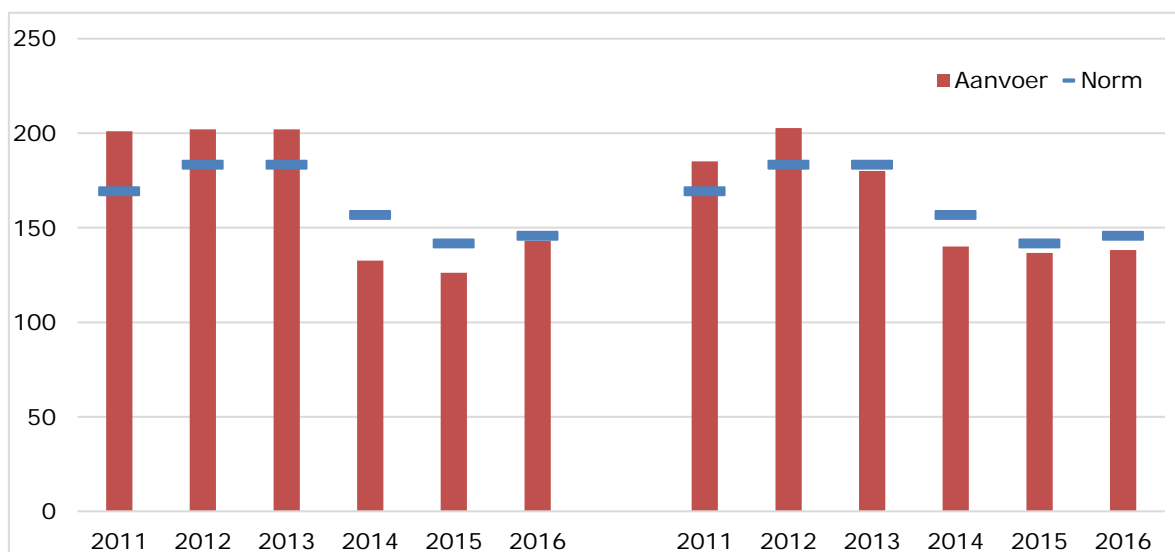
Figuur 10 Stikstofaanvoer (kg N/ha/jaar) per bron per systeem, voor de jaren 2011-2016. Organische mestaanvoer in LAAG bestaat uit mineralenconcentraat en spuiwater

3.4.1.2 Werkzame stikstofaanvoer en gebruiksnormen

De aanvoer van werkzame stikstof met organische mest en kunstmest berekend op basis van de landbouwkundige eerstejaarswerking van de mestsoorten is voor STANDAARD en LAAG vrijwel gelijk. Hetzelfde geldt voor de werkzame stikstofaanvoer berekend met forfaitaire werkingscoëfficiënten uit de mestwetgeving. De werkzame stikstofaanvoer is zowel berekend op basis van de verhouding van N-min en N-org in de mest als op basis van de forfaitaire werkingscoëfficiënten uit de mestwetgeving (Tabel 15). Figuur 11 geeft de wettelijke werkzame stikstofaanvoer met mest en de stikstofgebruiksnorm per jaar weer. De gebruiksnorm van 2013 is gelijk aan de norm van 2012. In 2014 zijn de normen van 2015 toegepast. Doordat er na de conservenerwt in 2014 Tagetes is geteeld in plaats van grasklaver als groenbemester is de gebruiksnorm in 2015 lager dan in 2014.

Tabel 15 *Werkzame stikstofaanvoer (kg/ha/jaar) met meststoffen berekend met werkingscoëfficiënten op basis van verhouding N-min/N-org en op basis van forfaitaire werkingscoëfficiënten uit de mestwetgeving per systeem.*

	Werkzame N op basis van N-min/N-org		Werkzame N op basis van forfaitaire getallen mestwetgeving	
	LAAG	STANDAARD	LAAG	STANDAARD
2011	195	190	201	185
2012	195	205	202	203
2013	192	183	202	180
2014	128	140	133	140
2015	125	127	126	137
2016	142	136	143	138
Gemiddeld	163	164	168	164



Figuur 11 *Wettelijke werkzame stikstofaanvoer met organische mest en kunstmest (balken) en stikstofgebruiksnormen (streepjes) in kg/ha/jaar voor de systemen LAAG (links) en STANDAARD (rechts).*

In 2011 en 2012 was de aanvoer van werkzame stikstof in STANDAARD en LAAG hoger dan de stikstofgebruiksnorm (Figuur 11). In 2013 zat deze in STANDAARD onder de norm en in LAAG erboven. In deze jaren is er bemest op optimale opbrengst zonder rekening te houden met de gebruiksnormen. Vanaf 2014 is er geanticipeerd op de nieuwe gebruiksnormen voor het zuidelijk zandgebied zoals deze zijn gaan gelden vanaf 2015. Hierbij is in 2014 en 2015 niet volledig gebruik gemaakt van de bemestingsruimte die wordt gecreëerd door het gebruik van groenbemesters, waardoor de wettelijke werkzame stikstofaanvoer ruim onder de norm uitvalt. In 2016 valt de werkzame stikstofgift ook onder de norm voor beide systemen, in STANDAARD iets ruimer dan in LAAG.

3.4.2 Stikstofafvoer

Het gemiddelde verschil in stikstofafvoer via geoogste producten tussen de systemen is 20 kg/ha/jaar ($p < 0,05$). Dit is te relateren aan de gewasopbrengsten, ook die zijn lager in LAAG (zie ook paragraaf 3.2.1). Het relatieve verschil tussen STANDAARD en LAAG is bij de stikstofafvoer groter dan bij de opbrengst. Dit kan duiden op luxeconsumptie in de gewassen in STANDAARD. Dit wordt niet direct gezien in de gehalten (Tabel 17). De gehalten verschillen nauwelijks tussen de systemen, alleen bij zomergerst is het gehalte in STANDAARD significant hoger dan in LAAG. Op de conservenerwt na zijn alle gemeten stikstofgehalten in beide systemen lager dan de referentiegehalten uit het Handboek Bodem en Bemesting.

Uit de jaarlijkse stikstofafvoeren is niet heel duidelijk de vanaf 2014 gehanteerde lagere gebruiksnorm terug te zien (Tabel 16), de onderlinge jaren verschillen niet significant van elkaar. Wat vooral opvalt is de lage stikstofafvoer in 2016 (weliswaar niet significant). Voor beide systemen is de stikstofafvoer in 2016 het laagst, dit is te relateren aan de droge stofafvoer, die ook voor beide systemen in 2016 het laagst is (zie Tabel 11). Het is bekend dat 2016 qua weersomstandigheden een lastig jaar was, met een zeer nat voorjaar (zie ook Bijlage 3).

Tabel 16 Jaarlijkse stikstofafvoer via geoogste producten (kg/ha/jaar) per systeem.

Jaar	LAAG	STANDAARD
2011	127	153
2012	121	153
2013	132	151
2014	117	136
2015	128	134
2016	93	113
Gemiddeld	120	140

Tabel 17 Gemiddelde gemeten stikstofgehalten per gewas per systeem over de jaren 2011-2016 (g N/kg vers). Referentie gehalten uit www.handboekbodemenbemesting.nl.

Gewas	LAAG	STANDAARD	Referentie gehalten
aardappel	2,9	3,1	3,3
conservenerwt	9,6	9,6	7,5
prei	2,3	2,3	3,0
zomergerst	13,0	13,6	15,0
suikerbiet	1,0	1,1	1,8
snijmais	3,5	3,5	3,8

De ammoniakemissie die ontstaat bij de mesttoediening wordt in de stikstofbodembalans als afvoerpost beschouwd omdat deze geen onderdeel is van het bodemoverschot. De ammoniakemissie is relatief beperkt met 2,2 en 2,3 kg stikstof per ha per jaar per systeem voor respectievelijk STANDAARD en LAAG (gemiddelde van 2011-2016). De ammoniakemissie is over de periode 2014-2016 significant lager dan in 2011-2013. Gemiddeld over 2011-2013 is de ammoniakemissie 2,7 kg/ha/jaar en over 2014-2016 1,8 kg/ha/jaar ($p < 0,01$). Ondanks de significantie van dit verschil is het voor de praktijk een verwaarloosbaar verschil.

Door de verlaagde gebruiksnorm is de aanvoer van minerale stikstof (N-NH₃) uit mest significant lager in 2014-2016 ten opzichte van 2011-2013 ($p < 0,05$). Minder toediening heeft hier direct effect op de emissie, al is dit effect haast verwaarloosbaar gezien de grootte van de emissie. Kunstmeststikstof heeft ook effect op de ammoniakemissie, maar het gebruik hiervan verschilt niet significant tussen de twee periodes.

3.4.3 Stikstofbodemoverschot

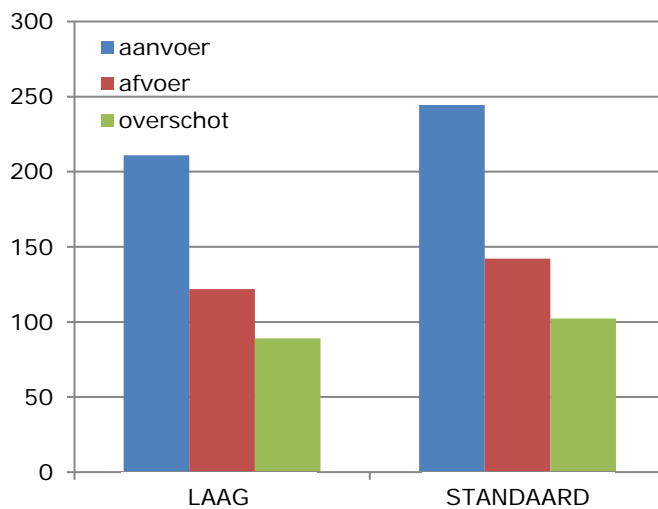
Uit de totale stikstofaanvoer en stikstofafvoer volgt het stikstofbodemoverschot. Doordat het verschil in stikstofaanvoer tussen STANDAARD en LAAG groter is dan het verschil in stikstofafvoer, is het stikstofbodemoverschot in LAAG lager dan in STANDAARD (niet significant). Het gemiddelde

stikstofbodemoverschot in LAAG is 89 kg/ha/jaar en in STANDAARD 102 kg/ha/jaar (Tabel 18). Beide systemen halen niet de streefwaarde van maximaal 50 kg/ha. Het stikstofbodemoverschot laat ongeveer dezelfde variatie over de jaren zien als de stikstofaanvoer (zie ook paragraaf 3.4.1).

Tabel 18 Jaarlijks stikstofbodemoverschot (kg/ha/jaar) per systeem.

Jaar	LAAG	STANDAARD
2011	115	107
2012	116	127
2013	107	110
2014	58	78
2015	43	86
2016	95	105
Gemiddeld	89	102

De stikstofbalans is grafisch weergegeven in Figuur 12 voor beide systemen. Bij beide systemen wordt bijna 60% van de aangevoerde stikstof afgevoerd en komt de andere 40% terecht in het bodemoverschot.



Figuur 12 Stikstofbodembalans (kg N/ha/jaar) gemiddeld over 2011-2016 per systeem

3.4.4 Stikstofefficiëntie

De stikstofefficiëntie, berekend als de afgevoerde stikstof met geoogst gewas gedeeld door de totaal aangevoerde stikstof (met (kunst)mest, depositie, zaaizaad/plantgoed, en stikstofbinding) verschilt gemiddeld over de jaren niet tussen STANDAARD en LAAG (Tabel 19). De variatie tussen de jaren is groot (52%-77%). Na verlaging van de stikstofbemesting vanaf 2014 door de lagere gebruiksnorm steeg de efficiëntie in 2014 en 2015. In 2016 was het niveau weer vergelijkbaar met die in 2011-2013 door de relatief lagere opbrengsten in 2016.

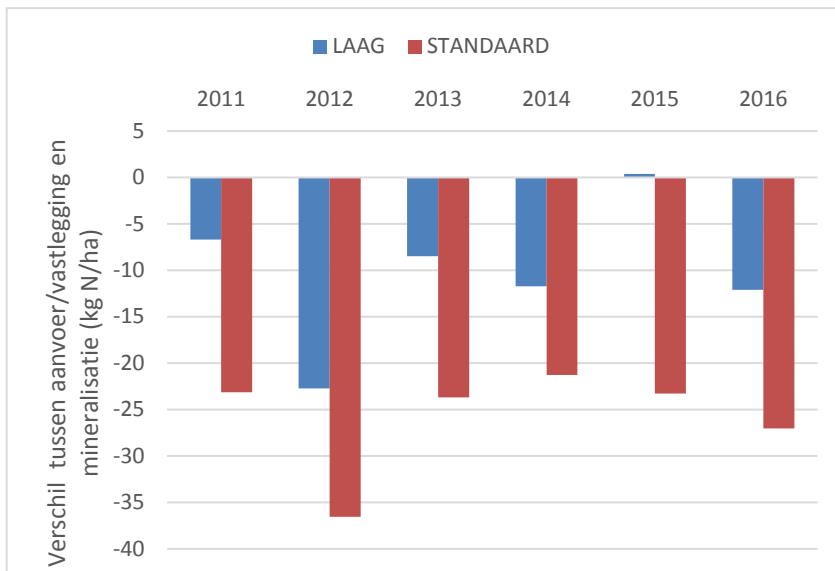
Tabel 19 Stikstofefficiëntie: stikstofafvoer met marktbaar gewas gedeeld door de totale stikstofaanvoer, per jaar per systeem.

Jaar	LAAG	STANDAARD
2011	53%	57%
2012	50%	54%
2013	56%	59%
2014	72%	69%
2015	77%	63%
2016	54%	52%
Gemiddeld	60%	59%

3.4.5 Langjarige stikstofnawerking uit organische mest, gewasresten en groenbemesters

Tabel 20 geeft een overzicht van de stikstof die jaarlijks vrijkomt (berekende mineralisatie) uit eerder toegediend organisch materiaal (dierlijke mest, gewasresten, groenbemesters) versus de jaarlijkse aanvoer van organische stikstof met organische mest en vastlegging in gewasresten en groenbemesters. Om een evenwichtssituatie in een systeem te hebben moeten deze aan elkaar gelijk zijn. Uit de gegevens blijkt dat dit (nog) niet het geval is voor beide systemen; er wordt netto meer vastgelegd dan gemineraliseerd. Gemiddeld zit LAAG dichterbij een evenwichtssituatie (88%) dan STANDAARD (75%). In absolute zin bedraagt de afstand tot evenwicht 9 en 23 kg N/ha voor, respectievelijk, LAAG en STANDAARD. In STANDAARD wordt het verschil met evenwicht vooral veroorzaakt door het verschil tussen de mineralisatie en aanvoer van stikstof uit organische mest. Dit verschil is 17 kg N/ha. Uit Figuur 13 blijkt dat de systemen STANDAARD en LAAG over de periode 2011-2016 niet dichterbij een evenwichtssituatie zijn gekomen, hiervoor zouden de balken richting het punt moeten gaan.

De gemiddelde berekende mineralisatie van de organische mest, gewasresten en groenbemesters is 48 kg N/ha voor LAAG en 86 kg N/ha voor STANDAARD ($p < 0,001$). Over de jaren heen stijgt de totale hoeveelheid stikstof die per jaar nog vrijkomt uit mineralisatie (Tabel 20). Deze stijging zit vooral in mineralisatie uit groenbemesters, voor gewasresten en organische mest is deze stijging niet zichtbaar.



Figuur 13 *Verskil tussen totale mineralisatie en aangevoerde/vastgelegde stikstof voor STANDAARD en LAAG. Een negatieve waarde betekent een grotere aanvoer/vastlegging dan mineralisatie.*

In beide systemen komt het grootste aandeel stikstof uit mineralisatie vanuit de gewasresten, voor LAAG is dit 65% van het totaal, en voor STANDAARD 46% van het totaal. In LAAG heeft de groenbemester daarna het grootste aandeel (22%) en gevolgd door de mest (13%). In STANDAARD is het andersom, mest is verantwoordelijk voor 36% van de totale mineralisatie, en de groenbemester voor 18%.

Met de cijfers uit Tabel 20 kan een nieuw stikstofbodemoverschot worden uitgerekend waarin het niet in evenwicht zijn van de systemen is verdisconteerd. Hiervoor worden de kruisposten zoals genoemd in Tabel 4 (cursieve regels) toegevoegd aan de bodembalans. Het resultaat staat in Tabel 21. Voor beide systemen daalt het gemiddelde stikstofbodemoverschot als de mineralisatie en vastlegging van stikstof worden meegenomen. Omdat het verschil tussen mineralisatie en vastlegging in LAAG lager is dan in STANDAARD is er bij het op deze manier gecorrigeerde bodemoverschot vrijwel geen verschil meer tussen de systemen.

Tabel 20 Berekende mineralisatie van stikstof uit in voorgaande jaren toegediende dierlijke mest, gewasresten en groenbemesters en de aanvoer/vastlegging van stikstof uit organische bronnen per systeem per jaar in kg N/ha.

		Organische mest		Gewasresten		Groenbemester		Totaal	
		Mineralisatie	Aanvoer organische stikstof	Mineralisatie	Vastgelegde stikstof	Mineralisatie	Vastgelegde stikstof	Mineralisatie	Aanvoer + vastlegging
LAAG	2011	3	5	31	36	8	9	43	49
	2012	6	8	30	39	3	14	39	61
	2013	15	17	28	32	4	6	47	55
	2014	9	8	32	33	12	23	52	64
	2015	4	2	32	43	22	13	57	57
	2016	3	2	35	32	15	30	53	65
	Gemiddeld	6	7	32	36	10	16	48	59
STANDAARD	2011	31	42	41	47	6	13	79	102
	2012	33	49	39	45	5	19	77	113
	2013	33	49	39	44	13	14	84	108
	2014	26	41	36	36	21	26	82	103
	2015	29	57	38	50	25	9	92	116
	2016	30	43	36	31	19	39	85	112
	Gemiddeld	30	47	38	42	15	20	86	109

Tabel 21 Berekend stikstofoverschot zonder (links) en met mineralisatieposten(rechts) per systeem per jaar in kg N/ha.

Jaar	LAAG	STANDAARD	LAAG + mineralisatie	STANDAARD + mineralisatie
2011	115	107	109	84
2012	116	127	93	91
2013	107	110	99	86
2014	58	78	46	57
2015	43	86	43	62
2016	95	105	83	79
Gemiddeld	89	102	79	77

3.5 N-min voorraad bodem

Excellfile "Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016 Gangbaar.xls"

- OVERZICHT kolommen BH-BJ
- VARIANTIEANALYSE kolommen BZ-CE
- BODEM kolommen E-L

In Tabel 22 staan de N-min voorraden in de bodem zoals gemeten in het voorjaar, na oogst en in het najaar. In 2011 zijn geen metingen gedaan in het voorjaar.

Tabel 22 N-min voorraad gemeten in voorjaar (0-30 cm), na oogst (0-60 cm) en najaar (0-90 cm) in kg N/ha per systeem per jaar.

N-min	Voorjaar		Na oogst		Najaar	
	LAAG	STANDAARD	LAAG	STANDAARD	LAAG	STANDAARD
2011			30	48	53	59
2012	12	11	17	33	29	47
2013	9	9	24	38	23	33
2014	9	14	27	29	44	40
2015	6	9	25	32	36	38
2016	5	8	31	52	25	34
Gemiddeld	8	10	25	38	35	42

De N-min gemeten in het voorjaar in de laag 0-30 cm verschilt weinig tussen de twee systemen, LAAG heeft over het algemeen iets lagere waarden dan STANDAARD ($p < 0,01$).

De N-min na oogst (gemeten in de laag 0-60 cm) verschilt significant tussen de systemen ($p < 0,05$). LAAG heeft over de periode 2011-2016 een lagere N-min najaar dan STANDAARD. Bij het vergelijken van de metingen met de vuistregel van 30-40 kg/ha (Smit et al., 2005) blijkt dat LAAG daar in vier van de zes jaren onder, wat op een mogelijk risico van stikstoftekort duidt. De N-min na oogst in STANDAARD valt vaker binnen het streeftraject, met waarden daarboven in 2011 en 2016.

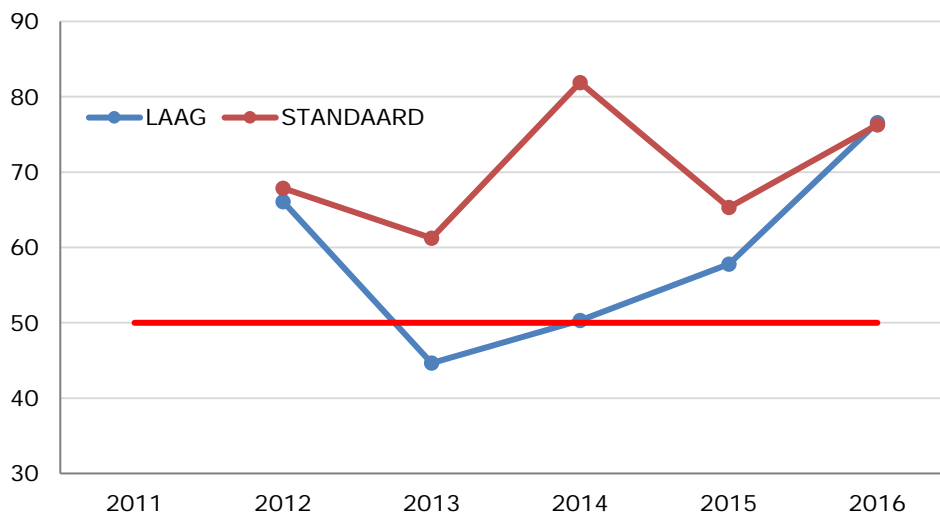
De N-min voorraad in het najaar is lager in LAAG dan in STANDAARD ($p < 0,1$), behalve in 2014. Voor LAAG voldoen alle metingen behalve 2011 aan de streefwaarde van 45 kg N/ha. Als de streefwaarde van 30 kg/ha vanuit Telen met Toekomst wordt aangehouden blijven alleen 2012, 2013 en 2016 onder die norm. STANDAARD voldoet aan de 45 kg/ha norm voor de jaren 2013-2016, en de 30 kg/ha norm wordt in geen van alle jaren gehaald. De N-min najaar in STANDAARD laat een dalende trend zien over de jaren 2011-2016. In LAAG en in de metingen gedaan in het voorjaar en direct na oogst wordt deze trend niet waargenomen.

3.6 Nitraatconcentraties in het grondwater

Excellfile "Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016 Gangbaar.xls"

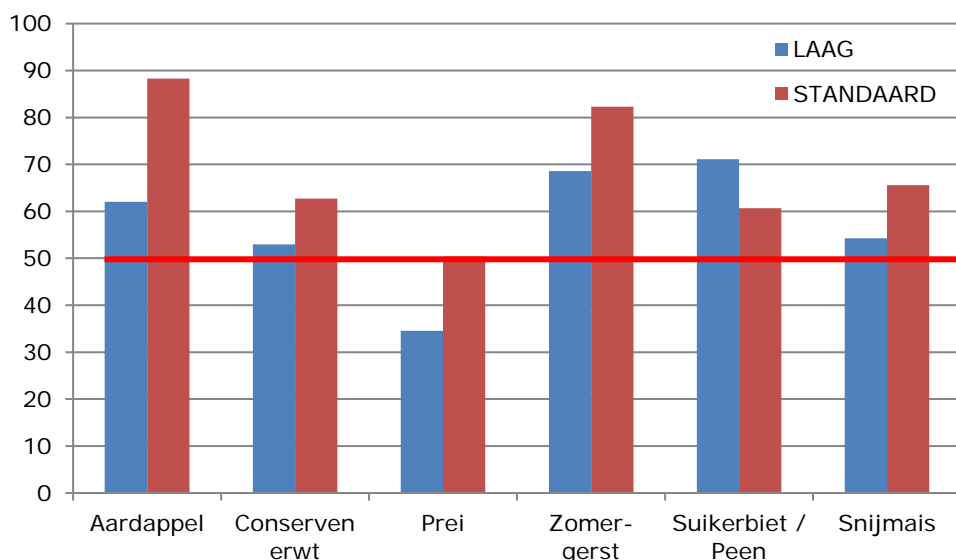
- OVERZICHT kolommen BL-BM
- VARIANTIEANALYSE kolommen CF-CI
- OVERZICHT COMPOST kolommen V-W
- NO₃ GRONDWATER kolommen E-F

In Figuur 14 zijn de gemiddelde nitraatconcentraties in het grondwater weergegeven die in de winter zijn gemeten per systeem over de jaren 2012-2016 (in 2011 zijn geen metingen gedaan). Afgezien van één waarde voor LAAG in 2013 zijn alle waarden hoger dan de gestelde EU nitraatnorm van 50 mg/l. De jaarlijks gemeten concentraties zijn in LAAG lager dan in STANDAARD (niet significant), behalve in 2012 en 2016 wanneer de concentraties nagenoeg gelijk zijn.



Figuur 14 Nitraatconcentratie in het grondwater (mg NO₃/l) per systeem per jaar gemiddeld over 4 metingen in het winterseizoen. De rode lijn geeft de EU-nitraatnorm van 50 mg/l weer.

In Figuur 15 zijn de nitraatconcentraties per gewas weergegeven gemiddeld voor de periode 2011-2016. In STANDAARD wordt de hoogste concentratie gevonden na de aardappel, in LAAG na de suikerbiet/peen. De laagste concentraties worden gevonden na de prei. Na de zomergerst wordt ondanks de groenbemester een hoge nitraatconcentratie gemeten.



Figuur 15 Nitraatconcentraties (mg NO₃/l) per gewas per systeem gemiddeld over 2012-2016. De rode lijn geeft de EU-nitraatnorm van 50 mg/l weer.

3.7 Stikstofuitspoelfractie

Excellfile "Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016 Gangbaar.xls"

- OVERZICHT kolommen BO-CP
- VARIANTIEANALYSE kolommen CJ-EA
- NEERSLAGOVERSCHOT
- GRONDWATERSTAND

3.7.1 Stikstofuitspoelfractie

De uitspoelfractie is berekend voor de periode 2012-2016. 2011 is hierin niet meegenomen, omdat in dat jaar geen nitraatmetingen zijn gedaan. Gemiddelde uitspoelfracties per systeem, jaar, systeem per jaar, etc. zijn berekend door eerst de individuele nitraatvrachten en bodemoverschotten te middelen, en vervolgens pas deze gemiddeldes op elkaar te delen.

Tabel 23 De nitraatconcentratie, neerslagoverschot, nitraatvracht, stikstofbodemoverschot en uitspoelfractie per jaar en per systeem.

		Nitraat concentratie (mg N-NO ₃ /l)	Neerslag overschot (mm)	NO ₃ vracht (kg N/ha)	Stikstof bodem overschot (kg N/ha)	Uitspoel fractie (%)
LAAG	2012	14,5	455	68	116	59%
	2013	9,8	274	29	107	27%
	2014	11,0	499	55	58	94%
	2015	12,6	556	72	43	168%
	2016	16,8	325	59	95	62%
	gemiddelde	12,9	422	56	84	67%
STANDAARD	2012	14,8	455	70	127	55%
	2013	13,4	274	34	110	31%
	2014	17,9	499	92	78	118%
	2015	14,3	556	77	86	89%
	2016	16,7	325	55	105	52%
	gemiddelde	15,4	422	65	101	65%

Tabel 23 geeft de berekende uitspoelfractie weer per jaar per systeem. Tevens zijn de parameters weergegeven waaruit de uitspoelfractie is berekend. De nitraatconcentratie vermenigvuldigd met het neerslagoverschot geeft de NO₃ vracht. De NO₃ vracht gedeeld door het stikstofbodemoverschot geeft de uitspoelfractie.

Gemiddeld over de jaren 2012-2016 is de uitspoelfractie in LAAG 67% en in STANDAARD 65%. De uitspoelfractie laat een enorme variatie tussen de jaren zien, en tussen beide systemen. 2015 schiet er enorm uit naar boven voor LAAG, en 2013 heeft een hele lage uitspoelfractie voor zowel STANDAARD als LAAG. De hoogste uitspoelfractie van STANDAARD komt voor in 2014.

3.7.2 Correcties

3.7.2.1 Correcties voor verschillen in langjarige stikstofnawerking

De berekende stikstofuitspoelfractie in paragraaf 3.7.1 is gecorrigeerd voor het verschil in mineralisatie van in het verleden toegediende organische stofbronnen (zie paragraaf 3.4.5) en de actuele aanvoer van organische stikstof (correctie voor niet-evenwicht). Door het meenemen van de mineralisatie verandert de uitspoelfractie van LAAG van 67 naar 70%, en STANDAARD van 65 naar 83% (Tabel 24). Deze verandering staat direct in lijn met de verandering in het bodemoverschot (paragraaf 3.4.3), aangezien deze voor beide systemen lager wordt, en de nitraatconcentraties waarmee de fractie wordt uitgerekend hier niet door beïnvloedt worden, wordt de uitspoelfractie evenredig hoger.

Tabel 24 *Uitspoelfracties gecorrigeerd voor het niet in evenwicht zijn van de systemen (mineralisatie van stikstof uit eerder toegediend organische materiaal is niet gelijk aan actuele aanvoer van organische stikstof in mest en gewasresten) per systeem per jaar.*

	LAAG	STANDAARD
2012	69%	72%
2013	28%	37%
2014	118%	162%
2015	167%	123%
2016	70%	70%
Gemiddeld	70%	83%

3.7.2.2 Correcties voor verschillen in verdamping

De correctie voor verschillen in verdamping heeft alleen invloed op de stikstofuitspoelfractie van LAAG, omdat deze is gebaseerd op het relatieve verschil ten opzichte van STANDAARD en laatstgenoemde op 100% is gesteld.

Omdat LAAG over het algemeen een lagere productie heeft, en er wordt aangenomen dat verdamping in relatie staat tot de productie, heeft LAAG een lagere verdamping dan STANDAARD. Dit zorgt voor een hoger neerslagoverschot en nitraatvrucht en dus een hogere uitspoelfractie dan wanneer deze correctie niet meegenomen wordt. De gemiddelde uitspoelfractie voor LAAG wordt 74%, zonder correctie was deze 67% (Tabel 25).

Tabel 25 *Neerslagoverschot, relatieve droge stofproductie en gecorrigeerd neerslagoverschot en uitspoelfractie voor LAAG per jaar. Neerslagoverschot in mm.*

	Neerslag overschot	Relatieve droge stof productie	Neerslag overschot + correctie verdamping	Uitspoelfractie + correctie verdamping
2012	455	83%	542	70%
2013	274	94%	305	28%
2014	499	97%	515	97%
2015	556	101%	550	173%
2016	325	90%	376	73%
Gemiddelde	422	93%	458	74%

3.7.2.3 Correcties voor verschillen in grondwaterstand

Omdat de grondwaterstand alleen in de winters van 2015-2016 en 2016-2017 gemeten is, wordt voor voorgaande winters het gemiddelde van deze metingen als waarde voor de grondwaterstand genomen.

Tabel 26 Grondwaterstand, bijbehorende absolute correctie en gecorrigeerde uitspoelfractie per systeem per jaar.

		Grondwaterstand in cm onder maaiveld	Correctie op uitspoelfractie	Gecorrigeerde uitspoelfractie
LAAG	2012	102	-0,7%	58%
	2013	102	-0,7%	26%
	2014	102	-0,7%	94%
	2015	98	0,8%	169%
	2016	105	-2,2%	60%
	gemiddelde	102	-0,7%	67%
STANDAARD	2012	109	-3,8%	51%
	2013	109	-3,8%	27%
	2014	109	-3,8%	114%
	2015	105	-2,0%	87%
	2016	113	-5,6%	46%
	gemiddelde	109	-3,8%	61%

Gemiddeld hebben de percelen van LAAG een grondwaterstand van 102 cm onder maaiveld en STANDAARD 109 cm onder maaiveld (Tabel 26). De uitspoelfractie wordt gecorrigeerd naar een grondwaterstand van 1 m onder maaiveld en dus voor beide systemen naar beneden bijgesteld.

3.7.2.4 Overzicht correcties

Tabel 27 geeft een overzicht van alle toegepaste correcties gemiddeld per systeem over de periode 2012-2016. De uitspoelfractie gecorrigeerd voor mineralisatie, verdamping én grondwaterstand is weergegeven in de onderste regel. Deze is berekend door de nitraatvracht gecorrigeerd voor verdamping te delen door het bodemoverschot gecorrigeerd voor mineralisatie en op de verkregen uitspoelfractie vervolgens de correctie voor de grondwaterstand bij op te tellen. Door correcties stijgt de uitspoelfractie van LAAG met 16 procentpunten van 67% naar 83%, en in STANDAARD 16 procentpunten, van 65% naar 81%.

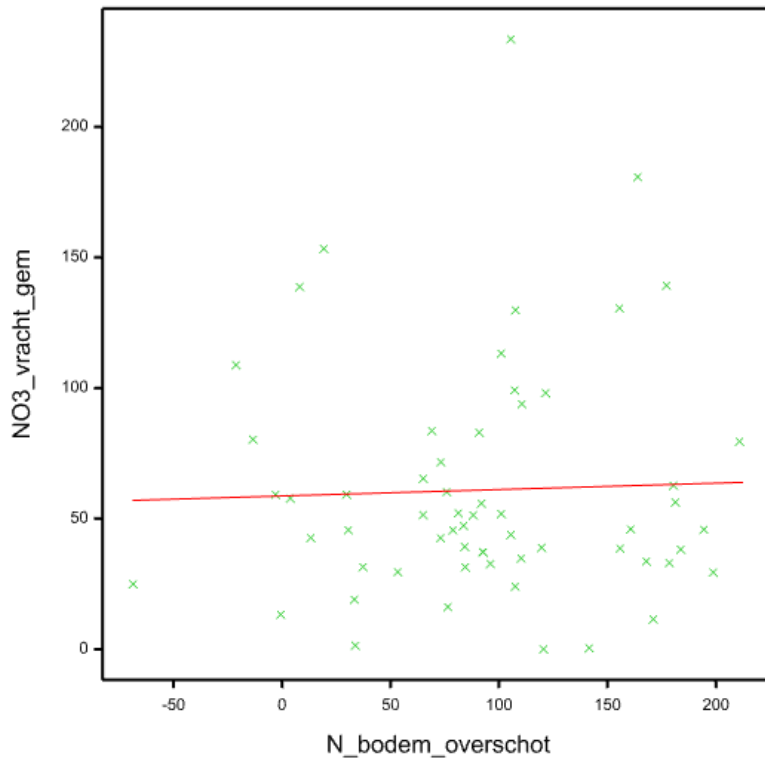
Tabel 27 Overzicht van de uitspoelfractie en toegepaste correcties per systeem.

Uitspoelfractie	LAAG	STANDAARD
ongecorrigeerd	67%	65%
correctie mineralisatie	76%	85%
correctie verdamping	74%	65%
correctie grondwater	67%	61%
Alle correcties samen	83%	81%

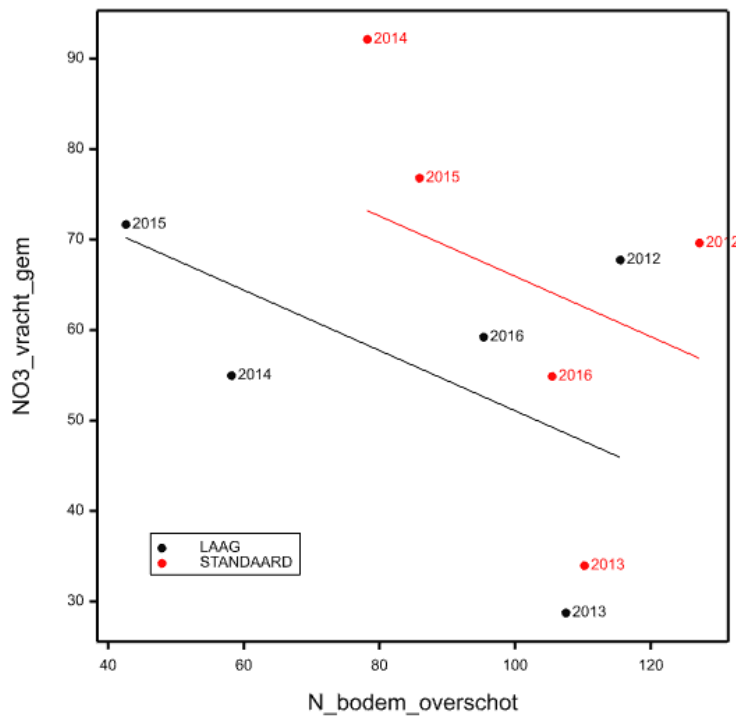
3.7.3 Regressieanalyse relatie stikstofbodemoverschot en nitraatvracht

Er is een regressieanalyse uitgevoerd op de relatie tussen het stikstofbodemoverschot en de nitraatvracht. Dit is gedaan op alle afzonderlijke meetpunten (jaar*systeem*gewas, 60 punten, zie Figuur 16) en op de jaargemiddelden (gemiddelden van systeem per jaar, 10 punten, Figuur 17). In beide gevallen kon geen significant verband tussen stikstofbodemoverschot en nitraatvracht worden vastgesteld en ook was er geen significant effect van systeem. Opvallend is de (niet-significante) negatieve trend bij de analyse van de jaargemiddelden.

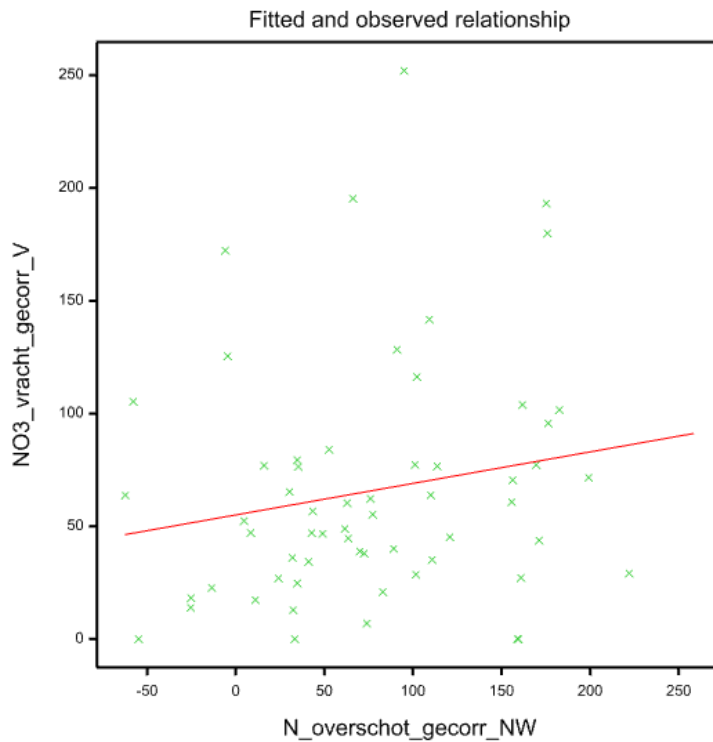
Er is ook een regressieanalyse uitgevoerd op de relatie tussen het gecorrigeerde stikstofbodemoverschot en de gecorrigeerde nitraatvracht (Figuur 18). In beide gevallen bleek er geen sprake te zijn van een significant effect tussen bodemoverschot en nitraatvracht en ook was er geen significant effect van systeem.



Figuur 16 Regressie analyse met het stikstofbodemoverschot en de nitraatvracht voor alle afzonderlijke meetpunten



Figuur 17 Regressie analyse met het stikstofbodemoverschot en de nitraatvracht voor de jaargemiddelden per systeem.



Figuur 18 *Regressieanalyse met het gecorrigeerde stikstof-bodemoverschot en de gecorrigeerde nitraatvrucht voor alle afzonderlijke meetpunten. Significant verband is afwezig.*

3.8 Overige relaties tussen stikstofbodemoverschot, N-min voorraad bodem en nitraatconcentraties grondwater

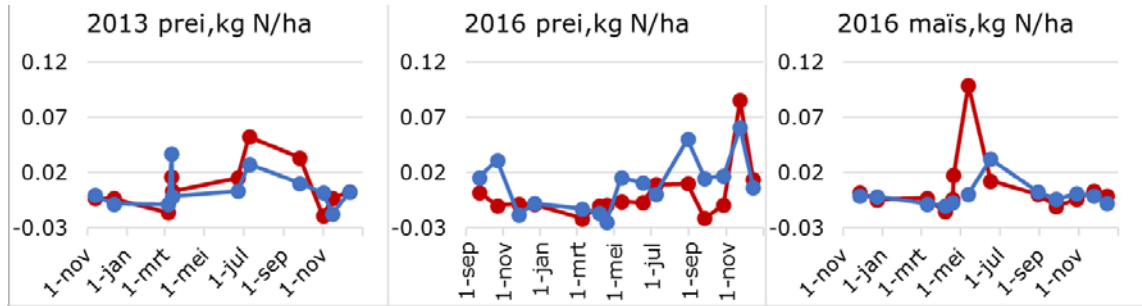
Naast de relatie tussen stikstofbodemoverschot en nitraatvrucht die is beschreven in de vorige paragraaf (3.7.3), is ook gekeken naar de andere verbanden tussen stikstofbodemoverschot, N-min voorraad in de bodem zowel na oogst als in het najaar en de nitraatconcentraties in en nitraatvrucht naar het grondwater. Zie voor gedetailleerde informatie over de analyse Bijlage 10. Er is geen sprake van significante relaties tussen de parameters terwijl er in een aantal gevallen wel sprake is van een significant effect van het systeem. Zo is bij eenzelfde overschot de hoeveelheid N-min na oogst en najaar in LAAG lager dan in STANDAARD.

3.9 Lachgasemissies

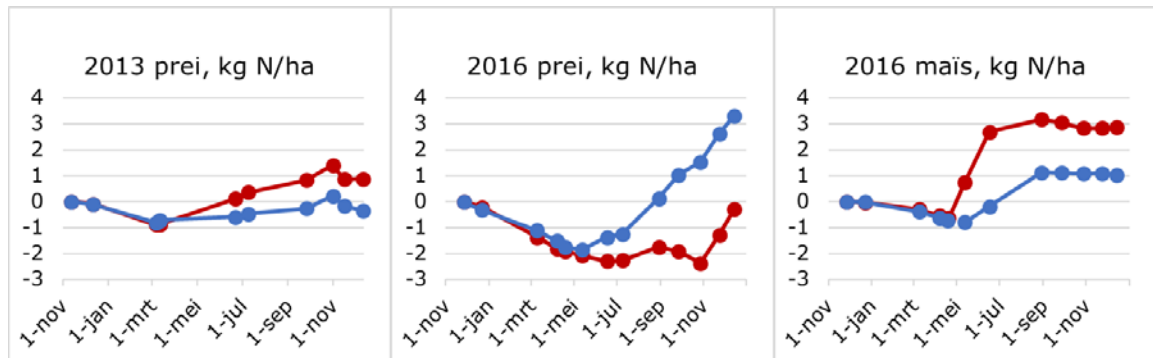
In Figuur 19 zijn de lachgasemissies (N_2O) gemiddeld per perceel weergegeven in de tijd voor 2013 en 2016. In enkele gevallen zijn pieken zichtbaar na bewerking zoals kort na bemesten met rundveedrijfmest op 21 juni 2013. Ook zijn er pieken op momenten dat er geen bewerkingen worden uitgevoerd of zijn er geen pieken op moment van bewerking. In Figuur 20 zijn de cumulatieve lachgasemissies weergegeven in de tijd voor 2013 en 2016. De trend in lachgasemissie van perceel 27 is in beide jaren gelijk ondanks verschil in gewassen, enkele pieken daargelaten. In Tabel 28 is de totale lachgasemissie over een jaar weergegeven uitgedrukt in kg/ha en CO_2 -equivalenten/ha. Ook is de emissiecoëfficiënt gegeven wanneer de emissie positief is.

In 2013 was de lachemissie van LAAG negatief (-0,5 kg/ha) en positief in STANDAARD (1,4 kg/ha). In 2016 is dit beeld veel gevarieerder. Op perceel 27 is de lachgasemissie in LAAG met 1,6 kg/ha lager dan in STANDAARD (4,5 kg/ha). Op perceel 28 is in LAAG de lachgasemissie het hoogste met 5,2 kg/ha. In STANDAARD is de lachgasemissie negatief met -0,4 kg/ha. De emissiefactor varieert tussen 0,0011 en 0,066 met geen duidelijk verschil tussen de systemen. De emissiefactor ligt onder de emissiefactor zoals gerapporteerd in Schils et al. (2006) voor kunstmest en emissiearme dierlijke mesttoediening op droge zandgronden van 0,0075. Er is geen duidelijk verschil in lachgasemissie of

emissiefactor tussen de systemen vast te stellen. Meer achtergrondinformatie over de lachgasmetingen is te vinden in Booij et al. (2018).



Figuur 19 Emissie van N₂O voor 2013 (links) en 2016 (midden en rechts). Blauw is LAAG en rood is STANDAARD.



Figuur 20 Cumulatieve emissies van N₂O voor 2013 (links) en 2016 (rechts). Blauw is LAAG en Rood is STANDAARD, de doorgetrokken lijnen geven perceel 27 weer, de gestippelde lijnen rechts geven perceel 28 weer.

Tabel 28 Emissies van lachgas in kg/ha en CO₂-equivalenten per ha per jaar

Jaar	Systeem	Perceel en gewas	N ₂ O-emissie in kg/ha	N ₂ O-emissie in CO ₂ -equivalenten	Emissiefactor
2013	STANDAARD	27.1 prei	1.4	361	0.0011
2013	LAAG	27.2 prei	-0.5	-143	-
2016	STANDAARD	28.1 prei	-0.4	-115	-
2016	LAAG	28.2 prei	5.2	1377	0.0065
2016	STANDAARD	27.1 maïs	4.5	1189	0.0066
2016	LAAG	27.2 maïs	1.6	419	0.0044

3.10 Fosfaat- en kalibalans

Excellfile "Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016 Gangbaar.xls"

- OVERZICHT kolommen CR-CX
- VARIANTIEANALYSE kolommen EB-EM
- OVERZICHT COMPOST kolommen Y-Z
- GEWAS kolommen AT-AU
- MEST kolommen AY-AZ, BG-BI, BK-BL

3.10.1 Fosfaatbalans

De fosfaatbalans per systeem per jaar staat weergegeven in Tabel 29. Daarbij dient te worden aangetekend dat de afvoer is geschat op basis van gewasgehalten zoals die eerder op het proefbedrijf verzameld zijn. Voor beide systemen is het gemiddelde overschot negatief, dus een tekort op de balans. De gemiddelde afvoer is significant verschillend tussen de systemen STANDAARD en LAAG ($p < 0,05$), de aanvoer en het overschot zijn niet significant verschillend.

De fosfaataanvoer is in 2015 hoog en in 2016 aan de lage kant. Deze jaren verschillen significant van elkaar, maar niet van de anderen jaren (2011-2014). De hoge fosfaataanvoer in 2015 is te verklaren

door hogere fosfaatgehalten in de toegediende mest. In 2016 is de aanvoer laag, de afvoer hoog, en is er hierdoor in 2016 het grootste fosfaattekort gezien de balans.

Beide systemen zijn niet helemaal in evenwicht, wat wel het streven is. Met de negatieve overschotten is handhaving van het Pw-getal lastig.

De fosfaataanvoer is in alle jaren lager dan wat gezien de fosfaattoestand aangevoerd mag worden volgens de fosfaatgebruiksnorm uit de mestwetgeving (60 kg/ha).

Tabel 29 Fosfaataanvoer, -afvoer en –overschot per systeem per jaar in kg P₂O₅/ha.

		Aanvoer	Afvoer	Overschot
LAAG	2011	39	46	-7
	2012	36	47	-11
	2013	57	51	6
	2014	49	48	1
	2015	55	45	10
	2016	37	49	-12
	Gemiddeld	45	48	-2
STANDAARD	2011	57	55	2
	2012	52	53	-2
	2013	48	55	-7
	2014	46	51	-5
	2015	56	47	9
	2016	44	61	-16
	Gemiddeld	50	54	-3

3.10.2 Kalibalans

De kalibalans per systeem per jaar staat weergegeven in Tabel 30. Daarbij dient te worden aangetekend dat de afvoer is geschat op basis van gewasgehalten zoals die eerder op het proefbedrijf verzameld zijn.

LAAG heeft een gemiddeld overschot van net iets boven de streefwaarde, maar STANDAARD zit ruim onder de streefwaarde van 40 kg K₂O/ha door een hogere afvoer. De kaliafvoer is significant verschillend tussen de systemen ($p < 0,05$), de aanvoer en het overschot niet.

Tabel 30 Kaliaanvoer, -afvoer en –overschot per systeem per jaar in kg K₂O/ha.

		Aanvoer	Afvoer	Overschot
LAAG	2011	184	169	14
	2012	208	189	18
	2013	225	208	17
	2014	280	176	104
	2015	238	180	58
	2016	243	186	57
	Gemiddeld	229	185	45
STANDAARD	2011	189	204	-16
	2012	244	234	10
	2013	246	231	14
	2014	258	191	68
	2015	242	183	58
	2016	236	233	3
	Gemiddeld	236	213	23

3.11 Overzicht resultaten parameters per systeem

In Tabel 31 is een overzicht gegeven van de resultaten van de parameters zoals gedefinieerd in paragraaf 2.2.10. LAAG voldoet (bewust) niet aan de EOS-aanvoer. De opbrengsten liggen gemiddeld 8% onder het streven. Opbrengsten van aardappel en conservenerwt liggen vooral onder het streefniveau. Geen van de gewassen ligt er ruim boven. Het stikstofbodemoverschot ligt ruim boven de streefwaarde. De nitraatconcentratie in het grondwater ligt iets boven de streefwaarde. De stikstofuitspoelfractie ligt ongecorrigeerd onder de streefwaarde maar gecorrigeerd boven de streefwaarde. De N-min na oogst is gemiddeld wat aan de lage kant en geeft indicatie dat de stikstofvoorziening voor de gewassen iets te laag is. Daarnaast is de pH iets te laag en het kalioverschot iets te hoog. De overige parameters liggen binnen de streeftrajecten.

STANDAARD heeft een bewuste organisch stofaanvoer binnen het streeftraject. De opbrengsten liggen gemiddeld 3% onder het streven. Opbrengsten van aardappel en conservenerwt liggen vooral onder het streefniveau, bij de prei ligt de opbrengst ruim boven het streefniveau. Het stikstofbodemoverschot ligt ruim boven de streefwaarde zoals ook de nitraatconcentratie in het grondwater. De stikstofuitspoelfractie ligt ongecorrigeerd onder de streefwaarde maar gecorrigeerd boven de streefwaarde. De overige indicatoren scoren binnen de streeftrajecten al is de N-min najaar mogelijk aan de hoge kant.

Tabel 31 Overzicht maatstaven en streefwaarden en resultaten van de systemen STANDAARD en LAAG in de periode 2011-2016. De twee getallen bij stikstofbodemoverschot en uitspoelfractie geven de resultaten ongecorrigeerd en gecorrigeerd weer. Donkerrood geeft aan grote afwijking van streefwaarde (>10%) Lichtrood geeft aan kleine afwijking van streefwaarde (<5%). Groen betekent in streeftraject of boven streefwaarde.

Maatstaf	Streefwaarde	Eenheid	Realisatie	
			LAAG	STANDAARD
EOS-aanvoer	>2000	kg EOS/ha	1009	1920
Opbrengsten	100%	%	92%	97%
<i>Bodem</i>				
Pw	30 – 45	mg P2O5/l grond	35	44
K-getal	11 – 17	-	12	13
pH	5,5 – 5,8	-	5,4	5,5
<i>Stikstofstromen</i>				
Stikstofbodemoverschot	<50	kg/ha	89/81	102/79
Werkzame stikstofaanvoer met mest	168	kg/ha	168	164
N-min na oogst (0-60 cm)	30 – 40	kg//ha	25	38
N-min najaar (0-90 cm)	30 – 45	kg/ha	35	42
Nitraatconcentratie in grondwater	50	mg NO ₃ /l	56	66
Stikstofuitspoelfractie	75%	%	67/83	65/81
<i>Fosfaat- en kali balans</i>				
Fosfaatoverschot	-5 – 5	kg/ha	-2	-3
Kalioverschot	<40	kg/ha	46	23

3.12 Compostplots

Excellfile "Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016 Gangbaar.xls"

- OVERZICHT COMPOST
- GEWAS kolommen K-L, P-Q, AM-AO
- MEST kolommen BJ-BP, BR-BT
- NO₃ GRONDWATER E-F

3.12.1 EOS-aanvoer

De toevoeging van compost aan de systemen zorgt voor een toename van EOS aanvoer van bijna 3000 kg/ha (Tabel 32). De EOS toevoer van gewasresten neemt niet toe bij toevoeging van compost, maar neemt zelfs iets af, door minder productie van gewasresten (zie ook paragraaf 3.12.2). De EOS aanvoer van de groenbemesters in de compostplots is niet bepaald, en daarom ook niet weergegeven in Tabel 32. Dit maakt dat de kolommen organische mest en gewasrest niet optellen tot het totaal.

Tabel 32 Gemiddelde totale EOS aanvoer en gemiddelde EOS aanvoer van organische mest en gewasrest per systeem met en zonder compost. EOS in kg/ha, gemiddeld over de periode 2013-2016.

	Totaal	Organische Mest	Gewasrest
LAAG	952	36	612
LAAG compost	3863	2978	581
STANDAARD	2333	1360	629
STANDAARD compost	5231	4304	577

3.12.2 Opbrengst

De versopbrengsten op de compostplots zijn gemiddeld in STANDAARD vrijwel gelijk aan de opbrengsten van de plots zonder compost (Tabel 33). Geen van de gewassen geeft grote opbrengstverschillen. In LAAG zijn de versopbrengsten in de compostplots ten opzichte van geen compost gemiddeld 5% hoger. De snijmaïsoopbrengst in LAAG is op de compostplots is gemiddeld 10% hoger dan op de plots zonder compost, de opbrengst van suikerbieten en prei is 5% hoger. De opbrengst van zomergerst en aardappel in LAAG is vrijwel gelijk bij wel of geen compost. Er zijn geen significante verschillen in de opbrengsten tussen wel en niet aanvoer van compost zowel bij systemen STANDAARD als LAAG.

Tabel 33 Versopbrengst hoofdproduct in ton/ha per gewas geteeld op de compostplots in de periode 2013-2016.

Jaar	2013	2014	2014	2015	2015	2016	2016
Gewas	Prei	Suikerbiet	Zomergerst	Snijmaïs	Suikerbiet	Aardappel	Snijmaïs
Perceel	27.1/27.2	18.1/18.2	27.1/27.2	18.1/18.2	27.1/27.2	18.1/18.2	27.1/27.2
LAAG	46,2	99,0	8,0	49,1	90,9	32,9	41,3
LAAG compost	48,0	101,8	8,1	53,4	98,7	32,7	46,0
STANDAARD	47,0	97,2	7,6	49,4	100,9	41,7	46,0
STANDAARD compost	47,3	98,0	7,5	48,9	104,7	41,1	47,9

In beide systemen wordt er een gemiddelde hogere droge stofopbrengst gehaald in de compostplots ten opzichte van dezelfde percelen zonder compost (Tabel 34). Geen van de gevonden verschillen zijn significant. De (niet-significante) hogere droge stofopbrengst is volledig toe te wijden aan het hoofdproduct, de productie van de gewasresten is in de compostplots zelfs wat lager dan in de plots zonder compost. De verschillen in STANDAARD zijn relatief kleiner dan in LAAG. Het verschil tussen totale droge stofproductie en de som van de droge stofproductie van hoofdproduct en gewasrest zit in de droge stofproductie van de groenbemester. Deze is voor de compostplots niet apart bepaald en daarom niet weergegeven en veronderstelt gelijk te zijn aan de plots zonder compost in hetzelfde systeem.

Tabel 34 Gemiddelde totale droge stofproductie en gemiddelde droge stofproductie uitgesplitst in hoofdproduct en gewasrest in ton/ha over de periode 2013-2016.

	Totaal	Hoofdproduct	Gewasrest
LAAG	16,8	14,0	1,7
LAAG compost	17,6	14,8	1,6
STANDAARD	16,9	13,7	1,8
STANDAARD compost	17,0	14,0	1,6

3.12.3 Stikstof-, fosfaat- en kaliaanvoer

De toevoeging van compost zorgt voor een extra stikstofaanvoer van ongeveer 90 kilo per hectare. Voor werkzame stikstof is dit verschil veel kleiner, op basis van de landbouwkundige werking levert de compost gemiddeld 18 kg/ha extra werkzame stikstof. Op basis van de wettelijke werking (10%) is dit verschil 9 kg/ha (Tabel 35).

Met de compost wordt ook extra fosfaat en kali aangevoerd. Voor fosfaat gaat het om een verschil van ongeveer 40 kg/ha en de kaligift is in de compostplots in LAAG 6 kg/ha meer en in STANDAARD 41 kg/ha meer dan in de plots zonder compost. Het verschil in kali tussen wel of geen compost in LAAG is relatief gering, omdat er hier gecompenseerd wordt. Dit is mogelijk in LAAG door het grotere aandeel kunstmestbemesting dan in STANDAARD. Daarnaast wordt kali in LAAG voor een groter deel aangevoerd met kunstmest dan fosfaat, waardoor compenseren voor kali makkelijker is.

Tabel 35 *Stikstof-, fosfaat- en kaliaanvoer uit mest, en werkzame stikstofaanvoer in kg/ha gemiddeld over de periode 2013-2016.*

	Stikstof in organische mest	Stikstof werkzaam Nmin/Norg	Stikstof werkzaam wetgeving	Fosfaat	Kali
LAAG	83	151	156	65	246
LAAG compost	176	169	165	101	252
STANDAARD	137	150	156	55	240
STANDAARD compost	230	168	166	90	281

3.12.4 Nitraatconcentraties in het grondwater

Op de percelen 27.1 en 27.2 is gedurende de winter de nitraatconcentratie ook in de compostplots gemeten. Resultaten hiervan staan in Tabel 36. In beide systemen is de nitraatconcentratie gemiddeld 1,1 mg N-NO₃/l lager in de plots met compost. Opvallend is dat de verschillen vooral in de eerste jaren groot zijn en in 2016 de compostplots zelfs een iets hogere uitspoeling hebben dan de plots zonder compost. De gemeten verschillen zijn niet significant.

Tabel 36 *Gemiddelde nitraatconcentratie (mg NO₃/l) in het grondwater in de plots met en zonder compost op percelen 27.1 en 27.2 gemiddeld over de periode 2013-2016.*

	gemiddeld	2013	2014	2015	2016
LAAG	63	41	74	45	94
LAAG compost	59	33	61	45	96
STANDAARD	71	46	101	25	113
STANDAARD compost	66	30	95	27	114

4 Discussie

4.1 Systeemvergelijking

4.1.1 Vergelijking van verschillen in EOS-aanvoer

Een goede bodemkwaliteit is van belang voor een ongestoorde en goede gewasproductie en goede nutriëntenbenutting. Bij bodemkwaliteit speelt organische stof een belangrijke rol, zowel bij de chemische, fysische als biologische bodemvruchtbaarheid. Door de aangescherpte mestwetgeving is de ruimte voor organische stofaanvoer met organische mest afgenomen. Vanuit de praktijk roept dit de vraag op welke gevolgen dit op de langere termijn heeft voor de gewasproductie. Verder is het de vraag welk effect beperking van de organische stofaanvoer heeft op de uitspoeling.

In lange termijn onderzoek kunnen de interacties tussen de verschillende vragen onderzocht worden. Het project Bodemkwaliteit op Zand beoogt vanuit een systeembenadering antwoord te geven op deze vragen. Als onderdeel van dit project zijn in dit rapport de resultaten beschreven van de vergelijking van twee gangbare systemen die verschillen in aanvoer van EOS: in LAAG wordt circa 1000 kg EOS per ha per jaar aangevoerd en in STANDAARD ruim 1900 kg EOS per ha per jaar. Bij de compostplots is in beide systemen daar bovenop aanvullend gemiddeld bijna 3000 kg EOS per ha per jaar extra toegediend.

De aard van de EOS is wel verschillend tussen de systemen. In LAAG betreft het hoofdzakelijk gewasresten en groenbemesters, terwijl het in STANDAARD gaat om een mix van gewasresten/groenbemesters en dierlijke mest. De aanvoer van EOS met gewasresten en groenbemesters is voor beide systemen van dezelfde grootte orde. Het verschil is derhalve een gevolg van de aangevoerde dierlijke mest (mix van varkensdrijfmest en rundveedrijfmest) in STANDAARD. Ook bij de compostplots speelt behalve een verschil in hoogte van de EOS-aanvoer ook een verschil in de aard van de EOS mee.

Het verschil in EOS-aanvoer tussen STANDAARD en LAAG is feitelijk in 2005 gestart. In de periode daarvóór, gedurende het project Telen met toekomst, was de EOS-aanvoer tussen de systemen nog vrijwel gelijk. Daarvoor hadden vrijwel alle percelen een zelfde behandeling wat betreft organische stofaanvoer. In dit rapport worden de effecten van EOS-aanvoer in het 7^e tot en met het 12^e jaar vanaf de start van de proef in 2005 gerapporteerd. De compostplots zijn in 2011 aangelegd dus in dit rapport rapporteren we hierover het 1^e tot en met het 6^e jaar.

4.1.2 Kanttekeningen bij het onderzoek

Bij de interpretatie van de resultaten moeten een aantal kanttekeningen worden gemaakt op gebied van statistische verwerking, voorgeschiedenis en specifieke locatieaspecten. Deze worden hieronder toegelicht.

Vanuit statistisch oogpunt kent het onderzoek beperkingen. Ten eerste betreft het geen proef in herhalingen. Wel waren elk jaar alle gewassen van de 6-jarige vruchtwisseling aanwezig waardoor percelen en/of jaren als herhalingen gezien kunnen worden en wordt nu gerapporteerd over de periode van één volledige vruchtopvolgving van 6 jaar. Ten tweede zijn STANDAARD en LAAG binnen een gewasperceel niet geward aangelegd, maar lagen altijd in dezelfde volgorde naast elkaar.

De velden van de systemen STANDAARD en LAAG zijn ook in voorgaande periodes gebruikt voor systeemonderzoek. Vanaf 2004 was de rotatie en de bemesting vergelijkbaar met die in de BKZ-periode. Daarvóór waren er in meer of mindere mate verschillen bij zowel de bemesting als de rotatie waardoor de voorgeschiedenis van beide systemen niet identiek is geweest. Enerzijds kan gesteld worden dat tijdelijke effecten uit het verleden waarschijnlijk geen grote invloed meer hebben op de

periode van de huidige rapportage 2011-2016; anderzijds blijkt dat de bodemvruchtbaarheid van LAAG voorafgaand en bij de start van de vergelijking op diverse parameters lager was dan STANDAARD. Dit was het geval voor alle in acht genomen bodemparameters op het K-getal na. Voor het organische stofgehalte, P-CaCl₂, P-AL, Pw, en de CEC was dit verschil significant. Het organische stofgehalte verschilde bij aanvang van de vergelijking in 2005 vrijwel niet, maar was in de periodes daaraan voorafgaand circa 0,2%-punt% lager in LAAG (niet significant), Ook de fosfaat- en kalitoestand waren lager in LAAG. De vraag is welk effect dit heeft op de resultaten van het onderzoek vanaf 2005. Voor fosfaat is de verwachting dat dit geen of slechts een beperkt effect zal hebben gehad op de gewasproductie, omdat de niveaus in alle gevallen boven de landbouwkundige streefwaarden voor deze parameters lagen, voor kali kan dit wel het geval zijn ook gezien groot verschil in kali-afvoer (zie verder ook paragraaf 4.2).

De invloed van het Peelkanaal is in het huidige project veel kleiner dan ten tijde van Telen met Toekomst (2001-2003, Smit et al. 2005), omdat de percelen 19 en 29 die grenzen aan het Peelkanaal buiten de projectopzet zijn gehouden in Bodemkwaliteit op zand. Wel is enige invloed merkbaar van het Peelkanaal in de percelen 18.2 en 28.2 via een hogere grondwaterstand op deze percelen. Mogelijk is dit ook het geval in perceel 18.2 vanwege de zeer lage nitraatconcentraties in het grondwater onder dit perceel. Uit een statistische analyse van de nitraatconcentraties in het grondwater van 2012-2014 kon geen invloed van het Peelkanaal worden vastgesteld op de nitraatconcentraties (Overveld, 2015).

Specifiek voor de compostplots geldt dat er waar mogelijk gecorrigeerd is op fosfaat en kali door verlaging van de kunstmestgiften. Dit was vanwege het lage kunstmestgebruik nauwelijks mogelijk voor fosfaat in beide systemen en voor kali in STANDAARD, maar wel goed mogelijk voor kali in LAAG. Het gelijk trekken door de niet-compostgedeelten extra fosfaat en kali te geven is niet gedaan, omdat anders de bemesting gaat afwijken met de velden waar geen compostplots zijn aangebracht. Voor stikstof is niet gecompenseerd, omdat was uitgegaan van geen of zeer beperkte werking (0% voor stikstofarme groencompost volgens het Handboek Bodem en Bemesting). Achteraf blijkt echter dat de berekende werking van stikstof uit de groencompost hoger is dan verwacht. De berekende eerstejaars werking op basis verhouding Nm en Norg was gemiddeld 18 kg/ha. In de compostplots kan dus een nutriënteneffect aanwezig zijn bovenop of (deels) in plaats van het effect van de hogere organische stofaanvoer. Dit geldt ook voor fosfaat, en in mindere mate voor kali.

Samenvattend; de systemen STANDAARD en LAAG kunnen met elkaar vergeleken worden met als kanttekeningen dat de objecten niet geward liggen en er een verschil in uitgangssituatie is in bodemvruchtbaarheid. De vergelijking vindt plaats voor het 7^e tot het 12^e jaar vanaf de start van de proef. Naast een verschil in hoogte van de organische stofaanvoer is er ook een verschil in aard van de aangevoerde organische stof tussen de objecten en mogelijk een verschil in beschikbare nutriënten waar stikstof en kali de belangrijkste zijn. Systeemonderzoek laat echter lastig toe om het eventuele effect van laatstgenoemde factoren met behulp van aangelegde trappen te toetsen.

4.1.3 Systeemprestaties

De prestaties van de systemen zoals weergegeven in Tabel 31 zijn duidelijk verschillend. STANDAARD haalt op een meerderheid van de punten een betere score dan LAAG, al zijn de verschillen soms klein. Op het stikstofbodemoverschot en de nitraatconcentraties in het grondwater scoort LAAG beter. De opbrengsten liggen gemiddeld iets onder de streefwaardes. LAAG scoort, bewust, laag op de EOS-aanvoer. Daarnaast scoort LAAG net als STANDAARD onvoldoende op het stikstofbodemoverschot en de nitraatconcentraties in het grondwater hoewel de prestaties iets beter zijn. Wel zijn de opbrengsten beduidend lager (5%) en ligt ook de pH, N-min na oogst en het kalioverschot buiten het streeftraject. Het hogere berekende kalioverschot wordt veroorzaakt door de lagere opbrengsten, de lage N-min na oogst mogelijk door de krappe stikstofbeschikbaarheid, ook relatief ten opzichte van STANDAARD. De kleine afwijking van de pH heeft naar verwachting geen echt effect op de andere prestaties van het systeem.

In de gedefinieerde streefwaardes zijn niet alle aspecten van het bedrijfssysteem opgenomen. Zaken op gebied van gewasbescherming en economie ontbreken. Gewasbescherming is niet meegenomen

omdat er geen verschillen zijn in de strategie tussen de systemen. De economie is beperkt meegenomen. Zo zijn opbrengsteffecten financieel doorgerekend (zie paragrafen 3.2.4 en 4.4).

Naast opbrengsten is er wel een verschil in kosten van meststoffen inclusief toediening dat is berekend op € 168/ha in het voordeel van STANDAARD, de extra compostaanvoer op de compostplots kost gemiddeld € 120/ha (pers. comm. Joanneke Spruijt). LAAG brengt daarmee ca. 9% minder op dan STANDAARD. De compostplots zouden ca. 2% hogere opbrengst moeten hebben om de kosten van de compost (gemiddeld ca. € 120/ha) terug te verdienen. Voor LAAG is dit het geval, voor STANDAARD in deze periode niet.

4.2 Effect van organische stofbeheer op productie en bodemkwaliteit

4.2.1 Effecten op opbrengst

Uit de resultaten blijkt dat bij vier van de zes gewassen er sprake is van een lagere marktbaar opbrengst in LAAG in vergelijking met STANDAARD, uiteenlopend van 4% bij snijmaïs tot 13% bij prei. Voor geen enkel gewas was het verschil overigens significant. Dit was wel het geval op bouwplanniveau voor de marktbaar opbrengst en de totale droge stofproductie (oogstproduct, gewasrest en groenbemesters; gemiddeld over alle gewassen in de rotatie). Laatstgenoemde was in LAAG 7% lager dan in STANDAARD.

Het toedienen van extra compost leidde gemiddeld over de gewassen tot een 5% hogere opbrengst (niet significant) in LAAG, terwijl er in STANDAARD vrijwel geen verschil was in opbrengst. De opbrengsten in LAAG met compost liggen gemiddeld op het niveau van STANDAARD zonder compost. Het opbrengstverschil tussen STANDAARD en LAAG is gemiddeld over de gewassen vrijwel niet meer aanwezig bij toediening van compost.

De vraag is wat de oorzaak is van de bovengenoemde productiever verschillen. Bij een verschil in organische stofbeheer kunnen waargenomen verschillen in gewasproductie een gevolg zijn van verschillen in nutriëntenbeschikbaarheid en/of niet-nutriënteneffecten. Bij het laatste gaat het bijvoorbeeld om verschillen in vochtbeschikbaarheid, bodemstructuur en aanwezigheid van bodempathogenen.

4.2.2 Nutriënteneffecten

Met betrekking tot nutriëntenvoorziening is stikstof doorgaans het meest bepalend voor de gewasproductie. Tot en met 2013 is er zo goed mogelijk volgens de stikstofbehoefte bemest. Daarna is de stikstofbemesting verlaagd vanwege de aanscherping van de gebruiksnormen. Dat geldt weliswaar voor beide systemen, maar de lagere aanvoer van organische stikstof in LAAG leidt tot een lager mineralisatieniveau waardoor er een verschil in stikstofbeschikbaarheid kan zijn ontstaan (paragraaf 3.4.5). In dat geval zou het verschil in gewasproductie tussen STANDAARD en LAAG vanaf 2014 moeten toenemen. Dit beeld kwam niet duidelijk naar voren (Tabel 10). Bij de gemiddelde droge stofproductie van de rotatie was het opbrengstverschil tussen STANDAARD en LAAG in de periode 2014-2016 kleiner dan in de periode 2011-2013. Het gemeten stikstofgehalte in het geoogste product is bij vier van de zeven geteelde gewassen lager bij LAAG dan bij STANDAARD, al zijn de verschillen klein en alleen bij de zomergerst is dit verschil significant. In beide systemen zijn de stikstofgehalten lager dan de landelijk gebruikte forfaitaire gehalten m.u.v. conservenerwt. Dit kan op stikstofgebrek duiden. Als de gehalten in de gewassen vergeleken worden met dezelfde gewassen geteeld op dezelfde percelen in eerdere periodes (1991-2005) is het gemiddelde stikstofgehalte in de aardappel gelijk. Voor suikerbiet, snijmaïs en conservenerwt zijn de gehalten gedaald ten opzichte van deze periode. Voor suikerbiet is hier een logische verklaring voor, er is een trend in rasontwikkeling die heeft geleid tot enorm stijgende opbrengsten, bij gelijkblijvende stikstofbemesting, dus logischerwijs wat lagere gehalten in de suikerbiet (pers. comm. Peter Wilting, IRS). Voor de snijmaïs en de conservenerwt zijn er niet direct verklaringen voor de daling in stikstofgehalten in de gewassen al is er

bij snijmaïs ook een stijging in opbrengsten (pers. comm. Jos Groten, WUR), zij het minder spectaculair als bij suikerbiet en zonder bewijs dat de stikstofbehoefte niet gestegen is. Hier zou dus sprake kunnen zijn van een stikstofgebrek. Van de overige gewassen zijn geen gehalten uit eerdere jaren bekend.

Er bestond geen duidelijk productieverval tussen de periodes voor (2011-2013) en na verlaging van de stikstofbemesting (2014-2016). In LAAG was de opbrengst in 2014-2016 m.u.v. zomergerst hoger dan in 2011-2013. In STANDAARD is dat bij drie van de zes gewassen het geval. Bij de totale droge stofproductie was in STANDAARD de productie in 2014-2016 lager dan in 2011-2013, terwijl in LAAG het omgekeerde het geval was. Het beeld is dat de verlaging van de stikstofbemesting vanaf 2014 eerder in STANDAARD tot een lagere opbrengst heeft geleid dan in LAAG. In dezelfde tijd is in STANDAARD overgegaan naar een grotere inzet van rundveedrijfmest in plaats van varkensdrijfmest. Het percentage stikstof van varkensdrijfmest van de totale stikstof uit drijfmest is gedaald van 70% in 2011 naar 50% in 2012/2013 naar ca 25% in 2014/2015 en 15% in 2016. Mogelijk is de beschikbaarheid van stikstof hierdoor lager, omdat de landbouwkundige werkingscoëfficiënt (1^e-jaars) van de rundveedrijfmest voor veel bouwlandgewassen lager is dan de wettelijke werkingscoëfficiënt, terwijl deze voor varkensdrijfmest meer vergelijkbaar is. Dit zou betekenen dat stikstofeffecten mogelijk toch een rol kunnen hebben gespeeld bij de opbrengstverschillen tussen STANDAARD en LAAG. Anderzijds gaf de toediening van compost met de daarbij behorende extra werkzame stikstof alleen een meeropbrengst in LAAG (niet significant), in STANDAARD werd er geen extra opbrengst gerealiseerd.

Verder kan meespelen dat verlaging van de stikstofbemesting mogelijk relatief minder effect heeft wanneer de bemesting vooral uit beter beschikbare minerale stikstof bestaat zoals in LAAG, hoewel de risico's van ammoniakemissie wel wat hoger zijn (de gebruikte meststoffen bevatten ammonium). Dit betreft de eerstejaarswerking. Zoals eerder aangegeven is op de langere termijn de verwachting dat het mineralisatieniveau in LAAG lager is waardoor de N-beschikbaarheid lager is t.o.v. STANDAARD.

Bij de fosfaatbemesting is voor beide systemen uitgegaan van evenwichtsbemesting. Gemiddeld over de onderzoeksperiode was het overschot bij beide systemen licht negatief (-2 tot -3 kg P₂O₅ per ha). Zowel de fosfaataanvoer als de afvoer was in LAAG gemiddeld circa 5 kg P₂O₅ lager dan in STANDAARD. De fosfaatbodemparemeters (P-PAE, Pw en P-AI) waren alle drie in LAAG lager dan in STANDAARD. Zoals eerder aangegeven was dit ook bij aanvang van de vergelijking het geval. Zo lag de Pw in LAAG rond 35 en in STANDAARD rond 45. Anderzijds lagen de waarden in LAAG binnen het landbouwkundige streeftraject (Pw 30-45). Ook was er geen goed verband met het waargenomen opbrengstverschil en de fosfaatbehoefte van het gewas. Het opbrengstverschil was bij prei het grootst terwijl dit gewas in het bemestingsadvies als niet-fosfaatbehoefstig wordt aangemerkt.

De kaliaanvoer was voor beide systemen van dezelfde grootte orde. De kalitoestand was in LAAG lager dan in STANDAARD, maar het verschil was gering (kaligetal in LAAG lag rond 12 en in STANDAARD rond 13). Evenals bij fosfaat lag de kalitoestand van beide systemen binnen het landbouwkundig streeftraject (11-17). De fosfaat- en kaligehalten in de oogstproducten zijn maar in één jaar bepaald, zodat niet kon worden getoetst of er een verschil bestond in gehalte tussen de beide systemen.

Hoewel de gewassen niet supra-optimaal zijn bemest, blijkt uit bovenstaande dat nutriëntengebrek waarschijnlijk geen doorslaggevende rol heeft gespeeld bij de waargenomen opbrengsteffecten, hoewel stikstof- en kali-effecten niet helemaal uit te sluiten zijn.

4.2.3 Niet-nutriënten effecten

Gemiddeld over de periode 2011-2016 was het organische stofgehalte in LAAG 0,4%-punt lager dan in STANDAARD. Dit verschil was significant. In de periode daarvoor was het organisch stofgehalte van LAAG gemiddeld 0,2%-punt lager dan STANDAARD maar dit verschil was niet significant. Het is goed mogelijk dat de stijging van het verschil veroorzaakt wordt door de verschillen in EOS-aanvoer, echter dit is lastig met de metingen aan te tonen. Jaarlijks wordt in LAAG gemiddeld 900 kg EOS minder aangevoerd dan in STANDAARD. Dit komt overeen met 0,5% van de totale hoeveelheid organische stof in de bouwvoor of wel 0,02%. Rekening houdend met de afbraak van de organische stof is na 12

jaar een verhoging van 0,1-0,2% van het organisch stofgehalte te verwachten. Groenendijk et al. (2017) simuleerden een verschil in organisch stofgehalte in de orde van 0,1-0,2%-punt over 15 jaar voor de systemen van Vredepeel. Hospers-Brands & van der Burgt (2013) simuleerden een verschil van 0,3% over 30 jaar. De gemeten toename in organisch stofgehalte die nu gemeten wordt is circa drie keer groter dan gesimuleerd. Bij de compostplots zijn nog geen organische stofmetingen uitgevoerd waardoor niet bekend is of na 6 jaar toediening er verschillen zijn ontstaan en dit mogelijk een verklaring kan zijn voor de waargenomen positieve opbrengsteffecten van compost in LAAG.

Hijbeek et al. (2017) vonden in een meta-analyse van 20 lange termijn experimenten gemiddeld geen significant effect van organische stoftoevoer op de gewasopbrengst. Voor specifieke situaties was dit echter wel het geval. Zo werd een positief effect gevonden bij aardappel (+7%) en maïs (+4%). Ook was het effect van organische stof sterker op gronden met een lager kleigehalte. De opbrengstverschillen tussen LAAG en STANDAARD binnen Bodemkwaliteit op zand zijn in lijn met Hijbeek et al. Opbrengstverschillen mogen verwacht worden gezien het lage kleigehalte. De verschillen in opbrengst zijn in beide studies even groot. Gezien het lage kleigehalte was misschien een groter effect te verwachten geweest. Wel is opvallend dat zomergerst in Bodemkwaliteit op zand een even groot opbrengsteffect laat zien als aardappel terwijl in Hijbeek et al de granen geen effect laten zien.

Er is ook gekeken naar de aanwezigheid van plantparasitaire aaltjes. Er zijn besmettingen met diverse soorten aaltjes gevonden (o.a. wortelknobbelaaltjes, wortellesieaaltjes), maar er was geen verschil tussen de systemen (Visser et al., 2014). Ook in de fysische bodemvruchtbaarheid (o.a. indringingsweerstand, watervasthoudend vermogen en porievolume) zijn geen verschillen gevonden tussen de systemen (Vervoort, 2016). De bepaling van niet-chemische bodemparameters in de proef is nog beperkt geweest. Daarom is het lastig om aan te geven of er verschillen en trends tussen de systemen aanwezig zijn.

Het opbrengstverschil tussen STANDAARD en LAAG fluctueerde sterk tussen jaren en gewassen. Wat betreft het verschil tussen jaren was er bij geen van de gewassen een duidelijk verband met de weersomstandigheden (neerslag, temperatuur).

Wat betreft niet-nutriënten effecten is het beeld dat alleen bij het organische stofgehalte een verschil is gevonden. Er mag verwacht worden dat dit veroorzaakt wordt door het verschil in EOS-aanvoer tussen de systemen en mogelijk heeft het lagere organische stofgehalte in LAAG een negatief effect gehad op de gewasproductie.

Enige terughoudendheid in vergelijking met de landbouwpraktijk in Zuidoost Nederland is nodig gezien de lagere opbrengsten in de proef ten opzichte van de praktijkopbrengsten op het proefbedrijf, met name in aardappel, conservenerwt en prei. De enige logische verklaring hiervoor is dat de percelen van BKZ al vanaf 1988 matig bemest zijn wat heeft geleid tot een lagere bodemvruchtbaarheid in algemene zin. Dit wordt niet teruggevonden als de bodemvruchtbaarheidsanalyses van deze percelen worden vergeleken met de analyses van de praktijkpercelen (van Geel et al., 2011). Andere verklaringen ontbreken. Met deze lagere opbrengsten in BKZ kunnen overschotten hoger zijn waardoor uitspoeling ook hoger is in de systemen binnen dit project vergeleken met de praktijk.

Vergelijking van de nitraatuitspoeling met de praktijk is ook lastig vanwege de aanwezigheid van de drainage en de onbekendheid over welk deel van het neerslagoverschot via de drains worden afgevoerd. In de toekomst is het aan te bevelen om ook de bijdrage van de afvoer via drains in te schatten en de nitraatconcentraties in de drains te bepalen. Daarnaast speelt ook een rol dat het onbekend was hoe hoog de grondwaterstand was in de nitraatmetingen voor 2015. Deze wordt sinds 2015 wel gemeten.

4.3 Effect van organische stofbeheer op stikstofefficiëntie en stikstofverliezen

4.3.1 Stikstofefficiëntie

De stikstofefficiëntie, uitgedrukt als de fractie van de totaal aangevoerde stikstof die wordt afgevoerd met het geoogst product, verschilde niet tussen de systemen. De aangevoerde en afgevoerde stikstof verschilden wel tussen de systemen, waardoor het stikstofbodemoverschot in LAAG lager was dan in STANDAARD.

4.3.2 Stikstofuitspoeling

De aanvoer van organische stof kan op een aantal manieren effect hebben op de stikstofuitspoeling. Een lagere aanvoer van organische stof en daarmee van organische stikstof leidt op termijn tot een lager stikstofmineralisatieniveau. Een deel van de gemineraliseerde stikstof komt vrij in periodes met geen of weinig gewasgroei en opname van stikstof, waardoor de uitspoeling stijgt. Anderzijds kan verlaging van de organische stofaanvoer mogelijk ook het risico op stikstofuitspoeling verhogen. Dit is het geval wanneer het stikstofbodemoverschot stijgt en/of de uitspoelfractie stijgt. Een stijging van het bodemoverschot, bij een lagere organische stofaanvoer, vindt plaats indien de stikstofafvoer (door lagere opbrengsten) sterker daalt dan de stikstofaanvoer. De uitspoelfractie kan bij een lagere organische stofaanvoer stijgen door een geringere denitrificatie waardoor een kleiner deel van het stikstofbodemoverschot denitrificeert en daardoor meer stikstof beschikbaar is voor uitspoeling.

In Tabel 37 zijn de kengetallen voor het bodemoverschot en uitspoeling samengevat. Vergelijking van STANDAARD en LAAG laat zien dat het bodemoverschot bij meer organische stof (STANDAARD) hoger is dan in LAAG. Weliswaar is de afvoer hoger maar deze compenseert onvoldoende de gestegen aanvoer. De uitspoelfractie verschilt niet duidelijk tussen de systemen, dit geldt voor zowel de gecorrigeerde als ongecorrigeerde uitspoelfracties. De uitspoelfractiefractie berekend in het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid voor de grond waarop het proefveld ligt bedraagt 75% (GT VII). De ongecorrigeerde uitspoelfracties liggen daaronder en de gecorrigeerde fracties daarboven.

Net als het bodemoverschot is de nitraatconcentratie in het grondwater in LAAG lager dan in STANDAARD, hoewel dit niet significant was. De significant lagere waarden voor minerale bodemstikstof na de oogst en in het najaar in LAAG stemmen hiermee overeen.

De berekening van de stikstofbalans kent een aantal onzekerheden. Vooral de schatting van de stikstofbinding van grasklaver en conservenerwt kent veel onzekerheden. Bij voortzetting van de proef kan onzekerheid over de werkelijke waarde van de stikstofbinding worden verkleind door binnen de grasklaver kleine veldjes aan te leggen zonder klaver. Het verschil in stikstofopbrengst per ha is vervolgens een benadering voor de stikstofbinding door de klavercomponent. Ook is er onzekerheid over de afvoer via de drains (zie paragraaf 4.2). Volgens De Vos et al. (2006) zou de afvoer via de drains 60% van het neerslagoverschot bedragen. Recente ervaringen meenemend lijkt dit erg hoog. In de winter van 2016-2017 lag de grondwaterstand in vrijwel de hele winter onder de drainagebasis en in de winter van 2013-2014 werd geen afvoer via de drains geconstateerd in een proef van NIOO in de systemen.

Bij de correcties voor de berekening van de uitspoelfractie moeten een aantal kanttekeningen worden geplaatst. Bij de correctie van het bodemoverschot voor het nog niet in evenwicht zijn is gebruik gemaakt van het model MINIP. Bij dit model wordt de organische stof niet volledig afgebroken, maar blijft er uiteindelijk een resthoeveelheid over in de bodem en daarom ook een hoeveelheid organische stikstof die niet meer vrijkomt (Janssen, 2002). Voor varkensdrijfmest is dat circa 3% en voor rundveedrijfmest bijna 20%. De vraag is of dat overeenkomt met de werkelijkheid. Andere modellen gaan ervan uit dat alle organische stof uiteindelijk volledig wordt afgebroken en dan komt alle organische stikstof op lange termijn wel vrij. Figuur 13 laat zien dat er gedurende de onderzoeksperiode (2011-2016) nog geen sprake is van een trend dat het verschil tussen mineralisatie en aanvoer van organische stikstof afneemt, wat te verwachten zou zijn bij een redelijk

constante aanvoer van organisch materiaal. Mogelijk hangt dit samen met de zojuist genoemde niet volledige afbraak op termijn. Anderzijds is in 2014-2016 het aandeel rundveedrijfmest toegenomen t.o.v. varkensmest waardoor zich eerst weer een nieuw evenwicht moet instellen.

Tabel 37 *Effectieve organische stofaanvoer, stikstofbodembalans, nitraatuitspoelingsparameters en minerale bodemstikstof na oogst en in najaar gemiddeld in 2012-2015 voor de systemen STANDAARD en LAAG, zoals gemeten en na correcties voor nawerking organische mest en gewasresten, grondwaterstand en verschil in verdamping.*

Jaar	LAAG		STANDAARD	
	Gemeten/ berekend	Na correctie	Gemeten/ berekend	Na correctie
<i>Effectieve organische stofaanvoer (kg EOS/ha)</i>	1009		1920	
<i>Stikstofbodembalans (kg N/ha)</i>				
Stikstofaanvoer	204		241	
Stikstofafvoer	120		139	
Stikstofbodemoverschot	84	75	101	77
<i>Nitraatuitspoeling</i>				
Nitraatconcentraties grondwater (mg N-NO ₃ ⁻ /l)	12,9		15,4	
Neerslagoverschot (mm)	422	458	422	422
Stikstofvracht (kg N/ha)	56	62	65	65
<i>Stikstofuitspoelfractie</i>				
Correctie N-uitspoelfractie grondwaterstand (%)		-1%		-4%
Stikstofuitspoelfractie (%)	67%	83%	65%	81%
<i>N-min najaar (kg N/ha)</i>	25		38	
<i>N-min na oogst (kg N/ha)</i>	35		42	

Een andere kanttekening die gemaakt moet worden bij de mineralisatieberekeningen door MINIP is dat het model alleen rekening houdt met de afbreekbaarheid van het organisch materiaal en de temperatuur. Er zijn meerdere omgevingsfactoren die invloed hebben op de afbraaksnelheid, die hierin niet meegenomen worden. De berekende mineralisatie met MINIP is een ruwe schatting, en bijvoorbeeld niet direct toepasbaar bij het opstellen van een bemestingsadvies.

Al met al is het lastig om uitspraak te doen over de nauwkeurigheid van de gedane correcties (nawerking, verdamping en grondwaterstand). Zoals hierboven aangegeven heeft de correctie voor de langjarige nawerking zijn beperking in het model MINIP. Daarnaast wordt er voor stikstofgehalten in stoppel- en wortelresten (input voor MINIP) een inschatting gemaakt. Het verschil in mineralisatie tussen de systemen wordt bewust gecreëerd door verschillen in aanvoer van organische stof, wat maakt dat het meenemen van deze correctie van toegevoegde waarde is, mits deze kanttekeningen in acht worden genomen. De uitkomsten op zichzelf zijn misschien niet heel veelzeggend, het vergelijken van de getallen tussen de systemen is dat zeker wel.

De correctie voor de verdamping is gebaseerd op de referentieverdamping in combinatie met de gewasfactoren. Daarnaast wordt het relatieve verschil in droge stofproductie tussen de systemen gebruikt om te corrigeren op deze berekende verdamping. Dit is een worst-case benadering omdat dit er vanuit gaat dat de verdamping het gehele seizoen lager is door een lagere productie terwijl het ook kan zijn dat een gewas halverwege het seizoen pas door tekorten of aantastingen minder gaat produceren.

De correctie voor grondwaterstand is gebaseerd op de relatie tussen grondwaterstand en uitspoelfractie volgens Fraters et al. (2012). Voor grondwatertrappen V, VI, VII en VIII wordt op basis van denitrificatiefactoren de uitspoelfractie gecorrigeerd. In dit rapport zijn de GT V en GT VIII hierbij gelijk gesteld aan een grondwaterstand van, respectievelijk, 40 en 140 cm, terwijl Fraters et al.

(2012) GT V en GT VIII gelijk stellen aan, respectievelijk, < 40 cm en > 140 cm. De correctie op de grondwaterstand is een correctie die toegepast wordt om verschillen in grondwaterstand (door verschil in ligging van de systemen) niet leidend te laten zijn voor verschillen tussen de systemen. Deze correctie wordt benaderd door een formule, gebaseerd op grondwaterstand die alleen in 2015 en 2016 zijn gemeten. De correctie blijkt klein te zijn en had gezien dit ook achterwege kunnen blijven.

In dit onderzoek was geen sprake van een significante relatie tussen het stikstofbodemoverschot en de nitraatvracht. Fraters et al. (2012) vonden op zandgrond bij zowel akkerbouwbedrijven als melkveebedrijven wel een significante relatie, maar niet op klei- en veengrond. De bandbreedte in bodemoverschot bedroeg bij Fraters 100-200 kg N per ha en in onderhavig onderzoek 40-130 kg N per ha. In beide gevallen bedroeg het verschil tussen de hoogste en laagste waarde circa 100 kg N per ha. Wel was de hoogte van het bodemoverschot bij Fraters et al. (2012) hoger. Door de afwezigheid van relaties tussen de stikstofuitspoeling en andere parameters als de N-min voorraad in de bodem en het stikstofbodemoverschot komt de vraag naar boven wat belangrijke oorzaken zijn van stikstofuitspoeling op Vredepeel. Deze lijken niet te liggen in het overschot of resterende N-min in de bodem. Anderzijds is de variabiliteit in de metingen van de nitraatconcentraties in het grondwater groot en dit maakt het leggen van relaties lastig, met name wanneer naar stikstofvrachten gekeken wordt want ook het neerslagoverschot is erg variabel. Daarnaast heeft mogelijk de drainage van de percelen nog invloed gehad op de nitraatconcentraties en het afwezig zijn van een relatie met het stikstofbodemoverschot en de andere factoren.

De modelstudies van Hospers-Brandt en van der Burgt (2013) en Groenendijk et al. (2017) geven beiden aan dat bij toepassing van compost de stikstofuitspoeling zal stijgen als de stikstofgift niet wordt aangepast. Groenendijk et al. geeft ook aan dat extra vanggewassen gewenst zijn om stikstof op te nemen uit mineralisatie van de compost na de oogst van het gewas. Beiden geven ook aan dat wanneer rekening wordt gehouden met nawerking uit de compost de uitspoeling op het huidige niveau kan blijven. In de eerste uitspoelingsmetingen tussen 3 en 6 jaar na toepassing van compost zien we een gelijk of iets lager niveau van uitspoeling. Blijkbaar hoeft op dit moment nog geen rekening gehouden te worden met de nawerking. Overigens is opvallend dat Hospers-Brandt en van der Burgt (2013) een hogere uitspoeling voor LAAG berekenen ten opzichte van STANDAARD. Tot nu toe is de uitspoeling in LAAG lager of gelijk aan STANDAARD. Ook is opvallend dat de orde van grootte van de stikstofvracht in de modelstudie ongeveer twee keer zo hoog is als in de metingen. Het bodemoverschot in deze studie ligt op 164 kg/ha voor LAAG en 159 kg/ha voor STANDAARD, veel hoger dan berekend in dit rapport (respectievelijk 89 kg/ha en 102 kg/ha). Een deel van de verklaring van dit verschil komt doordat in NDICEA gerekend is met de bemestingsstrategie en opbrengsten van 2011, die nog een hogere bemesting had dan gemiddeld over 2011-2016. In 2011 lag het bodemoverschot op 115 en 107 kg/ha voor LAAG en STANDAARD. Het is onduidelijk waar de rest van het verschil in bodemoverschot door komt.

4.3.3 Lachgasemissies

De interpretatie van de lachgasmetingen is lastig door de grote variatie in de metingen en de niet consistente resultaten tussen de jaren en de percelen. Er is dan ook geen duidelijk verband te leggen tussen de systemen en de emissies van lachgas. In 2013 was een duidelijke trend zichtbaar van toenemende lachgasemissies bij toenemende organische stofaanvoer. Die trend wordt bevestigd in ander, modelmatig, onderzoek (zoals Bos et al., 2017). In 2016 was deze trend in één van de twee percelen zichtbaar. Opvallend zijn de deels negatieve lachgasemissies. De cumulatieve emissie over het seizoen per perceel moet met voorzichtigheid bekeken worden. Deze cumulatieve emissies zijn berekend met de aanname dat de emissie tussen twee meetdatums lineair verloopt terwijl bekend is dat de emissies van gassen in de tijd pieken vertonen, met name afhankelijk van de weers- en bodemomstandigheden. Hoewel direct na bodemverstorende teeltactiviteiten gemeten is, is de vraag of de piek in emissie die dan verwacht wordt ook gemeten is, en verder is niet in beeld gebracht wat het tijdsverloop van deze piek is. Wanneer er een piekemissie plaatsvindt is nog niet goed genoeg bekend. Bovendien is het maar de vraag of deze pieken met de huidige meetmethode en frequentie van meten worden gemeten.

4.4 De waarde van organische stof

In paragraaf 3.2.5 is op basis van het verschil in financiële opbrengst en EOS-aanvoer tussen STANDAARD en LAAG afgeleid dat een kg EOS een waarde heeft van €0,54. Met deze waarde van EOS kan de waarde van organische mest uitgerekend worden, door de waarde te vermenigvuldigen met de hoeveelheid EOS in 1 ton mest (Tabel 38). Voor EOS in mest zijn forfaitaire getallen gebruikt (zie Bijlage 6). De berekende waarde loopt uiteen van € 7/ton voor varkensdrijfmest tot ruim €95/ton voor compost. Bij deze berekening moet wel worden benadrukt dat het gehele opbrengsteffect is toegerekend aan de extra organische stof terwijl ook andere componenten in de mest een rol gespeeld kunnen hebben.

Ter informatie is ook de bemestende waarde (NPK) gegeven. Bij de organische stofrijkere mestsoorten is deze aanzienlijk lager dan de berekende waarde van de organische stof.

De genoemde prijzen liggen veel hoger dan wat er nu voor betaald wordt. Dit komt doordat er sprake is van een overschotsituatie waardoor prijzen vaak negatief zijn voor afnemers.

Tabel 38 Waarde van organische stof (berekend op basis van €0,54 per kg EOS. Deze waarde is afgeleid van financiële opbrengstverschil en verschil in EOS-aanvoer tussen STANDAARD en LAAG) en nutriënten (NPK) van een aantal organische mestsoorten.

	Waarde EOS (€/ton)	Bemestende waarde ¹ (€/ton)
Varkensdrijfmest	7	13
Rundveedrijfmest	24	9
Vaste rundermest	57	13
GFT-compost	97	10

¹ gebaseerd op standaardgehalten volgens Handboek Bodem en Bemesting en kunstmestprijzen volgens KWIN 2015

4.5 Organische stofvoorziening binnen beleid

4.5.1 Organische stofvoorziening en de mestwetgeving

Eén van de aanleidingen van deze rapportage was de vraag of dit onderzoek onderbouwing biedt voor een equivalente maatregel rond aanvoer van organische stof. Een equivalente maatregel is een maatregel die tot een zelfde milieuprestatie leidt als de verplichte maatregelen in het mestbeleid. Goedkeuring van een equivalente maatregel kan extra bemestingsruimte of andere voordelen opleveren. De maatregel moet wel onderbouwd worden met wetenschappelijk onderzoek. De resultaten van dit onderzoek bieden geen onderbouwing voor een equivalente maatregel rond aanvoer van organische stof. Het systeem met een lagere EOS-aanvoer had een lager stikstofbodemschot en een niet veranderende uitspoelfractie, wat leidt tot een lagere uitspoeling. Hoewel het laatste niet significant was, waren de gemeten hoeveelheid minerale bodemstikstof na de oogst en het najaar wel significant lager in LAAG, waardoor een lagere EOS-aanvoer (in deze proef gerealiseerd door zo min mogelijk organische stof uit dierlijke mest aan te voeren) een lager uitspoelingsrisico lijkt te geven. Het onderzoek geeft wel aan dat onvoldoende aanvoer van organische stof (en daarmee onvoldoende organisch gebonden nutriënten) op termijn kan leiden tot verminderde gewasproductie.

Hoewel de mestwetgeving de aanvoer van organische mest beperkt, meestal via de fosfaatgebruiksnorm, kan binnen de normen, afhankelijk van de gebruikte organische mestsoort, echter nog een aanzienlijke hoeveelheid organische stof worden aangevoerd. Zo kan er bij een fosfaatgebruiksnorm van 50 kg P₂O₅ per ha (fosfaattoestand laag) met varkensdrijfmest, rundveedrijfmest, vaste rundermest en GFT-compost, respectievelijk, 335, 1665, 1265 en 1520 (en 3040 inclusief fosfaatvrijstelling) kg EOS per ha per jaar worden aangevoerd. Met rundveedrijfmest wordt aanzienlijk meer EOS aangevoerd dan met varkensdrijfmest. Schröder & Van Dijk (2017) gaven aan dat voor een zevental representatieve bouwplannen in de akkerbouw bij fosfaatgebruiksnorm van 60 kg P₂O₅ per ha bij gebruik van rundveedrijfmest de totale EOS aanvoer (gewasresten en organische

mest) 3000-3500 kg per ha per jaar bedroeg. Kanttekening is wel de beschikbaarheid van diverse organische mestsoorten.

De gemeten nitraatconcentraties liggen in beide systemen nog boven de EU-nitraatnorm al ligt deze in het systeem met lage organische stofaanvoer wel dicht bij de norm. Aangezien in geen van de gewassen behalve, opmerkelijk, prei de nitraatnorm gehaald wordt lijkt de oplossing voor het voldoen aan de nitraatnorm niet te liggen in aanpassing van de vruchtwisseling. Het is opmerkelijk dat de prei de nitraatnorm wel haalt, aangezien prei bekend staat als een uitspoelingsgevoelig gewas. Ook na gras of gras-klaver na conservenerwt en na zomergerst met groenbemester is de nitraatconcentratie in het grondwater nog relatief hoog. Vanuit de randvoorwaarde dat verdere opbrengstdalingen ongewenst zijn, ontbreken er alternatieve bemestingsstrategieën die nog een substantieel effect op het verlagen van de stikstofverliezen hebben. De indruk bestaat dat de grens al opgezocht is gezien bijvoorbeeld de lage N-min na oogst in LAAG. Hiermee blijven de conclusies van het voorgaande project Nutriënten Waterproof (de Haan et al. 2010) overeind dat de nitraatnorm niet haalbaar is op droge zandgronden met de huidige teeltsystemen met behoud van opbrengst. Wel zijn de niveaus in uitspoeling in BKZ lager dan in Nutriënten Waterproof. De meest logische verklaring voor de daling in de tijd is dat dit vooral komt door de aangepaste vruchtwisseling: geen lilies meer en in plaats daarvan gras (later in combinatie met klaver) al blijkt ook dat de uitspoeling van dezelfde gewassen in de periode van BKZ lager is dan in de periode van Nutriënten Waterproof zonder dat de bemesting drastisch is aangepast. Mogelijk spelen weerseffecten ook een rol.

4.5.2 Organische stofvoorziening en overig beleid

Dit onderzoek laat zien dat een lage organische stofaanvoer enerzijds tot lagere opbrengsten leidt en anderzijds tot lagere stikstofuitspoeling. Daarbij komen (nog) geen duidelijke andere voor- of nadelen van een lagere organische stofaanvoer. Effecten op andere ecosysteemdiensten zoals klimaatmitigatie, biodiversiteit of waterbeheer (kwantiteit: afvoeren/vasthouden) zijn (nog) niet zichtbaar. Op de langere termijn worden deze wel verwacht.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

5.1.1 Gewasproductie en bodemkwaliteit

Gemiddeld over de onderzoeksperiode 2011-2016 is er in LAAG ruim 1000 kg EOS per ha per jaar aangevoerd en in STANDAARD ruim 1900 kg EOS per ha per jaar. De aanvoer van EOS met gewasresten en groenbemesters is voor beide systemen van dezelfde grootte orde. Het verschil is een gevolg van het verschil in de hoeveelheid met dierlijke mest aangevoerde EOS.

Gemiddeld over de gewassen waren de opbrengsten in LAAG circa 5% lager dan in STANDAARD. De opbrengstderving liep uiteen van -2% voor conservenerwt tot 13% bij prei. Per gewas waren de verschillen niet significant, in totaal voor alle gewassen samen wel. Ook de totale droge stofproductie was in LAAG significant lager dan in STANDAARD (-7%). Verschillen in gewaskwaliteit waren alleen bij aardappel zichtbaar in het onderwatergewicht.

Tussen STANDAARD en LAAG waren er verschillen in bodemkwaliteit. Het organische stofgehalte was in LAAG circa 0,4 procentpunt lager dan in STANDAARD in de periode 2011-2016. Dit verschil was significant. Het organisch stofgehalte in LAAG was echter gemiddeld over de periode voorafgaand aan de proefperiode al 0,2%-punt lager dan in STANDAARD. Dit verschil was niet significant. De gemeten daling van het organische stofgehalte met 0,2%-punt in LAAG t.o.v. STANDAARD gedurende de proefperiode is groter dan modelmatige verkenningen voorspellen.

De fosfaat- en kalitoestand waren significant lager in LAAG, dit verschil was bij aanvang van de proefperiode al aanwezig. Omdat de verschillen relatief gering waren is het niet de verwachting dat dit een doorslaggevende rol heeft gespeeld bij de waargenomen opbrengstverschillen tussen de systemen. Er zijn aanwijzingen voor verschil in beschikbaarheid van nutriënten tussen de systemen met een mogelijk effect op opbrengst.

Bij de fysische bodemvruchtbaarheidsparameters indringingsweerstand, bulkdichtheid, watervasthoudend vermogen, en porievolume zijn geen verschillen vastgesteld tussen beide systemen. Dit geldt ook voor besmettingen met plantparasitaire aaltjes.

5.1.2 Stikstofemissies

Gemiddeld over de jaren bedroeg de nitraatconcentratie in het grondwater in LAAG en STANDAARD, respectievelijk 57 en 68 mg per liter en lag voor beide systemen boven de norm van 50 mg per liter. Het verschil tussen de systemen was echter niet significant. De minerale bodemstikstof na de oogst en in het najaar was in LAAG, respectievelijk, gemiddeld 13 en 7 kg per ha lager dan in STANDAARD ($p < 0,05$ en $p < 0,1$).

De uitspoeling van stikstof wordt bepaald door de grootte van het stikstofbodemoverschot. Het stikstofbodemoverschot van LAAG was 13 kg N per ha lager dan in STANDAARD. Dit komt, doordat de lagere aanvoer in LAAG (-34 kg/ha) onvoldoende werd gecompenseerd door de lagere afvoer (-20 kg N/ha). Oftewel, de stikstofafvoer ten opzichte van de aanvoer was in LAAG relatief hoger dan in STANDAARD.

De uitspoelfractie verschilde niet significant tussen de beide systemen en bedroeg circa 65%. Indien gecorrigeerd voor verschil in mineralisatie van eerder toegediende organische stikstof en actuele aanvoer van organische stikstof, grondwaterstand en neerslagoverschot, steeg de uitspoelfractie naar ruim 80%. Verschillen in aanvoer van organische stof leiden niet tot verschil in uitspoelfracties.

Er is geen duidelijk verband te leggen tussen de systemen met hun organische stofaanvoer en de lachgasemissies. De variatie in de metingen was groot en de resultaten wisselend.

Met nitraatconcentraties in het grondwater boven de nitraatnorm maar hogere opbrengsten in STANDAARD ten opzichte van LAAG geeft dit onderzoek een dilemma weer tussen een belangrijk milieuaspect en de economie van plantaardige productie op de zandgronden in Zuidoost Nederland. Vooralsnog blijken er, anders dan een opbrengsteffect, geen aantoonbaar duidelijke voordelen van de hogere organische stofaanvoer in STANDAARD ten opzichte van LAAG zoals een hogere biodiversiteit of een groter watervasthoudend vermogen.

5.2 Aanbevelingen

5.2.1 Aanbevelingen voor mestbeleid

Dit onderzoek geeft geen aanwijzingen dat verlaging van de organische stofaanvoer leidt tot een lager risico op uitspoeling via een lager bodemoverschot en/of lagere uitspoelfractie en biedt daardoor geen onderbouwing voor een equivalente maatregel rond aanvoer van organische stof. Wel geeft dit onderzoek aan dat een lagere organische stofaanvoer leidt tot een lagere opbrengst. Vanwege de beperkingen in de aanvoer van stikstof en fosfaat in het mestbeleid kan in de praktijk ook de organische stofaanvoer onder druk komen. Boeren hebben echter wel via de keuze van organische meststoffen en het gebruik van groenbemesters, gewassen en beheer van gewasresten de mogelijkheid om ook binnen strenge normen voldoende EOS aan te voeren, echter dit kan worden belemmerd door beschikbaarheid van producten en kosten van maatregelen. De eventuele verlaging van EOS-aanvoer zal in de praktijk echter kleiner zijn dan in dit onderzoek. Dan zullen de opbrengstverschillen ook kleiner zijn dan gevonden in deze proef.

Uit dit onderzoek blijkt ook dat ondanks een relatief groot verschil in EOS-aanvoer veranderingen in organisch stofgehalte en andere bodemparameters moeilijk zijn vast te stellen en dat het verschil zich eerder in de gewasopbrengsten uit.

5.2.2 Aanbevelingen voor de praktijk

Aanvoer van voldoende organische stof is belangrijk om opbrengsten op peil te houden. Uit het onderzoek blijkt dat investeren in organische stof loont: de baten van opbrengststijgingen op de lange termijn zijn hoger dan de huidige kosten van organische meststoffen of de teelt van een groenbemester. Wanneer aanvoer van voldoende organische stof via dierlijke mest vanwege restricties in het mestbeleid lastig is, is het rendabel om te kiezen voor duurdere organische meststoffen of de teelt van groenbemesters om opbrengsten op peil te houden. Concreet kan bij de vervanging van organische meststoffen gedacht worden aan het vervangen van (een deel van de) varkensdrijfmest door rundveedrijfmest, vaste mest, champost of compost. Met varkensdrijfmest wordt weinig EOS per ton product en kg fosfaat aangevoerd. Met de andere soorten organische meststoffen is dit veel meer.

5.2.3 Aanbevelingen voor onderzoek

5.2.3.1 Huidig onderzoek

Vanuit 1) de systeemontwikkeling naar rotaties met een beter bodembeheer, 2) de algemene vraagstelling rond relatie bodemmanagement, bodemkwaliteit en ecosysteemdiensten en ook 3) de vergelijking van grondbewerkingsvormen die in de proef liggen, maar in deze rapportage verder niet zijn behandeld, is het zinvol om dit lange termijn systeemexperiment voort te zetten.

Gezien de opzet als systeemexperiment is het van belang het ook vanuit dit perspectief te blijven zien. Het kan niet meer gedetailleerd onderzoek in herhalingen vervangen. Anderzijds kan het door de opzet en schaal wel vragen oproepen die in meer detailonderzoek onderzocht kunnen worden en zijn contrasten gecreeerd die in detailonderzoek nader onderzocht kunnen worden. Dit gebeurt al in bijvoorbeeld de NWO-projecten "Rhizosphere fine mapping" en "Vital Soils".

Daarnaast is het gewenst om een wetenschappelijke begeleidingscommissie op te zetten die deze systeemproof met de andere systeemproeven binnen de PPS Beter Bodembeheer begeleid en aanbevelingen geeft voor invulling en nader onderzoek.

Om meer inzicht te krijgen in de relatie van organische stof, opbrengst en stikstofstromen is het gewenst, naast voortzetting van de huidige vergelijking van de systemen STANDAARD en LAAG, in meer detail te kijken naar de effecten van de compostplots die op twee percelen in elk systeem liggen. De eerste resultaten van opbrengsten en uitspoeling geven interessante resultaten. Het is gewenst om ook van deze plots een volledige stikstofbalans op te kunnen stellen zoveel mogelijk gebaseerd op metingen. Dit betekent dat dezelfde metingen in de compostplots als op de andere percelen uitgevoerd moeten worden.

In het voortzetten van de proef kunnen de resultaten verbeterd worden door meer inzicht te krijgen in:

- de afvoer via de drains en de kwaliteit van het drainwater,
- verloop hoogte grondwaterstanden,
- de stikstofbinding in de gras-klover door de aanleg van veldjes zonder klover,
- de netto bodemstikstofmineralisatie in de systemen via braakveldjes en/of ON-veldjes
- de verplaatsing van minerale stikstof in het bodemprofiel in de winter door metingen van de N-min 0-90 cm gedurende de winterperiode
- broeikasgasemissies, met name lachgas, door intensievere metingen, met name rond bodemversturende teelthandelingen
- de voorziening van bodem en gewas met kalium en micronutriënten.
- financiële doorrekening compostplots.

Om de resultaten gerapporteerd in deze rapportage te versterken zou het goed zijn om resultaten uit de periode 2005-2008 (Nutriënten Waterproof) aan deze analyse toe te voegen. In deze periode zijn ook uitspoelingsmetingen uitgevoerd. Voor de tussenliggende periode 2009-2011 zijn deze niet beschikbaar.

5.2.3.2 Nieuw onderzoek

De grondgebruik- en grondsoortspecifieke stikstofuitspoelfracties zoals gebruikt bij de onderbouwing van het Nederlandse mestbeleid nemen niet alleen een gemiddelde van verschillende niveaus van het stikstofbodemoverschot, maar ook een gemiddelde van stikstofbodemoverschotten die van aard verschillen. Daarbij kan gedacht worden aan de verhouding van organische gebonden en wateroplosbare stikstof en aan de afbreekbaarheid van de bijbehorende koolstof. Omdat dit consequenties zal hebben voor het lot van het stikstofbodemoverschot zal de werkelijke stikstofuitspoeling van een bedrijf hoger of lager kunnen zijn dan de geschatte uitspoeling. Ten behoeve van een meer bedrijfsspecifieke behandeling zou hier onderzoek naar moeten plaatsvinden. Dit soort vragen vereisen de aanleg van aparte veldproeven waarin de aard en omvang van, onder meer, de organische stof aanvoer (gewasresten, dierlijke mest, compost) gevarieerd zou moeten worden. In dit soort proeven blijft de uitdaging om de effecten van organische stof te blijven onderscheiden van effecten in bemesting, met name stikstof.

Literatuur

- Akker, J.J.H. van den en W.J.M. de Groot. 2008. Een inventariserend onderzoek naar de ondergrondverdichting van zandgronden en lichte zavel. Wageningen : Alterra (Alterra-rapport 1450) - 77 p.
- Baddeley, J.A., Jones, S., Topp, C.F.E., Watson, C.A., Helming, J. & Stoddard, F.L. 2013. Biological nitrogen fixation (BNF) in Europe. Legume Futures Report 1.5. Available from <http://www.legumefutures.de>
- Booij, J.A., Berg, W. van den, Wijk, K. van, Haan, J. de, 2018. Broeikasgas metingen Bodemkwaliteit op Zand; Verslag van seizoensmetingen in drie teeltsystemen op zandgrond in 2013 en 2016. Wageningen Research, Rapport WPR-3750354202.
- Bos, J.F.F.P., H.F.M. ten Berge, J. Verhagen, M.K. van Ittersum, 2017. Trade-offs in soil fertility management on arable farms, Agricultural Systems. Vol. 157, p. 292-302, <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2016.09.013>
- Buck, A.J. de, F.J. de Ruijter, F. Wijnands, P.L.A. van Enckevort, W. van Dijk, A.A. Pronk, J. de Haan & R. Booij, 2000. Voorwaarts met de milieuprestaties van de Nederlandse open-teelt sectoren: een verkenning naar 2020. Wageningen Plant Research International Rapport 6.
- Dijk, W. van; Berge, H.F.M. ten; Dam, A.M. van; Geel, W.C.A. van; Schoot, J.R. van der. 2007. Effecten van een verlaagde stikstofbemesting op marktbaar opbrengst en stikstofopname van akker- en tuinbouwgewassen. Wageningen: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. (PPO 366) - 186 p.
- Elgersma, A. & J. Hassink 1997. Effects of white clover (*Trifolium repens* L.) on plant and soil nitrogen and soil organic matter in mixtures with perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *J. Plant and Soil* 197: 177-186. doi:10.1023/A:1004237527970.
- Feddes, R.A., 1987. Crop factors in relation to Makkink reference-crop evapotranspiration. In: J.C. Hooghart ed., *Evaporation and Weather*. TNO Committee on Hydrological Research, The Hague, Proceedings and Information No. 39: 33-45.
- Fraters, B., T.C. van Leeuwen, A. Hooijboer, M.W. Hoogeveen, L.J.M. Boumans & J.W. Reijs 2012. De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven: Herberekening van uitspoelfracties. Rapport 680716006. RIVM, Bilthoven, 33 pp.
- Fraters, B., A.E.J. Hooijboer, A. Vrijhoef, J. Claessens, M.C. Kotte, G.B.J. Rijs, A.I.M. Denneman, C. van Bruggen, C.H.G. Daatselaar, H.A.L. Begeman & J.N. Bosma 2016, *Landbouwpraktijk en waterkwaliteit in Nederland; toestand (2012-2014) en trend (1992-2014): Resultaten van de monitoring voor de Nitraatrichtlijn*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, rapport 2016-0076, Bilthoven.
- Geel, W.C.A. van, H.A.G. Verstegen & J.J. de Haan 2011. Opbrengstvergelijking percelen Nutriënten Waterproof en praktijkpercelen. PPO nr. 428. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, 36 pp.
- Geel, W. van & J. de Haan 2007. Effecten van organische-stofbeheer in Nutriënten Waterproof op het organische-stofgehalte en de koolstofopslag in de bodem. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, projectnr. 32530133, 27 pp.
- Groenendijk, Piet, Peter Schipper, Rob Hendriks, Jan van den Akker en Marius Heinen, 2017. Effecten van verbetering bodemkwaliteit op waterhuishouding en waterkwaliteit. Deelstudies Goede Grond voor een duurzaam watersysteem. Wageningen Environmental Research, Wageningen. Rapport 2811, ISSN 1566-7197, STOWA-rapport 2017-20.
- Haan J.J. de & A. Garcia Diaz (eds) 2002. Manual on Prototyping Methodology and Multifunctional Crop Rotation. VEGINECO Report 2. Applied Plant Research. Lelystad.
- Haan, J.J. de, Geel, W.C.A. van, Verstegen, H.A.G., Hendriks-Goossens, V.J.C. (2010). Nutriënten Waterproof. Nitraatnorm op zand verdraagt geen intensieve landbouw. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, 23 pp.
- Haan, J.J., M. Wesselink, W. van Dijk, H.A.G. Verstegen, W.C.A van Geel, W. van de Berg. 2017. Bodemkwaliteit op zand. Resultaten van het effect van organische stofbeheer op bodemkwaliteit en ecosysteemdiensten in het biologische bedrijfssystemen in de periode 2011-2016. Wageningen Research. Rapport WPR-755

- Hack-ten Broeke, M.J.D., W.A. de Boer, J.M.J. Dekkers, W.J.M. de Groot & E.J. Jansen, 1993. Stikstofemissies naar het grondwater van geïntegreerde en gangbare bedrijfssystemen in de akkerbouw op de proefbedrijven Borgerswold en Vredepeel. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 287.1.
- Hijbeek R. & M.K. van Ittersum & H.F.M. ten Berge & G. Gort & H. Spiegel & A.P. Whitmore. 2016. Do organic inputs matter – a meta-analysis of additional yield effects for arable crops in Europe. *Plant Soil* (2017) 411:293–303. DOI 10.1007/s11104-016-3031-x
- Hospers-Brands, Monique & Geert Jan van der Burgt 2013. Verkenningen organische stof Proefbedrijf Vredepeel. Publicatienummer: 2013-023 LbP. Louis Bolk Instituut. Driebergen.
- Janssen, B.H., 1984. A simple method for calculating decomposition of 'young' soil organic carbon. *Plant & Soil* 76, 297-304.
- Janssen, B.H., 2002. Organic Matter and Soil Fertility. Course guide for J 100-225, Department of Environmental Sciences, sub-department of Soil Quality, Wageningen Agricultural University.
- Klein, J. & J. Rozemeijer 2015. Meetnet Nutriënten Landbouw Specifiek Oppervlaktewater; Tussenrapportage: update toestand en trends tot en met 2014. Deltares rapport 1220098-007-BGS-0001.
- Koeijer, T.J., de, H.H. Luesink en H. Prins, 2017. Dieraantallen, mestproductie, mestmarkt en kosten mestafzet; Evaluatie Meststoffenwet 2016: deelrapport ex post. Wageningen, Wageningen Economic Research, Nota 2017-002. 30 blz.; 14 fig.; 9 tab.; 17 ref.
- Kwantitatieve Informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt, 2015. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, publicatie nr. 643.
- Overveld, van M. 2015. Effective organic matter input seems to have no strong influence on nitrate leaching and maize yield. MSc thesis Plant Production Systems. Wageningen UR. Wageningen.
- Quist, Casper W., Maarten Schrama, Janjo J. de Haan, Geert Smart, Jaap Bakker, Wim H. van der Putten, Johannes Helder 2016. Organic farming practices result in compositional shifts in nematode communities that exceed crop-related changes, *Applied Soil Ecology*, Volume 98, February 2016, Pages 254-260, ISSN 0929-1393.
- Schils R.L.M., Boxem T., Jagtenberg C.J. and Verboon M.C. 2000. The performance of a white clover-based dairy system in comparison with a grass/fertiliser-N system. II. Animal performance, economics and environment. *Neth. J. Agric. Sci.* 48: 305–318.
- Schils, R.L.M. 2002. White clover utilisation on dairy farms in the Netherlands. PhD Thesis Wageningen University. ISBN 90-5808-703-4.
- Schils, R.L.M., D.A. Oudendag, K.W. van der Hoek, J.A. de Boer, A.G. Evers & M.H. de Haan. 2006. Broeikasgasmodule BBPR. Praktijkrapport Rundvee 90, Alterra rapport 1268, RIVM rapport 680.125.006.
- Schrama, Maarten, Janjo de Haan, Sabrina Carvalho, Marc Kroonen, Harry Versteegen, Wim H van der Putten. 2018. Yield gap and stability in organic and conventional farming systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Volume 256. Pages 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.023>
- Schröder, J.J., H.F.M. Aarts, M.J.C de Bode, W. van Dijk, J.C. van Middelkoop, M.H.A. de Haan, R.L.M. Schils, G.L. Velthof & W.J. Willems 2004. Gebruiksnormen bij verschillende landbouwkundige en milieukundige uitgangspunten. Plant Research International B.V., Wageningen. Rapport 79, 32 pp. + bijlagen.
- Schröder, J.J., J.J. de Haan, J.R. van der Schoot 2015. Meststofgebruiksruimte in relatie tot opbrengstniveaus, mestsoort en rijenbemesting. Verkenning van equivalente maatregelen met het WOG 2.0 rekenmodel. Wageningen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. PPO nr. 638.
- Schröder, J.J. & W. van Dijk 2017. Actualisatie van stikstof-, fosfaat- en organische stof balansen van akkerbouw- en vollegrondsgroentenbedrijven. Onderzoek naar de aanpassing van gebruiksnormen in het kader van equivalente maatregelen. Wageningen Research, Rapport WPR-683. 20 blz.
- Smit, A.L., J.J. de Haan & K.B. Zwart 2005. Kan de akkerbouw en groenteteelt op zandgrond voldoen aan de nitraatnorm? Resultaten Experimenteel Onderzoek op de Kernbedrijven Vredepeel en Meterik. Telen met toekomst publicatie nr. OV0502. Plant Research International. Wageningen.
- Smit, A.; Zwart, K.B 2003. Stikstofstromen op de kernbedrijven Meterik en Vredepeel; mineralisatie van bodem en gewasresten. Wageningen : Plant Research International (Telen met toekomst OVO304) - 25 p.
- Smit AL 1994. Stikstofbenutting. In: Themadag Stikstofstromen in de vollegrondsgroenteteelt. Themaboekje nr. 18, p. 9-22. PAGV Lelystad.

-
- Stallen, Joost. 2017. Meer organische stof in plaats van steeds minder stikstof en fosfaat, Gebruiksnormen zijn doodlopende weg. Groente & Fruit 14 april 2017 pag 31-33.
- Technische Commissie Bodem 2016. Dynamiek van organische stof in Nederlandse landbouwbodems. Rapport van de werkgroep Koolstofstromen in opdracht van de Technische commissie bodem (TCB). TCB A110(2016). Den Haag. www.tcbodem.nl.
- Vereijken P. 1999. Manual for prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms. Stichting Cereales. Wageningen.
- Velthof, G.L., C. van Bruggen, C.M. Groenestein, B.J. de Haan, M.W. Hoogeveen & J.F.M. Huijsmans, 2009. Methodiek voor berekening van ammoniakemissie uit de landbouw in Nederland, Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 70. 180 pp.
- Velthof, G.L., T. de Koeijer, J.J. Schröder, M. Timmerman, A. Hooijboer, J. Rozemeijer, C. van Bruggen & P. Groenendijk 2017, Effecten van het mestbeleid op landbouw en milieu: Beantwoording van de ex-postvragen in het kader van de evaluatie van de Meststoffenwet. Wageningen Environmental Research rapport.
- Vervoort, A. 2016. The effect of tillage system on the quality of arable sandy soil. BSc thesis Biosystems Engineering. Leerstoelgroep FTE-Farm Technology. Wageningen University. 70 pp.
- Visser, J., J.R. van der Schoot, G. Korthals & J. de Haan 2014. Bodemkwaliteit Op Zand: T nul meting bodem Vaststellen uitgangssituatie door waarnemingen aan fysische, biologische- en chemische bodemparameters. PPO-nr. 614. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, 54 pp.
- Vos, J.A. de, O.A. Clevering en F.P. Sival, 2006. Stikstof- en fosfaatverliezen naar grond- en oppervlaktewater bij vernatting van landbouwgronden; Syntheserapport. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1393.
- Vos, J.A. de, E.W.J. Hummelink & T.S. van Steenberg. 2001. Waterretentie en waterdoorlatendheidskarakteristieken van 'Telen met toekomst' proefvelden Meterik en Vredepeel. Wageningen. Plant Research International BV. Telen met toekomst Rapport OV 0204.
- Wijnands F.G. en B.M.A. Kroonen Backbier (redactie) 2002a. Biologische akkerbouw Zuidoost Nederland. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad. PPO- bedrijfssystemen 2002 no 2.
- Wijnands F.G. en B.M.A. Kroonen Backbier (redactie) 2002b. Geïntegreerde akkerbouw Zuidoost Nederland. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad. PPO- bedrijfssystemen 2002 no 10.

Websites

- geodata.rivm.nl/gcn
- www.geologievannederland.nl
- <http://www.geologievannederland.nl/landschap/landschappen/zandlandschap>
- www.handboekbodemenbemesting.nl
- <http://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Organisch-stofbeheer/Organische-stof/Kengetallen-organische-stof.htm>
 - <http://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Organisch-stofbeheer/Samenstelling-en-werking-organische-meststoffen/Samenstelling-organische-meststoffen.htm>
 - <http://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Bemesting/Analyse-methoden-bemestingsadviezen-handboek.htm>
 - <http://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Bemesting/Mineralengehalten-in-geoogst-product.htm>
 - <http://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Bodem/Volumegewicht-grond.htm>
 - <http://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Bemesting/Stikstof/Nkorting-na-onderwerken-van-groenbemesters-en-oogstresten.htm>
- www.kennisakker.nl
- <http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/document/organische-nieuwe-meststoffen-gewenste-samenstelling-en-werking>
 - <http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/handleidingen/teelthandleiding-groenbemesters>
- www.rvo.nl
- <http://www.rvo.nl/onderwerpen/agrarisch-ondernemen/mest-en-grond/mest/tabellen-en-publicaties/tabellen-en-normen>
- www.rodaleinstitute.org/our-work/farming-systems-trial/
- www.rivm.nl/Onderwerpen/L/Landelijk_Meetnet_effecten_Mestbeleid

statline.cbs.nl

www.wur.nl

- http://www.wur.nl/upload_mm/8/8/2/add78125-e96c-420a-ba0e-1ff08ab849a9_1716204_Oene%20Oenema%20bijlage%201.pdf

Bijlage 1 Historie en ligging van de bedrijfssystemen

Periodes in het bedrijfssystemenonderzoek Vredepeel

De bedrijfssystemen van het project Bodemkwaliteit op zand (BKZ) liggen op de percelen van de voorgaande projecten van het bedrijfssystemenonderzoek. De volgende periodes kunnen worden onderscheiden in het bedrijfssystemenonderzoek op Vredepeel:

- *1988-1992 Startfase bedrijfssystemenonderzoek* 8 jarige vruchtwisseling verschillend per systeem
 - o S1 Gangbaar
 - o S2 Gangbaar/geïntegreerd
 - o S3 Gangbaar/geïntegreerd
 - o S4 Geïntegreerd
- *1993-1999 2^e fase bedrijfssystemenonderzoek* met name gericht op voldoen aan doelstellingen Meerjarenplan Gewasbescherming. 4 systemen die geward lagen over de huidige systemen in BKZ:
 - o MJPG: min of meer gangbaar systeem met 8 jarige vruchtwisseling
 - o GI-in: intensief geïntegreerd systeem met 8 jarige vruchtwisseling
 - o GI-ex: extensief geïntegreerd systeem met 6 jarige vruchtwisseling
 - o ECO: biologisch systeem met 6 jarige vruchtwisseling
- *2001-2003 Telen met toekomst.* 3 gangbare systemen op huidige systemen van STANDAARD en LAAG in 8 jarige vruchtwisseling:
 - o Synthese: min of meer gangbaar systeem op de .1 perceelsdelen
 - o Analyse 1: voor testen van alternatieve strategieën op de .2a perceelsdelen, toepassing alleen bewerkte (gescheiden) mest
 - o Analyse 2: voor testen van meest vergaande alternatieve strategieën op de op de .2b perceelsdelen, toepassing van alleen kunstmest

In deze systemen waren ook de percelen 19 en 29 naast het Peelkanaal opgenomen. Deze percelen vallen sinds 2008 buiten het bedrijfssystemenonderzoek.

Daarnaast is er sinds 2000 een apart BIO systeem op perceel 32-34.

- *2005-2008 Nutriënten Waterproof.* 5 systemen waarvan 1 biologische. Op plaats van huidige systemen STANDAARD en LAAG in 6 jarige vruchtwisseling:
 - o GI-HOOG op de .1 perceelsdelen met toepassing van dierlijke mest onderverdeeld in:
 - GI-HOOG Synthese op de .1a perceelsdelen
 - GI-HOOG Analyse op de .1b perceelsdelen
 - o GI-LAAG op de .2 perceelsdelen zonder toepassing van dierlijke mest onderverdeeld in:
 - GI-LAAG Synthese op de .2a perceelsdelen
 - GI-LAAG Analyse op de .2b perceelsdelen

Op elk a-deel van de percelen in GI-HOOG en GI-laag werd als standaard behandeld (Synthese).

Op het b-deel van elk perceel was aanvullend onderzoek mogelijk in de vorm van kleine proeven of strokenvergelijkingen (Analyse).

Overige systemen binnen Nutriënten Waterproof:

- o BIO biologisch systeem op percelen 32-34
- o GI-vollegrondsgroenten op perceel 29 (buiten huidig bedrijfssystemenonderzoek)
- o GI-boomteelt op perceel 19 (buiten huidig bedrijfssystemenonderzoek)
- *2011-2016 Bodemkwaliteit op zand.* 3 systemen met elk een 6 jarige vruchtwisseling.
 - o STANDAARD op de .1 perceelsdelen met toepassing van dierlijke mest
 - o LAAG op de .2 perceelsdelen zonder toepassing van dierlijke mest geward
 - o BIO biologisch systeem op de percelen 32-34

Elk perceel binnen de systemen is onderverdeeld in

- o Ploegdeel met hoofdgrondbewerking ploegen
- o NKG deel met alternatieve niet kerende grondbewerking

waarbij deze delen geward zijn over het perceel

De jaren 2000, 2004, 2009 en 2010 waren tussenjaren waarin de strategieën uit de voorgaande jaren zoveel mogelijk zijn voortgezet maar over het algemeen met een beperkt meetprogramma.

In dit rapport wordt alleen gerapporteerd over de ploegdelen van de percelen van de systemen STANDAARD en LAAG (zie Figuur 3). Dit betekent dat alleen de resultaten van het a- of het b-deel van het betreffende perceel in dit rapport aanbod komt. In Tabel 39 is een overzicht opgenomen met welk systeem periodes op elk perceel gelegen heeft. In Tabel 40 is een overzicht opgenomen van het deelonderzoek dat binnen het systeemonderzoek is uitgevoerd sinds 2005.

Tabel 39 *Historie van de bedrijfssystemen: per perceel wordt het systeem weergegeven uit de voorgaande projectperiodes.*

Perceels- nummer	Organisch stof	Grond- bewerking	NWP 2005-2008	TMT 2001-2003	BSO 1993-1999	BSO 1988-1992
16.1a	STANDAARD	NKG	GI-HOOG Synthese	Synthese		S4
16.1b	STANDAARD	Ploeg	GI-HOOG Analyse	Synthese	-	S4
16.2a	LAAG	Ploeg	GI-LAAG Synthese	Analyse 1	-	S4
16.2b	LAAG	NKG	GI-LAAG Analyse	Analyse 2	-	S4
17.1a	STANDAARD	Ploeg	GI-HOOG Synthese	Synthese	GI-in	S1
17.1b	STANDAARD	NKG	GI-HOOG Analyse	Synthese	GI-in	S1
17.2a	LAAG	NKG	GI-LAAG Synthese	Analyse 1	GI-in	S1
17.2b	LAAG	Ploeg	GI-LAAG Analyse	Analyse 2	GI-in	S1
18.1a	STANDAARD	Ploeg	GI-HOOG Synthese	Synthese	ECO	S2
18.1b	STANDAARD	NKG	GI-HOOG Analyse	Synthese	ECO	S2
18.2a	LAAG	NKG	GI-LAAG Synthese	Analyse 1	ECO	S2
18.2b	LAAG	Ploeg	GI-LAAG Analyse	Analyse 2	ECO	S2
26.1a	STANDAARD	Ploeg	GI-HOOG Synthese	Synthese	GI-ex	S3
26.1b	STANDAARD	NKG	GI-HOOG Analyse	Synthese	GI-ex	S3
26.2a	LAAG	NKG	GI-LAAG Synthese	Analyse 1	ECO	S3
26.2b	LAAG	Ploeg	GI-LAAG Analyse	Analyse 2	ECO	S3
27.1a	STANDAARD	NKG	GI-HOOG Synthese	Synthese	MJPG	S2
27.1b	STANDAARD	Ploeg	GI-HOOG Analyse	Synthese	MJPG	S2
27.2a	LAAG	Ploeg	GI-LAAG Synthese	Analyse 1	MJPG	S2
27.2b	LAAG	NKG	GI-LAAG Analyse	Analyse 2	MJPG	S2
28.1a	STANDAARD	Ploeg	GI-HOOG Synthese	Synthese	MJPG	S4
28.1b	STANDAARD	NKG	GI-HOOG Synthese	Synthese	MJPG	S4
28.2a	LAAG	NKG	GI-HOOG Analyse	Analyse 1	MJPG	S4
28.2b	LAAG	Ploeg	GI-LAAG Analyse	Analyse 2	MJPG	S4

Tabel 40 *Deelonderzoek in de gangbare percelen van Bodemkwaliteit op zand vanaf 2005*

Jaar	Perceel	Gewas	Deelonderzoek
2001-2016	18.2b en 28.2b	Diverse	Langjarige braakvelden en 0-N velden
2005	16.1b	Suikerbiet	Proef afvoer gewasresten
2005	26.1b	Prei	Meststoffendemo
2005	26.2b	Conservenerwt/prei	Proef afvoer gewasresten, 0-N veld, braakveld, verlaagde bemesting
2005	27 alle delen	Aardappel	Plaats specifieke bemesting
2006	17.1b	Prei	Meststoffendemo
2006	17.2b	Prei	Proef N-efficiëntie meststoffen
2006	28.1b	Suikerbiet	Proef afvoer gewasresten
2007	17.1b	Mais	Proef groenbemesteronderzaai
2007	18.1b en 18.2b	Prei	Meststoffendemo
2007-2009	16.1b	Diverse	Compostdemo
2008	17.1a en 17.2a	Suikerbiet	Proef afvoeren gewasresten (lachgasmetingen)
2009	17.2b	Aardappel	N-bijbemesting Pulstec
2012	26.1a en 26.2b	Aardappel	Bemestingsdemo; Bouwen Aan Vitale Bodem

Vruchtwisseling

De vruchtwisseling sinds 2001 staat in Tabel 41. Sinds 2004 zijn er geen verschillen in vruchtwisseling geweest tussen de systemen STANDAARD en LAAG. Ook de groenbemesterkeuze is hetzelfde geweest sinds 2004. In de periode 2001-2003 waren er wel kleine verschillen, zowel in hoofdgewassen als in groenbemesters (Smit et al., 2005).

Tabel 41 Vruchtwisseling per perceel in de periode 2001-2016. Alleen de hoofdgewassen zijn vermeld, groenbemesters ontbreken.

perceel	systeem	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
16.1a	ST	tr	wp	ca	sm	sb	ca	tr	lel	cepr	sm	sb	sm	ca	ce	pr	zg
16.1b	ST	tr	wp	ca	sm	sb	ca	tr	lel	cepr	sm	sb	sm	ca	ce	pr	zg
16.2a	L	tr	wp	ca	sm	sb	ca	tr	lel	cepr	sm	sb	sm	ca	ce	pr	zg
16.2b	L	tr	wp	ca	sm	sb	ca	tr	lel	cepr	sm	sb	sm	ca	ce	pr	zg
17.1a	ST	sb	tr	wp	sm	lel	cepr	sm	sb	ca	ssb	pr	zg	sb	sm	ca	ce
17.1b	ST	sb	tr	wp	sm	lel	cepr	sm	sb	ca	ssb	pr	zg	sb	sm	ca	ce
17.2a	L	sb	tr	wp	sm	lel	cepr	sm	sb	ca	ssb	pr	zg	sb	sm	ca	ce
17.2b	L	sb	zg	wp	sm	lel	cepr	sm	sb	ca	ssb	pr	zg	sb	sm	ca	ce
18.1a	ST	sm	cessb	ca	sm	tr	lel	cepr	sm	sb	ca	ce	pr	zg	sb	sm	ca
18.1b	ST	sm	cessb	ca	sm	tr	lel	cepr	sm	sb	ca	ce	pr	zg	sb	sm	ca
18.2a	L	sm	cessb	ca	sm	tr	lel	cepr	sm	sb	ca	ce	pr	zg	sb	sm	ca
18.2b	L	sm	ce	ca	sm	tr	lel	cepr	sm	sb	ca	ce	pr	zg	sb	sm	ca
26.1a	ST	cessb	ca	sb	tr	cepr	sm	sb	ca	tr	zg	sm	ca	ce	pr	zg	pe
26.1b	ST	cessb	ca	sb	tr	cepr	sm	sb	ca	tr	zg	sm	ca	ce	pr	zg	pe
26.2a	L	cessb	ca	sb	tr	cepr	sm	sb	ca	tr	zg	sm	ca	ce	pr	zg	pe
26.2b	L	ce	ca	sb	tr	cepr	sm	sb	ca	tr	zg	sm	ca	ce	pr	zg	pe
27.1a	ST	sb	sm	cessb	sm	ca	tr	lel	cepr	sm	sb	ca	ce	pr	zg	sb	sm
27.2b	ST	sb	sm	cessb	sm	ca	tr	lel	cepr	sm	sb	ca	ce	pr	zg	sb	sm
27.2a	L	sb	sm	cessb	sm	ca	tr	lel	cepr	sm	sb	ca	ce	pr	zg	sb	sm
27.2b	L	sb	sm	ce	sm	ca	tr	lel	cepr	sm	sb	ca	ce	pr	zg	sb	sm
28.1a	ST	ca	sb	tr	sm	sm	sb	ca	tr	zg	cepr	zg	sb	sm	ca	ce	pr
28.1b	ST	ca	sb	tr	sm	sm	sb	ca	tr	zg	cepr	zg	sb	sm	ca	ce	pr
28.2a	L	ca	sb	tr	sm	sm	sb	ca	tr	zg	cepr	zg	sb	sm	ca	ce	pr
28.2b	L	ca	sb	zg	sm	sm	sb	ca	tr	zg	cepr	zg	sb	sm	ca	ce	pr

Betekenis afkortingen: systemen: ST = STANDAARD, L = LAAG; gewassen: ca = aardappel, ce = conservenerwt, cepr = dubbelteelt conservenerwt-prei, cessb = dubbelteelt conservenerwt-stamslaboon, lel = lelie, pr = prei, sb = suikerbiet, sm = snijmaïs, tr = triticale, wp = waspeen, zg = zomergerst

Organische stofaanvoer

De organische stofaanvoer in LAAG is sinds 2005 vanaf de start van Nutriënten Waterproof beduidend lager dan STANDAARD. De aanvoer van effectieve organische stof (EOS) bedroeg in de jaren 2005-2008 gemiddeld 1500 kg/ha in STANDAARD en 920 kg/ha in LAAG. Daarvoor, vanaf 2001, is er geen organische stof aangevoerd op de percelen van LAAG behoudens de gescheiden, dunne fractie van varkensdrijfmest in de periode 2001-2003 op percelen 16.2a en 18.2a. Wel werden op de percelen van LAAG meer groenbemesters geteeld in die periode waardoor tussen 2000 en 2004 er nagenoeg geen verschil was in EOS-aanvoer. In de periode voor 2000 zijn er geen grote verschillen in EOS-aanvoer geweest behalve voor perceel 26 wat op 26.1 gangbaar en op 26.2 biologisch werd beteeld (Geel van, & de Haan, 2007; Geel van, et al., 2011; Wijnands & Backbier 2002b). Daarnaast is op perceel 16.1b in de jaren 2007-2009 in totaal 140 ton compost aangevoerd in een demo rond gebruik van compost. Beide verschillen in management hebben niet geleid tot duidelijk aanwijsbare verschillen in bodemvruchtbaarheid (zie paragraaf 3.3.2).

Fosfaatbemesting

Vanaf 1989 is in het bedrijfssystemenonderzoek op Vredepeel een fosfaatevenwichtsbemesting gehanteerd (fosfaataanvoer niet hoger dan de -afvoer) om de toen nog hoge fosfaattoestand van de percelen (Pw-getal van rond de 65) te laten dalen. Enkel in de periode 1996-2000 is een overschot nagestreefd van 20 kg P₂O₅ per ha. In Telen met toekomst (vanaf 2001) is op de percelen van

STANDAARD de fosfaatevenwichtsbemesting voortgezet en is op de percelen van LAAG gestreefd naar het verder minimaliseren van de fosfaataanvoer. Dit is in Nutriënten Waterproof voortgezet. Hierbij werd een streven gesteld naar een fosfaataanvoer die maximaal 50% van de fosfaatafvoer bedroeg. Bij de start van BKZ bedroeg de Pw 39 op LAAG en boven de 50 op STANDAARD. Dit is voor LAAG in de toestand neutraal en voor STANDAARD rond de grens met de toestand HOOG. Gezien de beperkte reactie van gewassen op fosfaat verwachten daarmee geen aanwijsbare effecten op de opbrengst.

Bijlage 2 Uitleg Excelfile “Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016.xls”

Bij de rapportage hoort een Excelfile “Data rapportage Bodemkwaliteit op zand 2011-2016 Gangbaar.xls” met alle data uit het experiment die gebruikt zijn in de analyses in dit rapport. Waar relevant staat bovenaan de paragrafen in hoofdstuk 2 en 3 een verwijzing naar de tabbladen van het rekenbestand.

Het belangrijkste tabblad is “OVERZICHT”. In dit tabblad zijn ook gemiddeldes weergegeven op diverse niveaus:

- per systeem over de gehele periode 2011-2016 in rij 10 en 11
- per systeem over de periode 2011-2013 en 2014-2014 in rij 14-17
- per jaar in rij 20-25
- per systeem per jaar in rij 28-39
- per systeem per perceel in rij 42-53
- per systeem per gewas in rij 56-67
- per systeem per perceel per jaar in rij 70-141

De laatste cijfers komen ook terug in de tabbladen MEST, GEWAS, NAWERKING, BODEM, NO3 GRONDWATER, NEERSLAGOVERSCHOT. Dit is het laagste niveau van de analyse.

In het tabblad VARIANTIEANALYSE staan de resultaten van de variantieanalyse op de parameters uit Bijlage 8, onderverdeeld in de paragraaf waarin ze behandeld worden op niveau van

- systeem in rij 10 en 11
- gewas in rij 15-20
- jaar in rij 24-29
- systeem-gewas in rij 33-44
- systeem-jaar in rij 48-59

Per niveau is de F prob. weergegeven.

In het tabblad OVERZICHT COMPOST staat een overzicht van de gegevens gemeten in de compostplots vanaf 2013-2016. Hier is alleen een gemiddelde per systeem en een gemiddelde per perceel per jaar weergegeven. De gegevens beperken zich tot EOS-aanvoer, Opbrengst, Stikstofaanvoer, Werkzame stikstofaanvoer, Nitraat in grondwater en Fosfaat- en kaliaanvoer.

In de overige tabbladen staan de verdere detailgegevens en berekeningen. Hier zijn alleen de cijfers per systeem per gewas per jaar weergegeven en geen andere gemiddelden:

- *GEWAS* met de marktbaar opbrengsten en kwaliteit, de versopbrengsten, droge stof-, stikstof-, fosfaat- en kaligehaltes van zowel hoofdproduct, bijproduct en gewasresten als groenbemesters, de berekening van droge stofproductie, EOS-productie en stikstof-, fosfaat- en kaliafvoeren en de berekening van de stikstofbinding (zie vooral paragrafen 2.2.2 en 3.2).
- *BODEM* met alle N-min metingen (zowel N-min voorjaar (0-30 cm), N-min na oogst (0-60 cm) als N-min najaar (0-90 cm)) en een aantal chemische bodemvruchtbaarheidskenmerken dat jaarlijks is gemeten (zie vooral paragrafen 2.2.3, 2.2.5, 3.3 en 3.5).
- *NEMATODEN* met alle gegevens van de plantparasitaire aaltjes die jaarlijks per perceel zijn gemeten (zie paragraaf 2.2.3 en 3.3.3).
- *MEST* met de gegevens en berekening van de aanvoer van stikstof, fosfaat, kali en EOS met meststoffen (organische meststoffen en kunstmest), depositie en zaaizaad, en de berekening van de ammoniakemissie. Ook de werkzame stikstofaanvoer wordt in dit tabblad berekend en de gegevens voor de berekening van de langjarige nawerking van mest worden gegeven (zie paragrafen 2.2.4 en 3.4).
- *NAWERKING* met de uitkomsten van berekeningen van langjarige stikstofmineralisatie uit mest, gewasresten en groenbemesters met MINIP (zie paragrafen 2.2.4.5 en 3.4.5).

-
- *NO3 GRONDWATER* met de gemeten nitraatconcentraties in het grondwater (mg N/l) per peilbuis per meetmoment en aggregatie naar metingen per perceel per jaar zowel voor het gemiddelde over de 4 meetmomenten als voor alleen de meting in februari (zie paragrafen 2.2.6 en 3.6).
 - *NEERSLAGOVERSCHOT* met de berekening van het neerslagoverschot en de correctie van het neerslagoverschot voor LAAG voor de verschillen in productie met STANDAARD (zie paragrafen 2.2.7 en 3.7).
 - *GRONDWATERSTAND* met de metingen van de grondwaterstand in winterseizoen 2015-2016 en de berekening van de correctie van de uitspoeling op basis van de verschillen in grondwaterstand (zie paragrafen 2.2.7.3 en 3.7.2.3).
 - *OS 1988-2016* met de gemeten organisch stofgehalte per perceel over de periode 1988-2016 (zie paragrafen 2.2.3.1 en 3.3.1).

De koprijen zijn in alle tabbladen vrijwel gelijk:

- Rij 3 geeft het hoofdonderwerp weer
- Rij 4 geeft een verwijzing naar de specifieke paragraaf weer waar de kolom wordt behandeld (alleen tabblad OVERZICHT, VARIANTIEANALYSE en OVERZICHT COMPOST)
- Rij 5 geeft de titel van de kolom weer
- Rij 6 geeft weer wat de berekening is of vanuit welk tabblad de gegevens in deze kolom afkomstig zijn.
- Rij 7 geeft de eenheid van de kolom weer

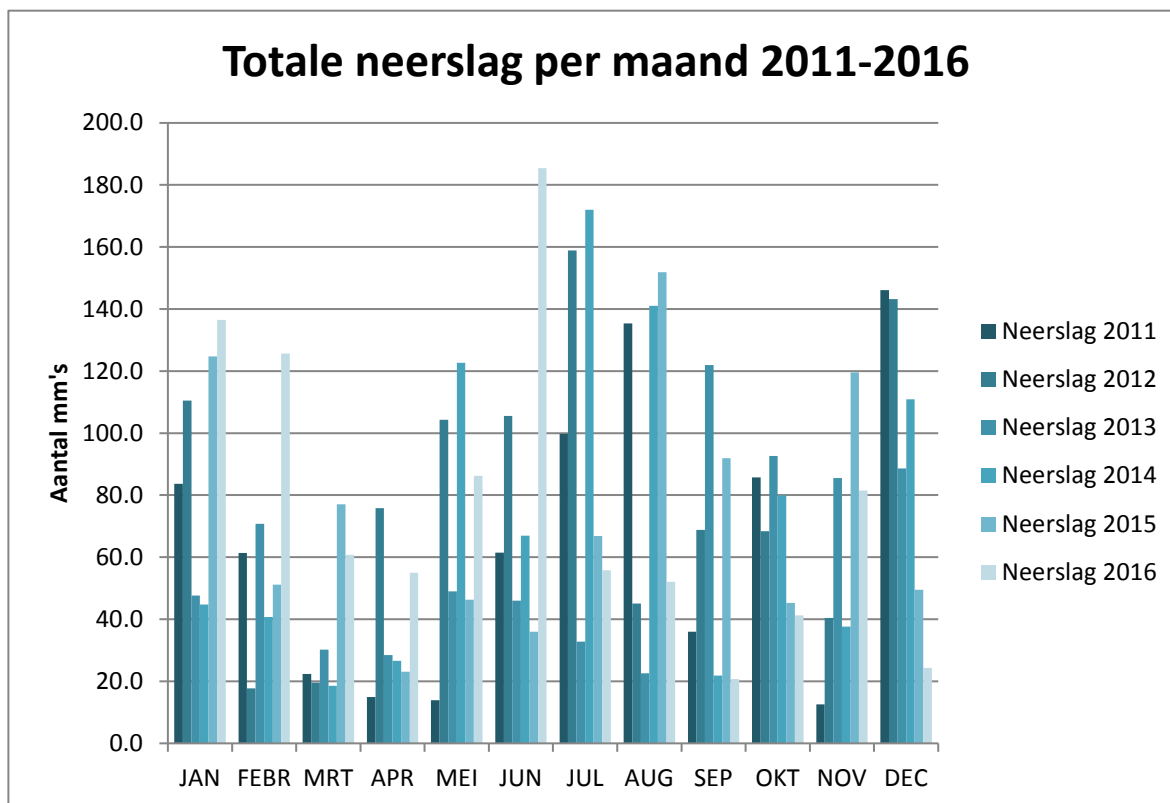
De groene kolommen in de overige tabbladen zijn overgenomen in de twee "OVERZICHT" tabbladen. De materiaal en methode van de registraties, metingen en berekeningen in de Excelsheet wordt uitgelegd in paragraaf 2.2 (materiaal en methoden), de resultaten worden besproken in hoofdstuk 3.

Bijlage 3 Neerslag en temperatuur Vredepeel 2011-2016

De jaarlijkse neerslaggegevens komen van het eigen meetstation op de locatie Vredepeel. De langjarige gemiddeldes van de neerslag, en de temperatuurgegevens komen van KNMI station Volkel, hemelsbreed ongeveer 20 kilometer van Vredepeel

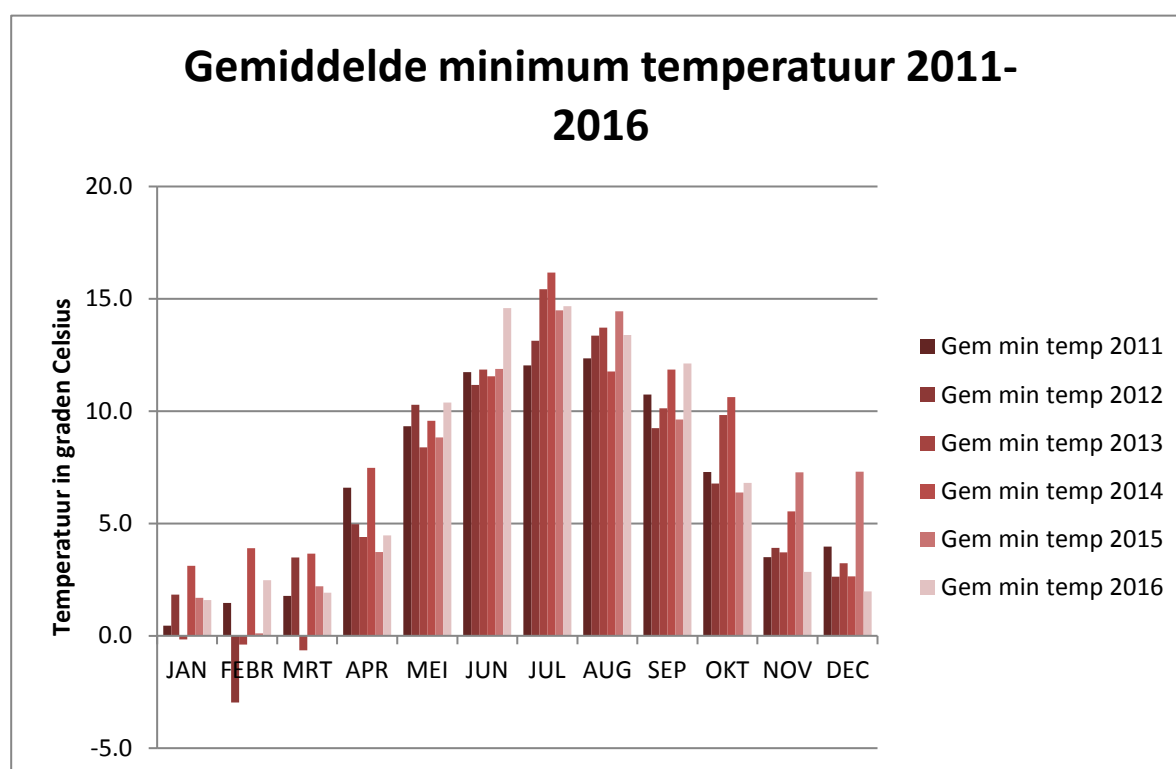
Neerslag in mm

Maand	2011	2012	2013	2014	2015	2016	30-jarig gemidde Ide
Jan	84	110	47	44	124	137	63
Feb	61	17	70	40	51	126	52
Mrt	22	19	30	18	77	61	61
Apr	15	75	28	26	23	55	42
Mei	14	104	49	122	46	86	60
Jun	62	105	46	66	36	185	63
Jul	100	158	32	172	66	56	69
Aug	135	45	22	141	151	52	63
Sep	36	68	122	21	91	21	65
Okt	86	68	92	79	45	41	65
Nov	13	40	85	37	119	82	66
Dec	146	143	88	110	49	24	68
Totaal	773	958	716	883	883	925	737
Gem	64	79	59	73	73	77	62



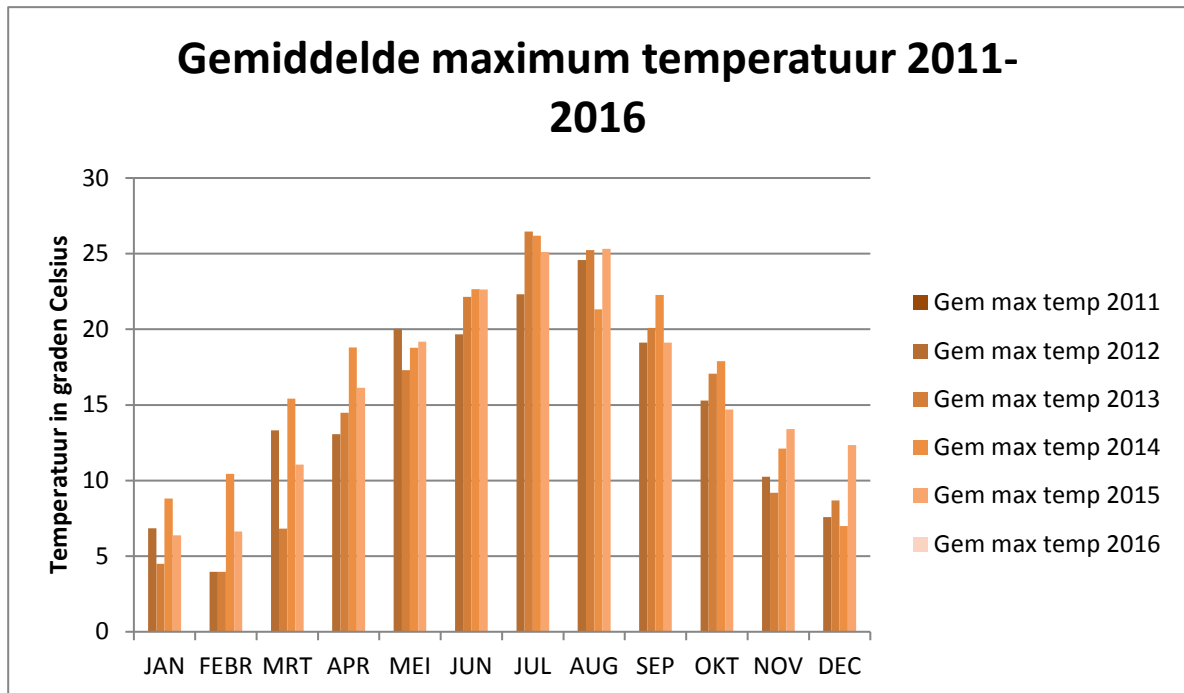
Minimum temperatuur

Maand	2011	2012	2013	2014	2015	2016	30-jarig gemiddelde
Jan	0,5	1,8	-0,2	3,1	1,7	1,6	-0,2
Feb	1,5	-3,0	-0,4	3,9	0,1	2,5	-0,3
Mrt	1,8	3,5	-0,6	3,7	2,2	1,9	2,0
Apr	6,6	5,0	4,4	7,5	3,7	4,5	3,9
Mei	9,3	10,3	8,4	9,6	8,8	10,4	7,7
Jun	11,7	11,2	11,9	11,6	11,9	14,6	10,4
Jul	12,0	13,1	15,4	16,2	14,5	14,7	12,5
Aug	12,4	13,4	13,7	11,8	14,4	13,4	12,0
Sep	10,7	9,2	10,1	11,9	9,6	12,1	9,6
Okt	7,3	6,8	9,8	10,6	6,4	6,8	6,4
Nov	3,5	3,9	3,7	5,5	7,3	2,8	3,2
Dec	4,0	2,6	3,2	2,7	7,3	2,0	0,6
Gem	6,8	6,5	6,6	8,2	7,3	7,3	5,6



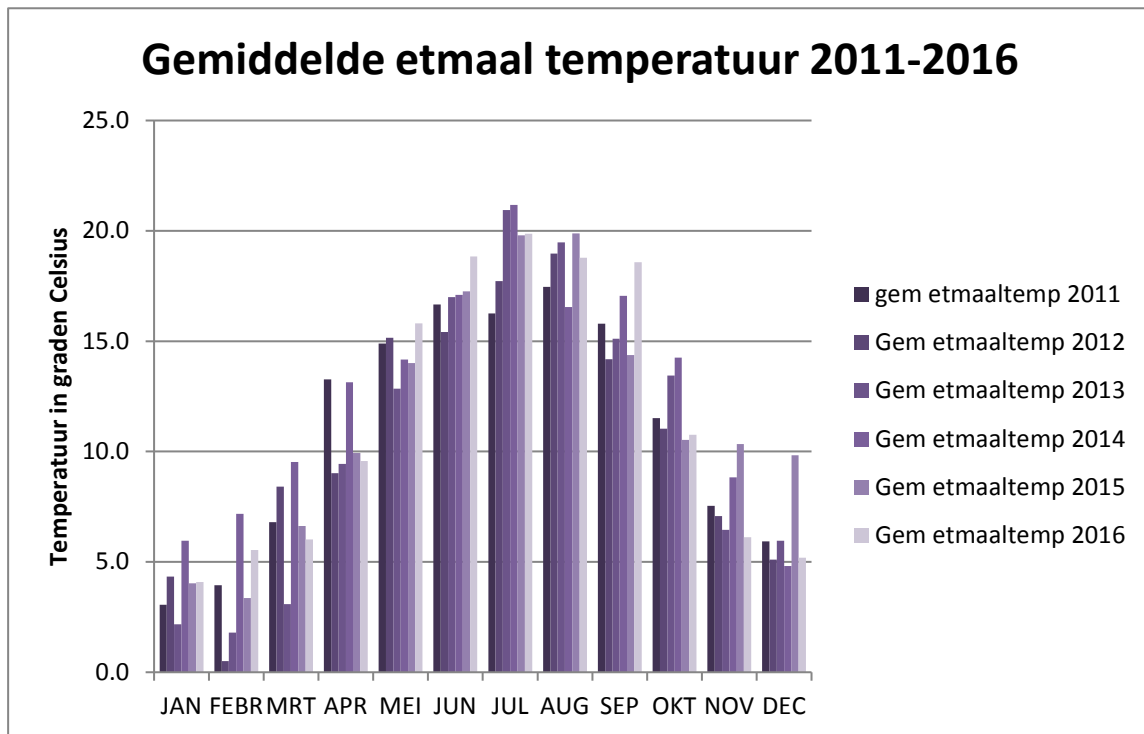
Maximum temperatuur

Maand	2011	2012	2013	2014	2015	2016	30-jarig gemiddelde
Jan	5,7	6,8	4,5	8,8	6,4	6,6	5,5
Feb	6,7	4,0	4,0	10,4	6,6	8,6	6,4
Mrt	11,8	13,3	6,8	15,4	11,0	10,1	10,3
Apr	19,9	13,1	14,5	18,8	16,1	14,7	14,4
Mei	20,5	20,0	17,3	18,8	19,2	21,2	18,6
Jun	21,6	19,7	22,1	22,6	22,6	23,1	21,1
Jul	20,5	22,3	26,5	26,2	25,1	25,1	23,4
Aug	22,6	24,6	25,2	21,3	25,3	24,2	23,1
Sep	20,9	19,1	20,1	22,3	19,1	25,0	19,4
Okt	15,7	15,3	17,1	17,9	14,7	14,7	14,7
Nov	11,6	10,3	9,2	12,1	13,4	9,4	9,5
Dec	7,9	7,6	8,7	7,0	12,4	8,4	5,9
Gem	15,4	14,7	14,7	16,8	16,0	15,9	14,4



Etmaal temperatuur

Maand	2011	2012	2013	2014	2015	2016	30-jarig gemiddelde
Jan	3,1	4,3	2,2	6,0	4,0	4,1	2,8
Feb	3,9	0,5	1,8	7,2	3,4	5,5	3,1
Mrt	6,8	8,4	3,1	9,5	6,6	6,0	6,1
Apr	13,3	9,0	9,4	13,1	9,9	9,6	9,3
Mei	14,9	15,2	12,8	14,2	14,0	15,8	13,4
Jun	16,7	15,4	17,0	17,1	17,3	18,8	16,0
Jul	16,3	17,7	20,9	21,2	19,8	19,9	18,1
Aug	17,5	19,0	19,5	16,5	19,9	18,8	17,6
Sep	15,8	14,2	15,1	17,1	14,4	18,6	14,4
Okt	11,5	11,0	13,4	14,3	10,5	10,8	10,6
Nov	7,5	7,1	6,5	8,8	10,3	6,1	6,4
Dec	5,9	5,1	6,0	4,8	9,8	5,2	3,4
Gem	11,1	10,6	10,6	12,5	11,7	11,6	10,1



Bijlage 4 Zaai, poot, plant en oogstdata 2011-2016

Schuingedrukt = exacte datum onbekend, schatting van de datum gemaakt

	Percelen	Zaai/plant datum	Opkomst	Oogst	Gbm zaai	Gbm inwerk
2011						
Aardappel	27.1&27.2	6-apr-11	11-mei-11	30-aug-11		
Conservenerwt	18.1&18.2	9-apr-11	21-apr-11	28-jun-11	13-jul-11	
Prei	17.1&17.2	29-jun-11	-	24-nov-11	-	-
Zomergerst	28.1&28.2	22-mrt-11	1-apr-11	1-aug-11	12-aug-11	12-dec-11
Suikerbiet	16.1&16.2	25-mrt-11	8-apr-11	21-sep-11		
Mais	26.1&26.2	28-apr-11	10-mei-11	9-okt-11		
2012						
Aardappel	26.1&26.2	4-mrt-12	14-mei-12	29-sep-12	9-okt-12	7-mrt-13
Conservenerwt	27.1&27.2	17-mrt-12	4-apr-12	26-jun-12	29-jun-12	7-jun-13
Prei	18.1&18.2	7-mrt-12	-	10-jan-12	-	-
Zomergerst	17.1&17.2	12-mrt-12	4-apr-12	24-jul-12	15-aug-12	5-dec-12
Suikerbiet	28.1&28.2	23-mrt-12	6-apr-12	2-okt-12	-	
Mais	16.1&16.2	2-mei-12	15-mei-12	29-sep-12	9-okt-12	7-mrt-13
2013						
Aardappel	16.1&16.2	15-apr-13	20-mei-13	26-sep-13	30-sep-13	18-feb-14
Conservenerwt	26.1&26.2	1-apr-13	24-apr-13	28-jun-13	5-jul-13	3-jun-14
Prei	27.1&27.2	26-jun-13	-	21-nov-13	-	-
Zomergerst	18.1&18.2	28-mrt-13	19-apr-13	1-aug-13	20-aug-13	18-feb-14
Suikerbiet	17.1&17.2	5-apr-14	18-apr-13	6-nov-13	-	-
Mais	28.1&28.2	8-mei-13	27-mei-13	16-okt-13	22-okt-13	19-feb-14
2014						
Aardappel	28.1&28.2	11-apr-14	14-mei-14	17-sep-14	20-okt-14	5-mrt-15
Conservenerwt	16.1&16.2	21-mrt-14	5-apr-14	20-jun-14	17-jul-14	5-mrt-15
Prei	26.1&26.2	1-jul-14	-	18-feb-14	-	-
Zomergerst	27.1&27.2	17-mrt-14	1-apr-14	26-jul-14	25-aug-14	5-mrt-15
Suikerbiet	18.1&18.2	20-mrt-14	5-apr-14	29-okt-14	31-okt-14	19-mrt-15
Mais	17.1&17.2	19-apr-14	29-apr-14	2-okt-14	13-okt-14	19-mrt-15
2015						
Aardappel	17.1&17.2	20-apr-15	19-mei-15	8-okt-15	15-okt-15	15-mrt-16
Conservenerwt	28.1&28.2	16-apr-15	30-apr-15	8-jul-15	30-jul-15	17-mei-16
Prei	16.1&16.2	23-jun-15	23-jun-15	25-nov-15	-	-
Zomergerst	26.1&26.2	24-mrt-15	10-apr-15	2-aug-15	31-aug-15	9-mrt-16
Suikerbiet	27.1&27.2	27-mrt-15	10-apr-15	20-okt-15	23-okt-15	20-mrt-16
Mais	18.1&18.2	24-apr-15	8-mei-15	12-okt-15	15-okt-15	5-mrt-16
2016						
Aardappel	18.1&18.2	15-apr-16	17-mei-16	19-aug-16	24-aug-16	30-nov-16
Conservenerwt	17.1&17.2	22-mrt-16	4-apr-16	13-jun-16	14-jul-16	12-mei-17
Prei	28.1&28.2	30-jun-16	-	9-nov-16	-	-
Zomergerst	16.1&16.2	21-mrt-16	6-apr-16	24-jul-16	24-aug-16	30-nov-16
Peen	26.1&26.2	26-mei-16	4-jun-16	31-okt-16	-	-
Mais	27.1&27.2	30-apr-16	11-mei-16	20-sep-16	-	-

Bijlage 5 Gehanteerde bemestingsstrategie

Stikstof

Per jaar en systeem is een bemestings- en teeltplan gemaakt. Er is naar gestreefd om in STANDAARD en LAAG eenzelfde hoeveelheid werkzame stikstof toe te dienen aan elk gewas. Voor de berekening van de stikstofgift is een stikstofbalansmethode gebruikt.

De stikstofgift is als volgt berekend:

$$\text{Werkzame N-gift} = \text{N-behoefte} - \text{N-min} - \text{N-mineralisatie} - \text{N-depositie} - \text{N in poot-/plantgoed, zaaizaad} - \text{N-binding}$$

De gewasbehoefte is gebaseerd op de totale stikstofopname door het gewas (inclusief bijproducten en gewasresten) bij de streefopbrengst en op de stikstofbenutting door het gewas. Voor de streefopbrengst per gewas is uitgegaan van een gemiddeld goed opbrengstniveau dat in de regio rondom Vredepeel wordt behaald op dezelfde grondsoort. De stikstofbenutting is het percentage van de totaal beschikbare werkzame stikstof in de stikstofopnameperiode van het gewas, dat door het gewas wordt opgenomen. De stikstofbenutting is afhankelijk van het gewas en de groeiomstandigheden. De (streef)waarden voor N-benutting die hiervoor zijn genomen, zijn gebaseerd op de literatuur (Smit, 1994) en resultaten in het bedrijfssystemenonderzoek op Vredepeel in eerdere jaren.

De N-min is de N-min voorraad in de bodem voor aanvang van de teelt, deze is jaarlijks gemeten. De mineralisatie van stikstof betreft enerzijds de basismineralisatie van de bodem en anderzijds de mineralisatie uit vers organisch materiaal van gewasresten, groenbemesters en organische mest. De basismineralisatie is geschat op 100 kg/ha per jaar (Smit & Zwart, 2003). De mineralisatie uit vers gewasresten en groenbemesters is geschat op basis van expertkennis en vuistregels (Handboek Bodem en Bemesting, Teelthandleiding Groenbemesters). De basismineralisatie als ook de depositie van stikstof zijn berekend over de stikstofopnameperiode van het gewas. Stikstofbinding uit de lucht betreft de binding van luchtstikstof bij vlinderbloemigen (conservenerwt, klaver) door Rhizobium. In Tabel 42 is een voorbeeldberekening van de stikstofgift opgenomen.

Toepassing van de stikstof en gebruikte mestsoorten

De stikstofgift zoals berekend is zo efficiënt mogelijk aangewend met deling van giften en/of aangepaste toedieningstechnieken zoals rijenbemesting. In aardappelen en prei is een stikstofbijmeststelsel (NBS) toegepast. In dit geval is niet opgevuld naar de berekende N-gift wanneer de gemeten stikstofvoorraad in de bodem afweek van de verwachting. Bij mais is de kunstmest-N als rijenbemesting toegediend gelijktijdig met het zaaien. De gebruikte mestsoorten per gewas per systeem staan in Tabel 43.

Bemesting overige nutriënten

Op gewasniveau is de fosfaatbehoefte berekend op basis van het fosfaatadvies uit het Handboek Bodem en Bemesting. Vervolgens is gecontroleerd of de behoefte gelijk of lager is dan de verwachte fosfaatafvoer op basis van de streefopbrengsten. De fosfaatbemesting is afgetopt wanneer de behoefte hoger was dan de verwachte afvoer en verhoogd wanneer deze lager was dan de verwachte afvoer.

De bemesting met overige nutriënten was erop gericht om een gebrek te voorkomen. De kalibemesting is in STANDAARD en LAAG uitgevoerd conform de adviesbasis bemesting (www.handboekbodemenbemesting.nl), waarbij zowel aan de gewasbehoefte werd voldaan als aan het handhaven van de kalitoestand van de bodem. Ook de magnesiumbemesting is conform de adviesbasis bemesting uitgevoerd. Verder is er jaarlijks borium bemest bij beide systemen voor de gewassen die gevoelig zijn voor boriumgebrek. Bij risico van mangaangebrek is een mangaanbespuiting uitgevoerd. Tot slot is er bekalkt, afhankelijk van de pH-KCl van de bodem.

Tabel 42 Voorbeeldberekening stikstofgift per gewas.

		Aardappel	Conserven- erwt	Prei	Zomer- gerst	Suikerbiet	Snijmais
Streefopbrengst bruto	ton/ha	60	6	35	7	65	52
Loof bij oogst	ton/ha	2.5	36	30	3	41	0
Gehalten oogstbaar product	kg/ton	3.0	10.1	2.8	13.7	1	3.2
Opname oogstbaar product	kg/ha	180	61	98	96	65	166
Gehalte loof bij oogst	kg/ton	1.0	4.1	3.4	4.2	3.2	
Inhoud loof bij oogst	kg/ha	3	146	102	13	131	0
Inhoud wortels/stoppels	kg/ha	0	10	0	25	3	15
Verschil Nmax-oogst	kg/ha	20	0	0	0	0	0
N-opname	kg/ha	203	216	200	134	199	181
N-benutting		70%	45%	55%	80%	75%	75%
N-binding	kg/ha	0	150	0	0	0	0
Benodigde N-aanvoer	kg/ha	289	148	364	167	266	242
Nmin voorjaar	kg/ha	15	6	5	17	22	14
N in zaai/plant/pootgoed	kg/ha	9	13	10	0	0	0
N-mineralisatie 0-40 cm	kg/ha	45	31	58	34	66	45
N-nawerking gbm/gewasresten	kg/ha	0	0	50	0	10	0
N-depositie	kg/ha	19	13	23	15	23	15
N-gift	kg/ha	201	85	218	101	145	168

Tabel 43 Gebruikte mestsoorten per gewas per systeem.

	LAAG	STANDAARD
Aardappel	Mineralenconcentraat of spuiwater Kunstmest-N	2011-2013 varkensdrijfmest 2014-2016 varkensdrijfmest en runderdrijfmest Kunstmest-N
Conservenerwt	Kunstmest-N	2011-2013 varkensdrijfmest 2014-2016 varkensdrijfmest en runderdrijfmest
Prei	Mineralenconcentraat of spuiwater Kunstmest-N	Runderdrijfmest Kunstmest-N
Zomergerst	Kunstmest-N	Kunstmest-N
Suikerbiet	Mineralenconcentraat Kunstmest-N	Varkensdrijfmest en runderdrijfmest Kunstmest-N
Peen	Mineralenconcentraat Kunstmest-N	Varkensdrijfmest en runderdrijfmest Kunstmest-N
Snijmais	Mineralenconcentraat of spuiwater Kunstmest-NP	Runderdrijfmest Kunstmest-NP

Opmerkingen bij Tabel 43:

- Vanaf 2014 wordt er rijenbemesting toegepast bij aardappel, prei en snijmais. Bij snijmais wordt er vanuit gegaan dat de benodigde stikstofgift in dat geval met 20% verlaagd kan worden.
- De grasgroenbemester na conservenerwt is in 2011-2014 bemest met kunstmest-N.
- De bladrammenas (groenbemester) na de zomergerst is in 2011-2013 bemest met mineralenconcentraat.

Bijlage 6 Forfaitaire getallen voor berekening EOS-aanvoer

Forfaitaire getallen voor berekening EOS-aanvoer voor gewasresten, groenbemesters en mest (o.s. = organische stof, h.c. = humificatiecoëfficiënt)

Gewas	o.s. %	h.c. loof %	stoppel & oogstresten kg o.s./ha	h.c. stoppel & oogstresten %	wortel & stoppelresten kg o.s./ha	h.c. wortel & stoppelresten %
aardappel	90%	20%	300	20%	500	35%
conservenerwt	91%	20%	-	-	400	35%
prei	90%	20%	-	-	300	35%
zomergerst	94%	30%	3200	30%	1000	35%
peen	90%	28%	-	-	500	35%
suikerbiet	80%	20%	-	-	500	35%
snijmais	-	-	300	30%	1500	35%

Groenbemester	o.s. %	h.c. loof %	wortel & stoppelresten % van bovengronds %	h.c. wortel & stoppelresten %
Bladrammenas	82%	20%	26%	35%
Engels raaigras	90%	20%	91%	35%
Grasklaver	90%	20%	79%	35%
Japanse haver	90%	20%	31%	35%
Tagetes	90%	20%	15%	35%
Zomergerst erwt	90%	20%	25%	35%

Mest	o.s. mest kg/ton	h.c. mest %
Runderdrijfmest	64	70%
Varkendrijfmest	43	33%
Vaste rundermest	150	70%
Vinassekali	41	10%
Mineralenconcentraat	13	33%
Compost	179	90%

Bronnen

- Handboek bodem en bemesting, <http://www.handboekbodemenbemesting.nl>
- Databank samenstelling organische meststoffen
<http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/document/organische-nieuwe-meststoffen-gewenste-samenstelling-en-werking>

Bijlage 7 Stikstofbalans bodem

Onderstaande tabel is overgenomen uit Schröder et al. (2004). De tabel geeft een overzicht van de aan- en afvoerposten van minerale stikstof in de bodem.

Tabel 2. N-bodemoverschot (kg N per ha per jaar) in jaar n (start = begin groeiseizoen van hoofdgewas in jaar n, einde = begin groeiseizoen van hoofdgewas in jaar n+1) zoals gebruikt in de WOG met een willekeurig getallenvoorbeeld.

			Compleet (bruto)	Gecorrigeerd voor kruisposten (netto)	
Aanvoer	N _{min} voorjaar, jr n		40		
	Depositie, jr n		45	45	
	N-fixatie, jr n	Vlinderbloemigen w.o. klaver	20	20	
	Mineralisatie 'bodent' ¹ , jr n		100	100	
	Nalevering vanuit inputs gegeven in eerdere jaren (< n)	mest uit stal ²		25	
			weide mest ²	18	
			gewasrest, groenbemester ³	50	
			overige organische meststoffen w.o. compost, dekstro, etc.	9	
			Organische mest, jr n	Mest uit stal	100
		Mest in weide	70	70	
		overige organische meststoffen w.o. compost, dekstro, etc.	10	10	
	Kunstmest, jr n		150	150	
	TOTAAL		637	495	
	Afvoer	Gewas (daadwerkelijke afvoer), jr n	'Opbrengst x gehalte'	247	247
N _{min} voorjaar, jr n+1			40		
Vastgelegd/vastgehouden in jr n ten behoeve van latere jaren (> n)		Mest uit stal ²		25	
			Weide mest ²	18	
			Gewasrest, groenbemester ³	50	
			Overige organische meststoffen w.o. compost, dekstro, etc.	9	
Ammoniak tijdens beweiden en uitrijden, jr n			12	12	
Aanvoer – N-BODEMOVERSCHOT, jr n		Uitspoeling, denitrificatie	236	236	
Afvoer					

¹ Additionele N-mineralisatie ingeval van veengronden.

² Nawerking van mest in jaar n die in jaren n-1 en eerder gegeven is en (in evenwichtssituatie en bedrijfsverband) aan de overschotkant van de balans in humus vastligt.

³ Bijvoorbeeld levering uit oude gescheurde weide met daar tegenover (in evenwichtssituatie en in bedrijfsverband) aan de overschotkant van de balans vastlegging in nieuwe weide.

Bijlage 8 Parameters waarop variantieanalyse is uitgevoerd

EOS-aanvoer (par 3.1)

EOS-aanvoer totaal
EOS-aanvoer mest
EOS-aanvoer gewasresten
EOS-aanvoer groenbemester

Marktbaar opbrengst (par 3.2.1.)

Marktbaar opbrengst
Relatieve marktbaar opbrengst

Droge stofopbrengst (par 3.2.2)

Droge stofopbrengst totaal
Droge stofopbrengst hoofdproduct
Droge stofopbrengst gewasresten
Droge stofopbrengst groenbemester

Organische stof (par 3.3.1)

OS% NIRS
OS% Gloeiverlies (13-16)
OS% complete reeks

Chemische bodemvruchtbaarheid par 3.3.2)

N-totaal
C/N
Pw
P-CaCl₂
P-Al
K-getal
CEC
pH

Stikstofaanvoer (par 3.4.1.1)

N-aanvoer mest
N-aanvoer kunstmest
N-aanvoer stikstofbinding

Werkzame stikstofaanvoer (par 3.4.1.2)

N-werkzaam o.b.v. Nmin/Norg in mest
N-werkzaam wettelijk
N-gebruiksnorm
Overschot N-werkzaam

Stikstofafvoer (par 3.4.2)

N-afvoer gewas

N-gehaltes hoofdproduct
NH₃-emissie

Stikstofbodemoverschot (par 3.4.3)

N-aanvoer
N-afvoer
N-bodem overschot

Stikstoffefficiëntie (par 3.4.4)

N-efficiency o.b.v. N-aanvoer totaal

Stikstofnawerking (par 3.4.5)

Stikstofnawerking totaal
Stikstofnawerking gewasresten
Stikstofnawerking groenbemesters
Stikstofnawerking mest

N-min bodem (par 3.5)

N-min voorjaar
N-min na oogst
N-min najaar

Nitraatconcentraties grondwater (par 3.6)

NO₃-concentratie grondwater februari
NO₃-concentratie grondwater gemiddeld

Uitspoelfractie (par 3.7)

Neerslag en berekening
Verdamping
Neerslagoverschot
NO₃-vracht februari
NO₃-vracht gemiddeld
Uitspoelfractie februari
Uitspoelfractie gemiddeld

Corr. uitspoelfractie voor nawerking (par 3.7.2.1)

N-min uit mest
N-org uit mest
N-opname gewasresten
N-opname groenbemester
N-overschot gecorrigeerd voor stikstofnawerking
Uitspoelfractie gecorrigeerd voor stikstofnawerking

Corr. uitspoelfractie voor verdamping (par 3.7.2.2)

Relatieve droge stofproductie
Gecorrigeerde verdamping
Neerslagoverschot gecorrigeerd voor verdamping
NO₃-vracht gecorrigeerd voor verdamping
Uitspoelfractie gecorrigeerd voor verdamping

Corr. uitspoelfractie voor grondwaterstand (par 3.7.2.3)

Grondwaterstand
Uitspoelfractie gecorrigeerd voor grondwaterstand

Alle correcties op uitspoelfractie (par 3.7.2.4)

Uitspoelfractie met alle correcties

Fosfaaibalans (par 3.10.1)

Fosfaataanvoer
Fosfaatafvoer
Fosfaatoverschot

Kalibalans (par 3.10.2)

Kaliaanvoer
Kaliefvoer
Kalioverschot

Bijlage 9 Nadere verklaring verschillen in organisch stofgehaltes STANDAARD en LAAG

Het Systeemeffect in organische stofgehalte is over de gehele periode 1988-2016 niet significant maar wel over de periode 2011-2016 (Tabel 44). Dit komt doordat over de hele periode het verschil maar 0.2 % is en in de periode 2011-2016 0.4 %. Verder is de residual mean square error (rmse) waartegen het systeem effect wordt getoetst in de periode 2011-2016 veel kleiner dan in de periode 1988-2016 (Tabel 44). Dat komt doordat over de periode 1988-2016 het organisch stof gehalte hoger is in STANDAARD op de percelen 17, 18, 26 en 28 maar niet op de percelen 16 en 27 (Tabel 45). Daardoor wordt de rmse over die periode vergroot (Tabel 44). Deze rmse is de variantiecomponent bij de interactie van perceel en systeem waartegen het systeem effect wordt getoetst. Over de periode 2011-2016 is het organisch stofgehalte in alle 6 percelen hoger in STANDAARD, waardoor de rmse kleiner is en het gemiddelde verschil tussen STANDAARD en LAAG groter. Op ieder perceel is in 2011-2016 het systeem effect op het organisch stofgehalte van STANDAARD dus positief vergeleken met LAAG.

Tabel 44 Gemiddelde organisch stofgehaltes per systeem over alle jaren en in diverse onderdelen van de totale meetperiode

SYSTEEM	1988-2016	1988-2004	2000-2004	2005-2016	2011-2016	2005-2008	2011-2013	2014-2016
LAAG	3.8a	3.99a	3.51a	3.53a	3.59a	3.33a	3.42a	3.75a
STANDAARD	4.02a	4.21a	3.78a	3.74a	4.01b	3.25a	3.93b	4.09a
Lsd	0.37	0.38	0.29	0.36	0.24	0.58	0.11	0.4
F pr.	n.s.	n.s.	<0.10	n.s.	<0.01	n.s.	<0.001	<0.10
rmse	1.82	1.12	0.19	0.72	0.15	0.61	0.02	0.22

Tabel 45 Organisch stofgehalte per perceel en systeem gemiddeld over de periode 1988-2016 en over de periode 2011-2016.

Perceel	1988-2016			2011-2016		
	LAAG	STANDAARD	Gem.	LAAG	STANDAARD	Gem.
16	3.8	3.7	3.8	3.7	3.9	3.8
17	3.8	3.9	3.9	3.5	3.7	3.6
18	3.8	4.2	4.0	3.5	4.0	3.7
26	3.4	4.1	3.7	3.4	4.2	3.8
27	4.2	4.1	4.2	3.9	4.2	4.1
28	3.7	4.0	3.8	3.5	4.1	3.8
Gem.	3.8	4.0	3.9	3.6	4.0	3.8

Bijlage 10 Resultaten regressieanalyse stikstofbodemoverschot, N-min voorraden bodem en nitraatuitspoeling

Statistiek behorende bij Figuur 16:

Regression analysis
=====

Response variate: NO3_vracht_gem
Fitted terms: Constant, N_bodem_overschot

Estimates of parameters

Parameter	estimate	s.e.	t(58)	t pr.
Constant	58.7	10.6	5.55	<.001
N_bodem_overschot	0.0245	0.0950	0.26	0.797

Statistiek behorende bij Figuur 17:

Response variate: NO3_vracht_gem
Fitted terms: Constant + Systeem + N_bodem_overschot

Percentage variance accounted for 3.5

Accumulated analysis of variance

Change	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
+ Systeem	1	202.8	202.8	0.57	0.474
+ N_bodem_overschot	1	620.7	620.7	1.75	0.227
Residual	7	2476.8	353.8		
Total	9	3300.2	366.7		

Wald tests for dropping terms

Term	Wald statistic	d.f.	F statistic	F pr.
Systeem	1.371	1	1.37	0.280
N_bodem_overschot	1.754	1	1.75	0.227

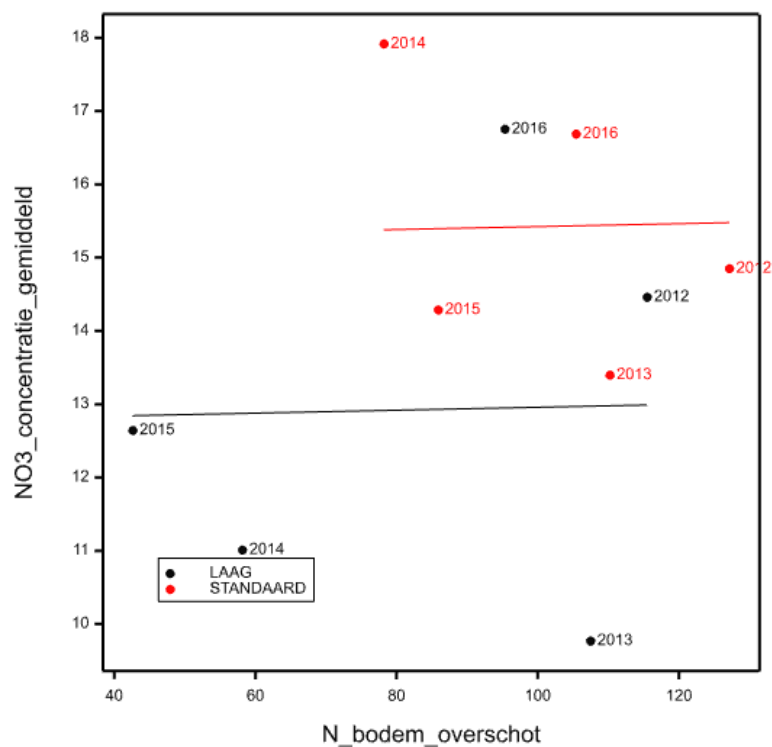
Statistiek behorende bij Figuur 18:

Regression analysis
=====

Response variate: NO3_vracht_gecorr_V
Fitted terms: Constant, N_overschot_gecorr_NW

Estimates of parameters

Parameter	estimate	s.e.	t(58)	t pr.
Constant	55.0	10.1	5.45	<.001
N_overschot_gecorr_NW	0.1398	0.0988	1.41	0.163



Figuur 21 Regressie analyse tussen het stikstofbodemoverschot (ongecorrigeerd) (kg/ha) en nitraatconcentratie in het grondwater (mg N-NO₃⁻/l) per systeem per jaar.

Response variate: NO3_concentratie_gemiddeld
 Fitted terms: Systeem + N_bodem_overschot

Summary of analysis

```
-----
Source d.f. s.s. m.s. v.r.
Regression 2 15.66 7.829 1.24
Residual 7 44.24 6.320
Total 9 59.90 6.655
```

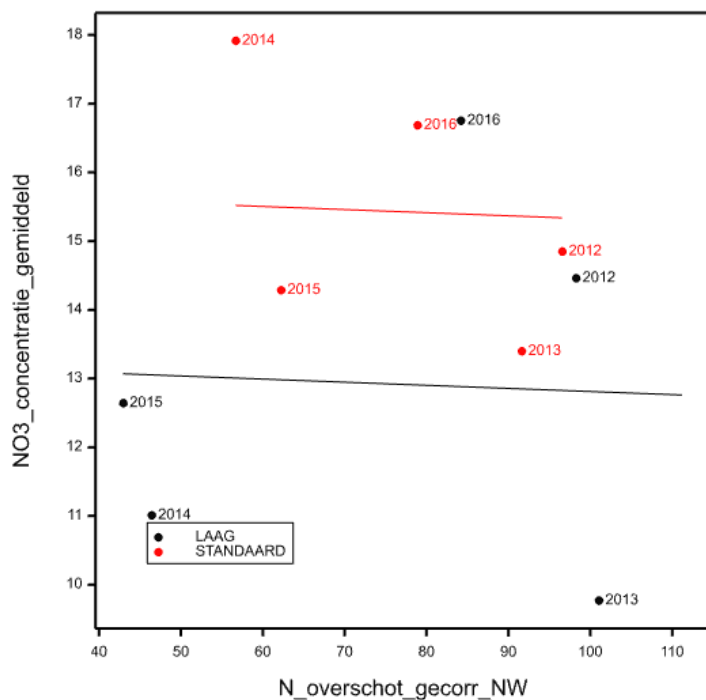
Percentage variance accounted for 5.0

Estimates of parameters

```
-----
Parameter estimate s.e. t(7) t pr.
Systeem LAAG 12.76 3.04 4.20 0.004
Systeem STANDAARD 15.22 3.59 4.24 0.004
N_bodem_overschot 0.0020 0.0336 0.06 0.954
```

Wald tests for dropping terms

```
-----
Term Wald statistic d.f. F statistic F pr.
Systeem 18.940 2 9.47 0.010
N_bodem_overschot 0.004 1 0.00 0.954
```

Figuur 22 Regressie analyse tussen het gecorrigeerde stikstofbodemoverschot (kg/ha) en de nitraatconcentratie in het grondwater (mg N-NO₃⁻/l) per systeem per jaar

Response variate: NO3_concentratie_gemiddeld
 Fitted terms: Systeem + N_overschot_gecorr_NW

Summary of analysis

```
-----
Source d.f. s.s. m.s. v.r.
Regression 2 15.72 7.862 1.25
Residual 7 44.17 6.311
Total 9 59.90 6.655
```

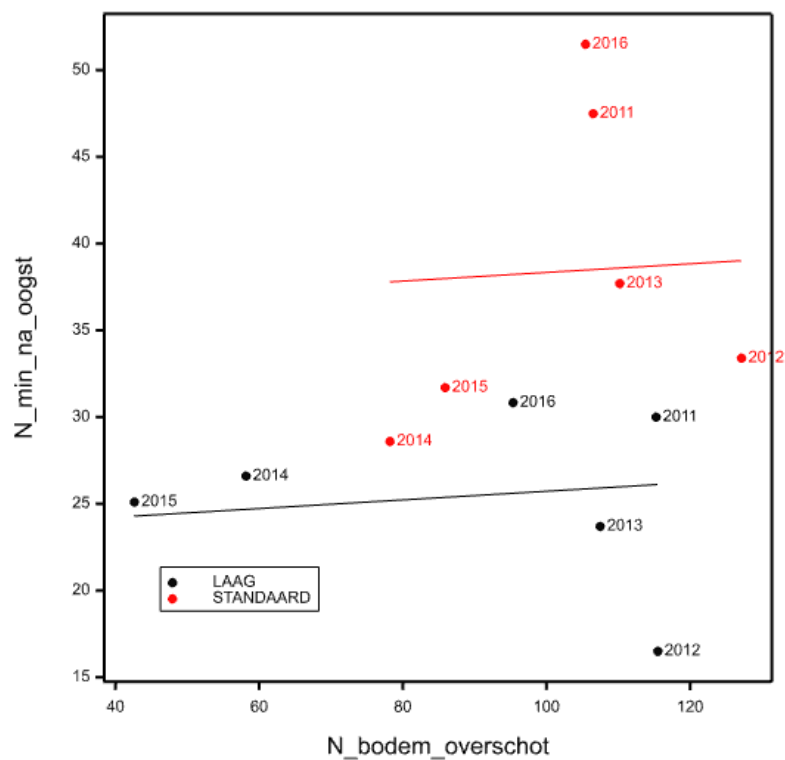
Percentage variance accounted for 5.2

Estimates of parameters

```
-----
Parameter estimate s.e. t(7) t pr.
Systeem LAAG 13.26 3.05 4.35 0.003
Systeem STANDAARD 15.78 3.14 5.02 0.002
N_overschot_gecorr_NW -0.0045 0.0380 -0.12 0.908
```

Wald tests for dropping terms

```
-----
Term Wald statistic d.f. F statistic F pr.
Systeem 25.24 2 12.62 0.005
N_overschot_gecorr_NW 0.01 1 0.01 0.908
```



Figuur 23 Regressieanalyse tussen het stikstofbodemoverschot (kg/ha) en N-min na oogst (kg/ha) per systeem per jaar.

Response variate: N_min_na_oogst
 Fitted terms: Systeem + N_bodem_overschot

Summary of analysis

 Source d.f. s.s. m.s. v.r.
 Regression 2 506.7 253.34 4.14
 Residual 9 551.1 61.24
 Total 11 1057.8 96.16

Percentage variance accounted for 36.3

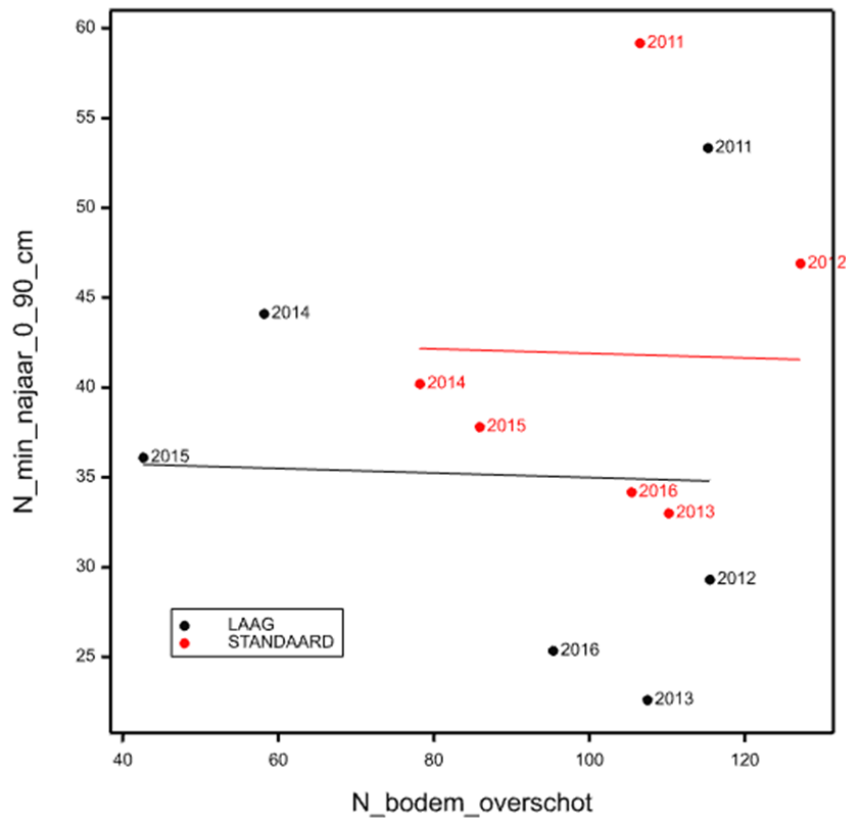
Estimates of parameters

 Parameter estimate s.e. t(9) t pr.
 Systeem LAAG 23.23 9.26 2.51 0.033
 Systeem STANDAARD 35.8 10.5 3.42 0.008
 N_bodem_overschot 0.0250 0.0976 0.26 0.804

Wald tests for dropping terms

 Term Wald statistic d.f. F statistic F pr.
 Systeem 13.218 2 6.61 0.017
 N_bodem_overschot 0.065 1 0.07 0.804
 Response variate: N_min_najaar_0_90_cm

Fitted terms: Systeem + N_bodem_overschot



Figuur 24 Relatie tussen het stikstofbodemoverschot (kg/ha) en de N-min najaar (kg/ha) per systeem per jaar.

Summary of analysis

```
-----  
Source d.f. s.s. m.s. v.r.  
Regression 2 137. 68.7 0.52  
Residual 9 1181. 131.2  
Total 11 1318. 119.8
```

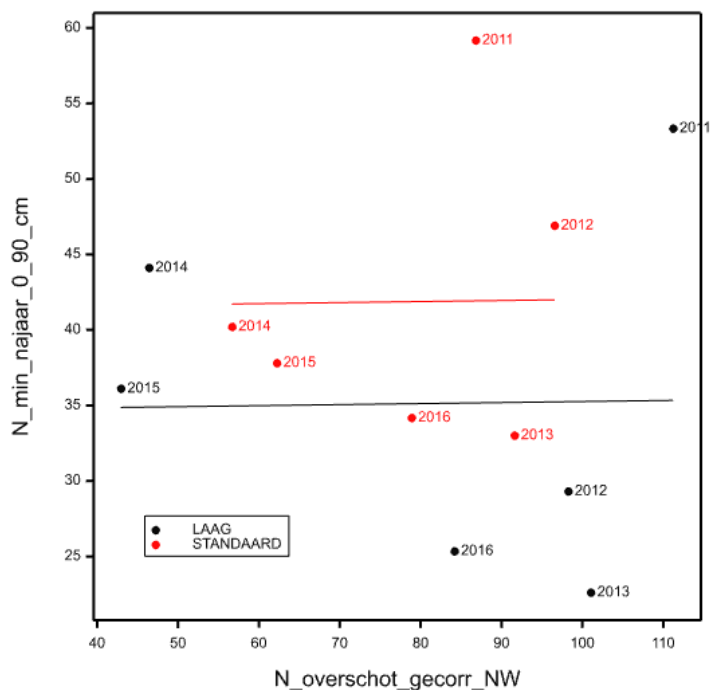
Residual variance exceeds variance of response variate.

Estimates of parameters

```
-----  
Parameter estimate s.e. t(9) t pr.  
Systeem LAAG 36.3 13.6 2.67 0.025  
Systeem STANDAARD 43.2 15.3 2.82 0.020  
N_bodem_overschot -0.013 0.143 -0.09 0.932
```

Wald tests for dropping terms

```
-----  
Term Wald statistic d.f. F statistic F pr.  
Systeem 8.051 2 4.03 0.056  
N_bodem_overschot 0.008 1 0.01 0.932
```



Figuur 25 Relatie tussen het gecorrigeerde stikstofbodemoverschot (kg/ha) en de N-min najaar (kg/ha) per systeem per jaar.

Response variate: N_min_najaar_0_90_cm
 Fitted terms: Systeem + N_overschot_gecorr_NW

Summary of analysis

```
-----
Source d.f. s.s. m.s. v.r.
Regression 2 137. 68.4 0.52
Residual 9 1181. 131.3
Total 11 1318. 119.8
```

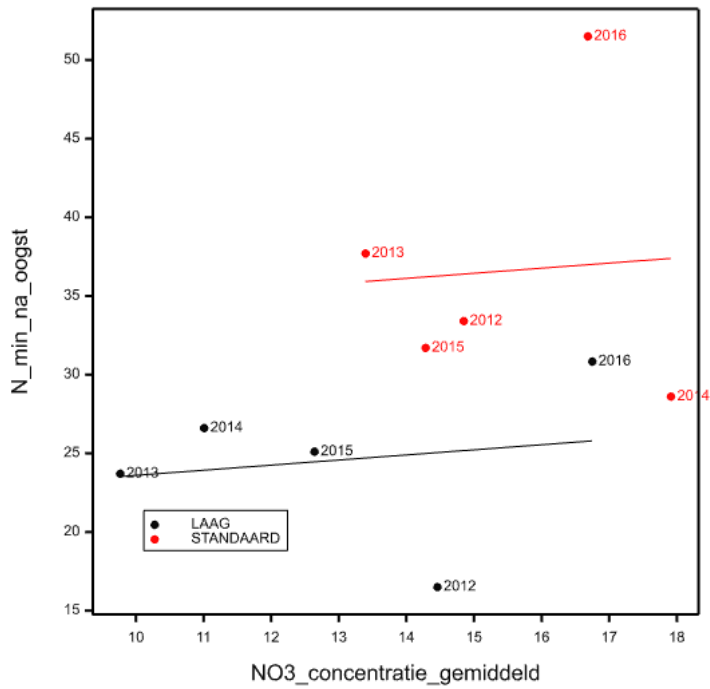
Residual variance exceeds variance of response variate.

Estimates of parameters

```
-----
Parameter estimate s.e. t(9) t pr.
Systeem LAAG 34.6 13.2 2.61 0.028
Systeem STANDAARD 41.3 13.0 3.19 0.011
N_overschot_gecorr_NW 0.007 0.153 0.04 0.965
```

Wald tests for dropping terms

```
-----
Term Wald statistic d.f. F statistic F pr.
Systeem 10.278 2 5.14 0.032
N_overschot_gecorr_NW 0.002 1 0.00 0.965
```



Figuur 26 Relatie tussen de nitraatconcentratie in het grondwater (mg N-NO₃⁻/l) en de N-min na oogst (kg/ha) per systeem per jaar.

Response variate: N_min_na_oogst

Fitted terms: Constant + Systeem + NO3_concentratie_gemiddeld

Summary of analysis

```
-----
Source d.f. s.s. m.s. v.r. F pr.
Regression 2 366.7 183.33 3.01 0.114
Residual 7 426.3 60.90
Total 9 793.0 88.11
```

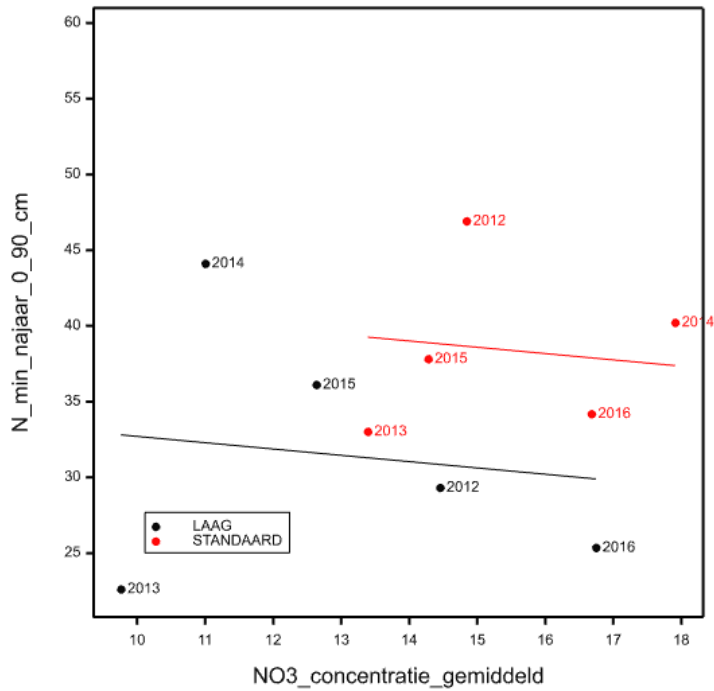
Percentage variance accounted for 30.9

Accumulated analysis of variance

```
-----
Change d.f. s.s. m.s. v.r. F pr.
+ Systeem 1 362.00 362.00 5.94 0.045
+ NO3_concentratie_gemiddeld
  1 4.65 4.65 0.08 0.790
Residual 7 426.33 60.90
Total 9 792.98 88.11
```

Wald tests for dropping terms

```
-----
Term Wald statistic d.f. F statistic F pr.
Systeem 3.820 1 3.82 0.092
NO3_concentratie_gemiddeld 0.076 1 0.08 0.790
```



Figuur 27 Relatie tussen de nitraatconcentratie in het grondwater (mg N-NO₃⁻/l) en de N-min na jaar (kg/ha) per systeem per jaar.

Response variate: N_min_najaar_0_90_cm

Fitted terms: Constant + Systeem + NO3_concentratie_gemiddeld

Summary of analysis

```
-----
Source d.f. s.s. m.s. v.r. F pr.
Regression 2 127.6 63.81 1.07 0.393
Residual 7 417.2 59.61
Total 9 544.9 60.54
```

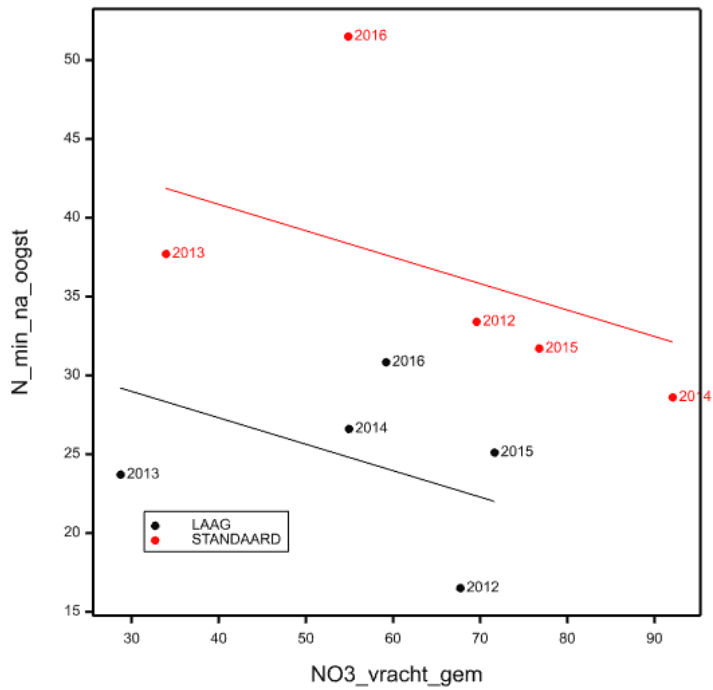
Percentage variance accounted for 1.5

Accumulated analysis of variance

```
-----
Change d.f. s.s. m.s. v.r. F pr.
+ Systeem 1 119.95 119.95 2.01 0.199
+ NO3_concentratie_gemiddeld
  1 7.68 7.68 0.13 0.730
Residual 7 417.25 59.61
Total 9 544.87 60.54
```

Wald tests for dropping terms

```
-----
Term Wald statistic d.f. F statistic F pr.
Systeem 1.968 1 1.97 0.203
NO3_concentratie_gemiddeld 0.129 1 0.13 0.730
```



Figuur 28 Relatie tussen de stikstofvracht naar het grondwater (kg/ha) en de N-min na oogst (kg/ha) per systeem per jaar.

Response variate: N_min_na_oogst
 Fitted terms: Constant + Systeem + NO3_vracht_gem

Summary of analysis

```
-----
Source d.f. s.s. m.s. v.r. F pr.
Regression 2 449.0 224.50 4.57 0.054
Residual 7 344.0 49.14
Total 9 793.0 88.11
```

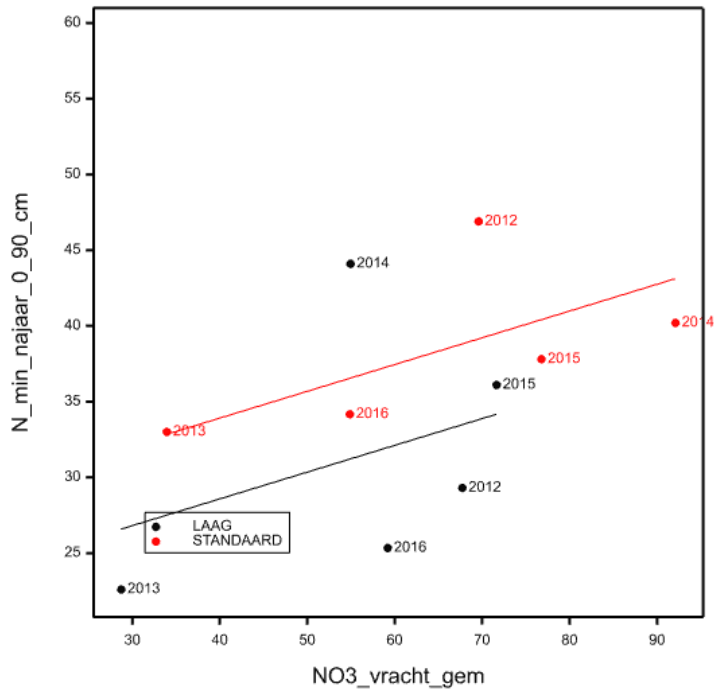
Percentage variance accounted for 44.2

Accumulated analysis of variance

```
-----
Change d.f. s.s. m.s. v.r. F pr.
+ Systeem 1 362.00 362.00 7.37 0.030
+ NO3_vracht_gem 1 87.00 87.00 1.77 0.225
Residual 7 343.98 49.14
Total 9 792.98 88.11
```

Wald tests for dropping terms

```
-----
Term Wald statistic d.f. F statistic F pr.
Systeem 8.757 1 8.76 0.021
NO3_vracht_gem 1.770 1 1.77 0.225
```



Figuur 29 Relatie tussen de stikstofvracht naar het grondwater (kg/ha) en de N-min najaar (kg/ha) per systeem per jaar

Response variate: N_min_najaar_0_90_cm
 Fitted terms: Constant + Systeem + NO3_vracht_gem

Summary of analysis

 Source d.f. s.s. m.s. v.r. F pr.
 Regression 2 216.7 108.34 2.31 0.170
 Residual 7 328.2 46.89
 Total 9 544.9 60.54

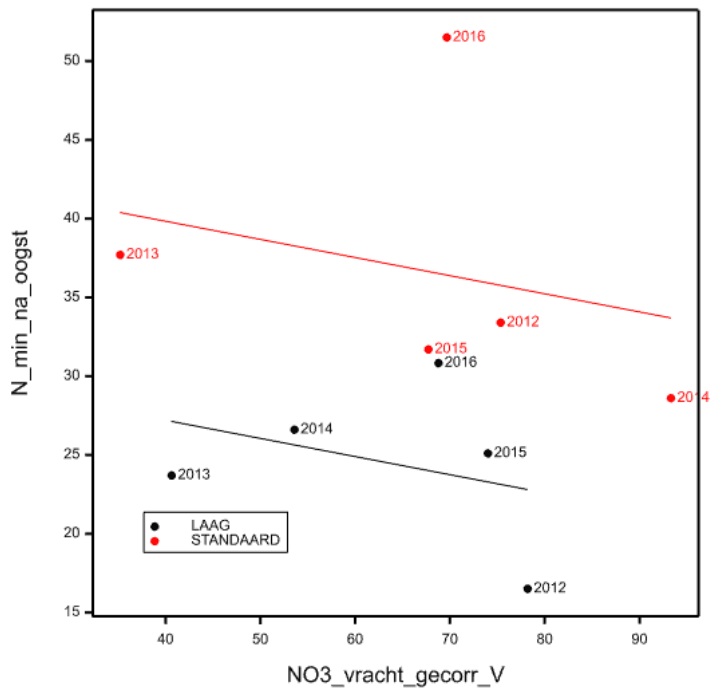
Percentage variance accounted for 22.6

Accumulated analysis of variance

 Change d.f. s.s. m.s. v.r. F pr.
 + Systeem 1 119.95 119.95 2.56 0.154
 + NO3_vracht_gem 1 96.73 96.73 2.06 0.194
 Residual 7 328.20 46.89
 Total 9 544.87 60.54

Wald tests for dropping terms

 Term Wald statistic d.f. F statistic F pr.
 Systeem 1.424 1 1.42 0.272
 NO3_vracht_gem 2.063 1 2.06 0.194



Figuur 30 Relatie tussen de stikstofvracht naar het grondwater gecorrigeerd (kg/ha) en de N-min na oogst (kg/ha) per systeem per jaar.

Response variate: N_min_na_oogst
 Fitted terms: Constant + Systeem + NO3_vracht_gecorr_V

Summary of analysis

 Source d.f. s.s. m.s. v.r. F pr.
 Regression 2 398.4 199.21 3.53 0.087
 Residual 7 394.6 56.37
 Total 9 793.0 88.11

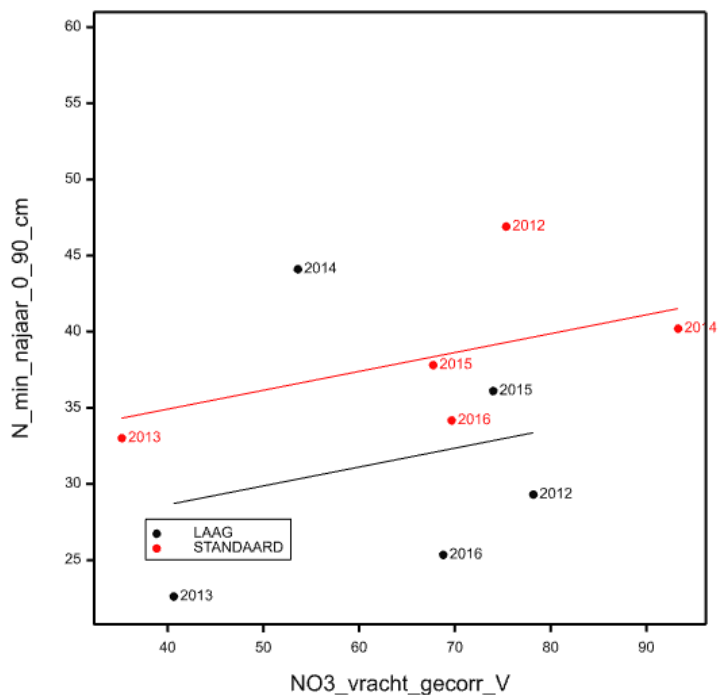
Percentage variance accounted for 36.0

Accumulated analysis of variance

 Change d.f. s.s. m.s. v.r. F pr.
 + Systeem 1 362.00 362.00 6.42 0.039
 + NO3_vracht_gecorr_V 1 36.41 36.41 0.65 0.448
 Residual 7 394.57 56.37
 Total 9 792.98 88.11

Wald tests for dropping terms

 Term Wald statistic d.f. F statistic F pr.
 Systeem 6.908 1 6.91 0.034
 NO3_vracht_gecorr_V 0.646 1 0.65 0.448



Figuur 31 Relatie tussen de stikstofvracht naar het grondwater gecorrigeerd (kg/ha) en de N-min najaar (kg/ha) per systeem per jaar.

Response variate: N_min_najaar_0_90_cm
 Fitted terms: Constant + Systeem + NO3_vracht_gecorr_V

Summary of analysis

```
-----
Source d.f. s.s. m.s. v.r. F pr.
Regression 2 162.1 81.05 1.48 0.291
Residual 7 382.8 54.68
Total 9 544.9 60.54
```

Percentage variance accounted for 9.7

Accumulated analysis of variance

```
-----
Change d.f. s.s. m.s. v.r. F pr.
+ Systeem 1 119.95 119.95 2.19 0.182
+ NO3_vracht_gecorr_V 1 42.16 42.16 0.77 0.409
Residual 7 382.77 54.68
Total 9 544.87 60.54
```

Wald tests for dropping terms

```
-----
Term Wald statistic d.f. F statistic F pr.
Systeem 1.760 1 1.76 0.226
NO3_vracht_gecorr_V 0.771 1 0.77 0.40
```

Correspondentie adres voor dit rapport:
Wageningen University and Research
Praktijkonderzoek AGV
Edelhertweg 1
Postbus 430
8200 AK Lelystad
T | (+31)320 29 11 11
www.wur.nl/agv

Rapport WPR-754

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



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



Wageningen University & Research
Praktijkonderzoek AGV
Edelhertweg 1
Postbus 430
8200 AK Lelystad
T | (+31)320 29 11 11
www.wur.nl/agv

Rapport WPR-754

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

