



Technische Briefing Kringlooplandbouw

Notitie opgesteld op verzoek van de Tweede Kamer Commissie LNV

Wat mogen we verwachten van een circulaire voedselproductie gebaseerd op een kringlooplandbouw, in het perspectief van klimaat- en biodiversiteitsdoelen?

SAMENVATTING

Achtergrond

De Nederlandse landbouw kan een sleutelrol gaan vervullen in de transitie naar een circulaire "biobased" samenleving. Vanuit Wageningen University & Research wordt gewezen op de mogelijkheden die een kringlooplandbouw biedt om te komen tot een toekomstbestendige circulaire voedselproductie. Kan een circulair landbouwsysteem ook bijdragen aan het halen van doelen van (inter-)nationale klimaatafspraken en biodiversiteit?

1. Kenmerken van kringlooplandbouw in een circulair voedselsysteem (pagina 4)

Binnen een kringlooplandbouw wordt gestreefd naar minimale verliezen van grondstoffen bij de productie van biomassa door de kringloop van stoffen en geproduceerde biomassa binnen het landbouwsysteem zoveel mogelijk te sluiten. De inperking van verliezen kan worden gerealiseerd door reststromen (gewasresten, voedselresten, procesafval, mest, compost) te benutten en op te waarden tot nuttige grondstoffen in het landbouwsysteem, zodat de invoer van buiten het landbouwsysteem zo klein mogelijk is.

Kringlooplandbouw is een integraal onderdeel van een circulair voedselsysteem (inclusief de periferie rond de landbouw) binnen een "biobased" samenleving en vergt derhalve een systeembenadering in plaats van een ketenbenadering. Een systeembenadering vereist denken op verschillende ruimte- en tijdschalen. De kringloop sluiten op lokaal niveau vormt daarbij de basis, maar voor optimalisatie van een nationaal of mondiaal

voedselproductiesysteem moeten lokale kringlopen worden geschakeld.

Een belangrijk principe is dat er niet meer land en grondstof wordt gebruikt dan strikt noodzakelijk om voedsel te produceren. Dat gebeurt door: op akkers primair voedingsgewassen te produceren, graslanden daar te realiseren waar geen akkerbouw mogelijk of landschappelijk gewenst is, vee primair te voeren met diervoeders geproduceerd van grassen, gewas- en voedingsresten en landbouwgrond primair met hoogwaardige organische bemestingsproducten op basis van gewasresten of dierlijke mest te verrijken. Heterogeniteit, diversiteit en veelzijdigheid binnen het landbouwsysteem bieden de beste mogelijkheden voor circulaire integratie van biomassastromen en sluiten van kringlopen van stoffen.

2. Bodembeheer in een kringlooplandbouw (pagina 6)

De bodem speelt een cruciale rol in de kringlooplandbouw. Een goede bodemkwaliteit kan bijdragen aan een hogere opbrengst, dient als buffer voor extreme weersomstandigheden én beperkt de verliezen van stikstof naar de lucht en grond- en oppervlaktewater. Het gehalte aan organische stof in de bodem is een indicator voor bodemkwaliteit. Een circulaire landbouw kan bijdragen aan het verhogen van het organische stofgehalte door gebruik van meer of betere organische mest in plaats van kunstmest of drijfmest, een minder intensief bouwplan en het verminderen van grondbewerking.

Deze notitie is een gecompileerde bloemlezing van wat we weten (en nog niet weten) over kringlooplandbouw en wat we daarvan mogen verwachten voor klimaat- en natuurdoelen. Tijdens de Mansholt lezing 2018 (19 september 2018 in Brussel) wordt een wetenschappelijke visie op circulaire voedselproductie vanuit WUR gepresenteerd en gepubliceerd. (www.wur.eu/mansholt)

Deze notitie is samengesteld door Martin Scholten met bijdragen van:

*Felix Bianchi, Imke de Boer, Sjaak Conijn, Jan Dijkstra, Anne van Doorn, Ernst van den Ende, Louise Fresco, Raymond Jongschaap, Heleen van Kernebeek, Jan Peter Lesschen, Evelien de Olde, Rogier Schulte, Katrien Termeer, Jack van der Vorst, Bram de Vos en Geert Woltjer
Eindredactie: Jelle Maas en Antoinette Thijssen*





Samenvatting (2)

3. Opties om de Nederlandse landbouw verdergaand circulair in te richten (pagina 7)

Een belangrijk aspect in de kringlooplandbouw is een goede afstemming van grondgebonden landbouwgebruik, zoals teelt van voedings- en voedergrassen en beweiding van vee. En daarnaast de koppeling van grondgebonden en niet grondgebonden landbouwsegmenten (in bijzonder intensieve veehouderij in gesloten stalsystemen en glastuinbouw).

Concrete opties voor een verdergaande invulling van circulaire landbouw in Nederland zijn:

- Optimale benutting van landbouwgrond voor productie van voedsel voor mensen met gemengde en wisselende teelten die bestaan uit een diversiteit aan (dubbeldoel)gewassen, gekoppeld aan slim bodembeheer gericht op natuurlijke processen en ruimte biedend voor agrarische biodiversiteit.
- Optimale benutting van (kruidenrijke) graslanden op landbouwgronden die niet geschikt zijn voor akker- of tuinbouw met slimme begrazing, bemesting en grondbeheer aansluitend op natuurlijke processen en ruimte biedend aan agrarische biodiversiteit
- Productie van diervoer uit agrarische biomassa die niet direct voor humane consumptie geschikt is en uit reststromen uit voedingsmiddelenproductie en –consumptie om verspilling van agrarische biomassa zo veel mogelijk tegen te gaan.
- Optimale benutting van dierlijke mest voor hoogwaardige bemesting van landbouwgrond, met name in de vorm van vezelrijk organisch materiaal zoals compost en teeltaarden.
- Recyclen van diermeel en voedingsresten in diervoeding of bodembemesting. Wetgeving maakt dit momenteel niet goed mogelijk, maar er zijn veelbelovende nieuwe technieken die een veilig gebruik van deze grondstof als diervoeder mogelijk kunnen maken.
- Recyclen van nutriënten uit proceswater van de voedingsmiddelenindustrie of huishoudelijk afvalwater uit RWZIs (Rioolwaterzuiveringsinstallaties) als meststof voor planten of als additief in diervoeders.
- Uitsluitend nog exclusieve grondstoffen importeren als die in de agrarische kringloop op wereldschaal in balans zijn te brengen met exporten van (rest- en bij)producten en daaraan gekoppelde nutriënten.
- Landbouw lokaal extensiveren, dan wel ecologisch intensiveren, zodat de stoffenbalans binnen het bedrijf of bedrijvencollectief efficiënter gebruikt wordt en makkelijker te beheersen is. Dit kan wel gepaard gaan met reductie van inkomsten uit export en een verplaatsing van productie voor de wereldhandel naar landen waar de landbouwsystemen minder efficiënt kunnen zijn door grotere verliezen aan broeikasgasemissies en nutriënten-uitspoeling.

Voor de **veehouderij** impliceert kringlooplandbouw een omslag op twee aspecten:

- Een voerregiem dat hoofdzakelijk bestaat uit ruwvoerders van het land of geraffineerde voeders uit gewasresten die niet tot humaan voedsel op te werken zijn, met inzet van landbouwhuisdieren die op een dergelijk voerregiem zijn aangepast
- Een mestafvoer die uitgaat van efficiënt hergebruik door omzetting naar hoogwaardige bemestingsproducten.

Voor de **akkerbouw** liggen de belangrijkste kansen in tegengaan van verliezen door middel van precisielandbouw, hergebruik van reststromen in de vorm van compost en nieuwe teeltsystemen, bijvoorbeeld met tussengewassen die complementair zijn en zo de natuurlijke hulpbronnen beter gebruiken.

4. Betekenis van circulaire voedselproductie voor de klimaatopgave (pagina 10)

Een circulaire voedselproductie biedt extra kansen voor mitigatie van broeikasgas emissies door:

- Een efficiëntere benutting van akkerbouwgrond voor productie van (dubbeldoel)gewassen (primair voor humane voeding, reststromen voor diervoeders) en daarmee vermindering van aan agrarisch grondgebruik gerelateerde emissies en van importen van grondstoffen voor diervoer
- Een efficiëntere benutting van weidegronden voor ruwvoederproductie
- Een emissiearme productie van emissiearme organische meststoffen uit compost of dagverse mest, die in de landbouw kan worden aangewend ter vervanging van drijfmest, digestaat, kunstmest en veenaarde. Hiermee wordt ook meer koolstof in de bodem gebracht.

Er is nog weinig informatie over het mitigatiepotentieel van deze maatregelen, maar dit kan volgens een eerste schatting oplopen tot een uitsparing van 6 Mton CO₂-eq per jaar in de Nederlandse landbouw, waarbij aanwending van dierlijke mest in de vorm van ruige of gecomposteerde mest in plaats van drijfmest een belangrijke winst geeft. Niet alle winst van de circulaire voedselproductie zal worden toegerekend aan de Nederlandse landbouw zelf. Zo draagt verlaging van de import van veevoer niet bij aan de Nederlandse reductiedoelstelling, maar heeft wereldwijd wel een significante bijdrage. Datzelfde geldt voor: productie van een alternatief voor veenaarde door milde compostering van dierlijke mest, verbeterde toepassing van lokaal beschikbare dierlijke mest als alternatief voor kunstmest en betere benutting van voedselresten in diervoer.

5. Betekenis van circulaire voedselproductie voor de natuuropgave (pagina 11)

Kringlooplandbouw kan bijdragen aan natuurdoelen en biodiversiteit, met name door een grotere agrobiodiversiteit op en nabij landbouwpercelen.

- De basis van kringlooplandbouw is het beperken van verliezen en het hergebruik van reststromen, waardoor de bodemkwaliteit verbetert, onder meer door minder bodembewerking en uitgekende toepassing van organische mest. Hierdoor draagt kringlooplandbouw bij aan een vruchtbare, biodiverse bodem waar landbouw en natuur baat bij hebben.
- Kringlooplandbouw zet in op het zo veel mogelijk sluiten van nutriëntenkringlopen, waardoor de verliezen naar de omgeving worden geminimaliseerd.
- Kringlooplandbouw zet in op zoveel mogelijk gebruik van lokaal en regionaal geproduceerde voedergrassen als bijproduct van akkerbouw. Dit kan bijdragen aan grotere diversiteit aan flora en fauna, maar ook aan een grotere landschappelijke diversiteit.
- Kringlooplandbouw streeft naar een minimale inzet van gewasbeschermingsmiddelen. Het vergroten van het areaal bloeiende planten kan ook bestuivers van fruit, zoals wilde bijen, ondersteunen.
- Met kringlooplandbouw vermindert de afhankelijkheid van internationaal geïmporteerd veevoer. Daarmee draagt kringlooplandbouw bij aan het verminderen van de druk op natuur en biodiversiteit elders in de wereld.





Samenvatting (3)

6. Het handelingsperspectief (pagina 13)

De transitie naar een kringlooplandbouw betekent een fundamentele omslag van de Nederlandse landbouw. Belangrijk is dat de verantwoordelijkheid voor de transitie niet uitsluitend bij de boeren wordt gelegd. Deze omslag vereist een inzet van alle actoren in de landbouw onder gezaghebbende regie.

Om te beginnen is een gedeelde visie op de landbouw van de toekomst nodig die gedragen wordt door alle betrokkenen, net als bij "de doctrine van Mansholt" in de vorige eeuw. Het principe van een circulaire voedselproductie is een wezenlijke keuze voor een toekomstig gangbaar landbouwsysteem, waarbinnen mogelijkheden bestaan voor diverse landbouwpraktijken die zijn toegespitst op specifieke situaties en typen van ondernemerschap, waarin vernieuwende verdienmodellen met een divers palet aan business partners mogelijk zijn.

Ten tweede is het nodig dat de visie daadkrachtig en snel van concept naar praktijk wordt gebracht, om zo de kloof tussen denken en doen (*think-do gap*) te overbruggen.

Daarbij kan gedacht worden aan de volgende vier stappen:

1. Visie: het ontwerpen en adopteren van een gedeelde visie, middels een breed akkoord.
2. Erkennen van barrières vanuit het perspectief van de diverse actoren: wat zijn de barrières die het concretiseren van de visie in de weg staan?
3. Vorming en ondersteuning van coalities van gemotiveerde koplopers die als "quick wins" de transitie aanjagen en versnellen.
4. Bruggen slaan van visie naar praktijk, waarbij de overwinning van barrières de inspiratie vormt voor verbreding en daarmee de realisatie van de transitie (leren van doen)

Om deze omslag te faciliteren is het nodig dat:

1. Wet- en regelgeving wordt toegesneden op circulariteit
2. Passende financiële incentives en nieuwe verdienmodellen worden ontwikkeld waarin maatschappelijke verdienstelijkheid een waarde krijgt.
3. Er wordt geïnvesteerd in het ontwikkelen en verbreden van kennis en het opdoen van praktijkervaring met circulaire voedselproductie.
4. Er volop ruimte en steun wordt geboden aan leerzame initiatieven.
5. Er een landelijk portaal voor kringlooplandbouw komt.



Achtergrond

De Nederlandse landbouw staat voor een belangrijk keerpunt, vanwege maatschappelijke zorgen en economische perspectieven. Daarbij speelt de landbouw ook een sleutelrol in de transitie naar een circulaire "biobased" samenleving en in de realisatie van de duurzaamheidsdoelen van de Verenigde Naties (uitwerking van UN Sustainable Development Goals) op gebied van klimaat en biodiversiteit. De Nederlandse landbouw is innovatief en kan zich ontwikkelen tot een landbouw die aansluit bij wat de samenleving vraagt binnen de grenzen die de aarde stelt.

Vanuit Wageningen University & Research (WUR) wordt gewezen op de mogelijkheden die een kringlooplandbouw biedt voor een toekomstbestendige circulaire landbouweconomie die passend is binnen Nederland. Daarbij wordt er ook gewezen op de bijdragen die een vernieuwing naar een circulair landbouwsysteem kan leveren in kader van (inter)nationale klimaat- en biodiversiteitsdoelen.

Maar hoe zit dat dan precies?

Hoe kan een circulaire voedselproductie gebaseerd op kringlooplandbouw hierin voorzien?

De Tweede Kamer vaste commissie Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) heeft aan WUR gevraagd om een technische briefing te verzorgen om de politieke discussies rond landbouw, klimaat en biodiversiteit in samenhang te ondersteunen. Deze notitie biedt achtergrondinformatie die de basis vormt voor deze technische briefing.

De volgende deelvragen komen aan de orde:

- Wat zijn de kenmerken van een kringlooplandbouw in een circulair voedselsysteem?
- Wat is de rol en betekenis van bodembeheer in een kringlooplandbouw?
- Wat zijn de opties om de Nederlandse voedselproductie verdergaand circulair in te richten?
- Welke betekenis heeft een circulaire voedselproductie voor de klimaatopgave?
- Welke betekenis heeft een circulaire voedselproductie voor de natuuropgave?





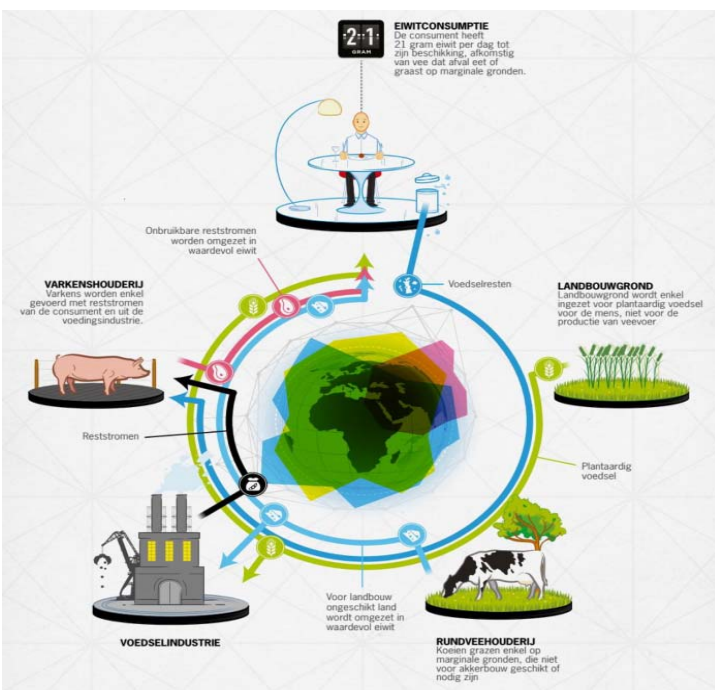
1. Wat zijn de kenmerken van een kringlooplandbouw in een circulair voedselsysteem?

Kringloop landbouw

Binnen een kringlooplandbouw wordt gestreefd naar minimale verliezen van grondstoffen bij de productie van biomassa door de kringloop van stoffen en geproduceerde biomassa binnen het landbouwsysteem zo veel als mogelijk te sluiten. Onvermijdelijke verliezen (oogst, reststromen) moeten worden gecompenseerd met een aanvoer van stoffen in balans met deze verliezen. Dit geldt ook voor verliezen door uitspoeling en vervluchtiging. De inperking van verliezen kan worden gerealiseerd door efficiënter te telen en reststromen (gewasresten, voedselresten, procesafval, feces, urine, mest, compost) te benutten en op te waarden tot nuttige grondstoffen in het landbouwsysteem, zodat de invoer van buiten het landbouwsysteem zo klein mogelijk is.

Kringlooplandbouw is een integraal onderdeel van een circulair voedselsysteem, binnen een "biobased" samenleving. Een circulaire voedselproductie kenmerkt zich door zo veel mogelijk de reststromen van landbouw gerelateerde biomassa tot nieuwe waarde te brengen en zo te komen tot een ecologisch efficiënte productie en benutting van landbouwgerelateerde biomassa - of meer specifiek koolhydraten en eiwitten (Van Zanten et al. 2018).

Een ecologisch efficiënte benutting van grondstoffen en biomassa is een kenmerk van natuurlijke ecosystemen, wat vertaald kan worden naar landbouwecosystemen. Het is niet hetzelfde als de economisch efficiënte productie van specifieke landbouwproducten (op basis van lineaire mest- en voerconversie), waar benutting van reststromen een bijzaak is. Een economische efficiënte voedselproductie staat echter niet per sé haaks op een ecologische efficiënte kringlooplandbouw.



Figuur: Wageningen World 2017-2



Figuur: Beeld uit video van Martin Scholten over kringlooplandbouw <https://youtu.be/ZCMfOPagD30>

Randvoorwaarden

Randvoorwaarden voor een circulair voedselsysteem gericht op duurzaam beheer van natuurlijk kapitaal als basis voor gezonde voedselproductie zijn volgens het Planbureau van de Leefomgeving (Rood et al., 2016):

- Optimaal gebruik en beheer van landbouw grond, grondstoffen en hulpstoffen;
- Verminderen en voorkomen van verspilling van agrarische geproduceerde biomassa;
- Optimaal gebruik van reststromen die vrijkomen in het agrofood systeem.

Dit omvat een diversiteit aan mogelijkheden voor optimalisatie van agrarisch landgebruik met geïntegreerde vormen van tuinbouw, akkerbouw en veehouderij. Dit geeft ook richting aan:

- optimale benutting van hernieuwbare natuurlijke grondstoffen (mineralen, water, biomassa);
- verwaarding van reststromen (gewasresten, dierlijke mest);
- inperking van niet natuurlijke grondstoffen (waaronder kunstmest) en hulpstoffen (gewasbeschermingsmiddelen);
- reducties van milieubelastende emissies.

Belangrijk strategisch gevolg van een gesloten kringloop is een verminderde afhankelijkheid van importen van essentiële (fossiele) grondstoffen en biomassa.

Uiteraard is er binnen een "circulaire en biobased society" ook koppeling aan andere economische actoren mogelijk voor de benutting van agrarische reststromen, proceswater, consumptieafval en huishoudelijk afvalwater (van Kernebeek et al, 2018). Middels de juiste cascadering van biomassa kan de productie worden ingezet waar het de meeste toegevoegde waarde geeft. Een cascadering vanuit economie staat niet altijd gelijk aan die vanuit ecologie, waar kringlooplandbouw zich op richt. In deze notitie richten we ons tot de circulariteit binnen de landbouw en het daaraan verbonden voedselsysteem. De biobased sectoren gericht op biomassa voor fijnchemie, materialen en energie zijn buiten beschouwing gelaten.





Systeembenadering

Circulariteit vergt dus meer een systeembenadering dan een ketenbenadering en daarmee ook geavanceerdere, beter doordachte en veelzijdigere optimalisaties. Wat efficiënt is vanuit het ketenperspectief gaat vaak ten koste van efficiëntie vanuit het integrale systeem bezien. En wat efficiënt is op systeemniveau wordt vaak niet gezien vanwege inefficiënties op individuele ketenniveaus (van Zanten et al. 2018). Een belangrijke leidraad is niet méér land en grondstof gebruiken dan strikt noodzakelijk is om goed en gezond voedsel te produceren door;

- op akkers primair voedingsgewassen te produceren;
- graslanden daar te realiseren waar geen akkerbouw mogelijk of landschappelijk gewenst is;
- vee primair te voeren met gewasresten en voedingsresten;
- landbouwgrond primair te verrijken met hoogwaardige organische bemestingsproducten geproduceerd van gewasresten en dierlijke (en humane) mest.

Schaal

In dit verband is het belangrijk te realiseren dat een systeembenadering ook denken op verschillende ruimte- en tijdschalen vereist. De kringloop sluiten op lokaal niveau is een belangrijke basis, vanuit een perspectief van transparante beheersing van stofbalansen en van sociale betrokkenheid bij de lokale landbouw. Vanuit agro-ecologische of socio-economisch perspectieven is een kringloop sluiting op lokaal niveau niet altijd optimaal of mogelijk, en moet er daarom gezocht worden naar een sluiting op een hogere schaal (regionaal/nationaal/continentaal/mondiaal). Conijn et al. (2018) geven inzicht in de samenhang van het mondiale voedselsysteem en de "planetary boundaries", zoals landgebruik, broeikasgasuitstoot en nutriëntenverliezen. Kortom: lokaal wat mogelijk is, verder weg wat beter of nodig is. Onvermijdelijke verliezen moeten zo veel mogelijk gecompenseerd worden met grondstoffen vanuit reststromen van de productie en de consumptie. Hoe dichterbij, hoe beter te organiseren en controleren. Hoe verder weg, hoe beter het moet worden doordacht en op integriteit geborgd. Het streven naar circulariteit op de schaal van het boerenbedrijf of de lokale regio hoeft niet te betekenen dat klimaat en biodiversiteitsdoelen op (inter-)nationale schaal er niet toe doen. Bij het telen in de richting van ecologische efficiëntie, kunnen kringlopen op het bedrijf makkelijker gesloten worden. Het lokale productievolume wordt daarmee wel beperkt en past dan beter bij een regionale en nationale afzet van landbouwproducten. Om de productie vanuit een internationale marktbehoefte te behouden, moet dan wel meer land elders in de wereld in gebruik worden genomen, waarop dan op minstens dezelfde efficiënte manier voedsel geproduceerd moet worden om netto geen negatief klimaat- en/of biodiversiteitseffect op internationale schaal teweeg te brengen. In andere landen is soms makkelijker (goedkoper) klimaat- of natuurwinst te realiseren voor het wereldwijde systeem.

Heterogeniteit, diversiteit en veelzijdigheid binnen het landbouwsysteem bieden de beste mogelijkheden voor circulaire integratie van biomassastromen en sluiten van kringlopen van stoffen. Dit komt de ecologische efficiëntie ten goede, maar moet wel in een goede balans staan tot mogelijke limitering op het hoofdgewas, en afwentelingen verderop in het systeem.

Ecologische efficiëntie

Ecologische efficiëntie is niet synoniem aan extensieve productie, ook hoogproductieve systemen presteren beter als ecologische efficiëntie als leidraad geldt. Dat staat bekend als ecologisch intensiveren, wat bijvoorbeeld toegepast wordt in gras- en akkerlandbeheer met een grotere diversiteit aan grassen met kruiden of gemengde gewassen en grotere heterogeniteit aan micro-omstandigheden.



Kennis en kunde

Een slim doordachte invulling van kringlooplandbouw binnen een scala aan mogelijkheden om circulariteit te realiseren door ongebruikelijke koppelingen tussen deelsectoren, gebruik makend van moderne technologie vereist kennis, creativiteit en ondernemerschap. Het gaat om een brede beweging voor de hele sector, het hele systeem, alle ketens en alle betrokkenen. Kringlooplandbouw moet dan ook niet worden gezien als een markt, maar als een perspectief voor de gehele gangbare landbouw. Met een veelzijdigheid aan mogelijkheden om dat in de praktijk te brengen met diverse landbouwvormen voor diverse markten met daarbij passende business partners. Het traditionele landbouwbeleid, landbouwonderzoek en – onderwijs is hier nog niet volledig op ingericht. Binnen de ruimte van het Europees landbouwbeleid, en de nationale kaders voor kennisontwikkeling vraagt een circulaire voedselproductie om additionele middelen voor innovatie, (bij)scholing en kennisontwikkeling van en voor "first movers". Nederland wordt internationaal gezien als gidsland, wat veel mogelijkheden biedt voor innovatieve ondernemers.





2. Wat is de rol en betekenis van bodembeheer in een kringloop landbouw?

Bodem is de basis

Binnen de kringlooplandbouw speelt de bodem een cruciale rol en wordt een goede bodemkwaliteit centraal gesteld. Een goede bodemkwaliteit kan bijdragen aan een hogere opbrengst, dient als buffer voor extreme weersomstandigheden én beperkt de verliezen van stikstof naar de lucht en grond- en oppervlakte water. In de ontwikkeling van de kringlooplandbouw in Nederland lag de focus vooral op het mestbeleid en het beter sluiten van de stikstof- en fosforkringloop op het bedrijf. Dit was ook de basis voor de ontwikkeling van instrumenten zoals de KringLoopWijzer (Aarts *et al.*, 2015).

Door de efficiëntie van het stikstof- en fosfaatgebruik te verhogen, kan met dezelfde of minder input een hogere gewasopbrengst worden bereikt en kunnen verliezen aan nutriënten worden beperkt. Door een lager stikstof- en fosfaatoverschot in de bodem kan de uit- en afspoeling naar grond- en oppervlaktewater en kunnen stikstofemissies naar de lucht (ammoniak, lachgas) worden verminderd. Een levenscyclus-analyse van De Vries *et al.* (2015) geeft aan dat bedrijven die kringlooplandbouw toepassen beter kunnen scoren op milieu-indicatoren als stikstofverliezen en 'non-renewable energy use', vergeleken met traditionele melkveebedrijven. De stikstofverliezen op deze bedrijven waren gemiddeld 5-10% lager. Ook in de akkerbouw liggen kansen, door het gebruik van mengteelten, vanggewassen, efficiëntere bemesting, bijv. door precisielandbouw, stikstofbindende gewassen en voorkomen van verdichting van de bodem.

Organische stof

Met het klimaatbeleid en meer aandacht voor de bodem, is naast stikstof en fosfor nu ook de koolstof (C) als component van de kringloop weer belangrijker geworden. Het verhogen van de koolstofaanvoer leidt tot meer organische stof in bodem tot er een nieuw evenwicht ontstaat. Het gehalte aan organische stof in de bodem is een indicator voor bodemkwaliteit. Boeren zetten organische stof in de top drie van factoren die de productiviteit van de bodem bepalen (en die zij kunnen beïnvloeden), samen met bodemstructuur, de pH, bewortelbare diepte, en fosfaattoestand.

Organische stof beïnvloedt het bodemleven, het water- en nutriëntenleverend vermogen van de bodem, de structuur en de bewerkbaarheid van de bodem en de stikstofverliezen door denitrificatie en uitspoeling. Indirect heeft organische stof zo invloed op de productiviteit van de bodem, alhoewel een directe relatie met gewasopbrengst vaak niet aantoonbaar is (Hijbeek, 2017). Het vervangen van kunstmest door organische mest leidt niet per definitie tot minder verliezen van nutriënten naar water (en voor stikstof ook naar lucht). Dit is ook sterk afhankelijk van de samenstelling en kwaliteit van de organische stof (o.a. vezelstructuur) en de wijze van toedienen. De mineralisatie van organische mest is lastiger te synchroniseren met de gewasbehoefte en kan dus tot extra verliezen van niet door gewas opgenomen mineralen komen. De kennis van de waarde van organische bemestingsproducten en hoe deze best toegediend kunnen worden, is nog onvoldoende om daarop precisiemesting te baseren, maar wel in ontwikkeling.

Organische Stof

Organische stof in mest bestaat vooral uit cellulose, en verder lignocellulose (vooral vormen van hemicellulose en lignine), resten eiwitten, aminozuren, peptiden, fenolen en suikers. Het is opgebouwd uit koolstof (C), zuurstof (O), waterstof (H), stikstof (N), fosfor (P) en zwavel (S).

De kwaliteit van de organische stof in mest voor de bodem (kwaliteit) wordt bepaald door de afbreekbaarheid van de organische stof (en de hoeveelheden N, P, en S die daarbij vrij komen voor opname door planten). Zowel gemakkelijk als langzaam afbreekbare verbindingen zijn belangrijk. De gemakkelijk afbreekbare organische stof voedt het bodemleven, levert N, P en S, en draagt bij aan structuurvorming. De langzaam afbreekbare organische stof (ook wel effectieve organische stof genoemd) draagt bij aan de instandhouding en verhoging van het organische stofgehalte van de bodem. Afhankelijk van bodemtype kan er meer of minder behoefte zijn aan gemakkelijk of langzaam afbreekbare organische stof.

Gewasresten zijn nu de belangrijkste bron van organische stof in de bodem. In grasland komt 65 procent van de organische stof aanvoer uit het grasland zelf: gewasresten, wortelresten en wortelsappen, de zogenoemde wortellexudaten. Het behouden van permanent grasland is dan ook één van de beste bodembeheermaatregelen. Het laten rouleren van gras in akkerrotaties is ook een goede manier om de bodemvruchtbaarheid te verbeteren.

In landen met een grote veestapel is ook dierlijke mest een belangrijke bron van organische stof. De samenstelling van de organische stof in mest wordt bepaald door de veevoersamenstelling, de diersoort, vermenging met veevoerresten en strooisel, en de duur en conditie van de mestopslag. Vaste mest bevat meer en kwalitatief betere organische stof vergeleken met drijfmest en zal daardoor meer bijdragen aan het verhogen van het organische stofgehalte in de bodem. Scheiding van (verse) dierlijke mest in een dunne en dikke fractie is daarbij belangrijk. Nieuwe vormen van mestverwerking, waarbij dierlijke mest eerder en beter wordt gescheiden in een stikstofrijke, fosfaatrijke en organische-stofrijke fracties bieden kansen om de dierlijke mest efficiënter toe te passen en verliezen te verminderen. Hiermee kan ook het risico op lachgasemissies worden verlaagd, aangezien gelijktijdige toediening van stikstof met makkelijk afbreekbare koolstof potentieel leidt tot hoge lachgasemissies.

Een circulaire landbouw kan bijdragen aan het verhogen van het organische stofgehalte van de bodem

- via de bijdrage van meer of betere organische mest (dierlijke mest of compost) in plaats van kunstmest;
- een minder intensief bouwplan;
- het verminderen van groundbewerking.

Het verhogen van het organische stofgehalte in de bodem kan niet onbeperkt en heeft een tijdelijk positief klimaateffect.

In een circulaire landbouw past ook het gebruik van stikstofbindende gewassen goed, zoals klaver in grasland en verschillende eiwitgewassen in de akkerbouw. Hiermee kan bespaard worden op minerale kunstmest, wat bijdraagt aan het streven om de regionale kringloop te sluiten.





3. Wat zijn de opties om de Nederlandse landbouw verdergaand circulair in te richten?

De opties

Een belangrijk aspect in de kringlooplandbouw is een goede afstemming van grondgebonden landbouwgebruik, zoals teelt van voedings- en voedergewassen en beweiding van vee. En daarnaast de koppeling van grondgebonden en niet grondgebonden landbouw segmenten (in bijzonder intensieve veehouderij in gesloten stalsystemen en glastuinbouw).

De concrete opties voor een verdergaande invulling van circulaire landbouw zijn:

1. Optimale benutting van landbouwgrond voor productie van voedsel voor mensen (primair denkend vanuit efficiënt landgebruik voor het voeden van de mens), met gemengde en wisselende teelten die bestaan uit een diversiteit aan (dubbeldoel)gewassen (hoogwaardige biomassa voor humane voedselproducten staat daarin centraal; waarbij reststromen worden benut voor diervoer), gekoppeld aan slim bodembeheer gericht op natuurlijke processen en ruimte biedend voor agrarische biodiversiteit.
2. Optimale benutting van (kruidenrijke) graslanden op grond die niet geschikt is voor akker- of tuinbouw met slimme begrazing, bemesting en grondbeheer aansluitend op natuurlijke processen en ruimte biedend aan agrarische biodiversiteit;
3. Productie van diervoer uit agrarische biomassa die niet direct voor humane consumptie geschikt is, en van reststromen uit voedingsmiddelen productie en consumptie; teneinde verspilling van agrarische biomassa zo veel mogelijk te reduceren. Geavanceerde technieken maken het mogelijk laagwaardige biomassa om te zetten in hoogwaardig diervoer (zoals afbraak van lignine door schimmels, of conversie door gekweekte insecten). Dit impliceert ook een begrenzing van de omvang van de veehouderij naar beschikbaarheid van deze grondstoffen voor diervoeders;
4. Optimale benutting van dierlijke mest voor hoogwaardige bemesting van landbouwgrond; met name in een vorm van kwalitatief goed vezelrijk organisch materiaal als composten en teeltaarden.
5. Recyclen van thermisch verwerkt diermeel en voedingsresten in diervoeding of bodembemesting. Wetgeving maakt het momenteel moeilijk om diermeel te recyclen binnen de voedselproductie, maar er zijn betrouwbare technieken in ontwikkeling die vast kunnen stellen van welke diersoort het diermeel afkomstig is om kannibalisme te voorkomen en zo een veilig gebruik van deze grondstof als diervoeder voor kippen en varkens mogelijk kunnen maken.
6. Recyclen van nutriënten uit proceswater van de voedingsmiddelenindustrie of huishoudelijk afvalwater uit RWZI's (Rioolwater zuiveringsinstallaties) als meststof voor planten of als additief in veevoer.
7. Uitsluitend nog grondstoffen importeren als die in de agrarische kringloop op wereldschaal in balans zijn te brengen met exporten van (rest- en bij)producten en daaraan gekoppelde nutriënten.
8. Landbouw lokaal extensiveren dan wel ecologisch intensiveren, zodat de stoffenbalans binnen het bedrijf of bedrijvenscollectief efficiënter gebruikt wordt en makkelijker te beheersen is, al gaat dit wel gepaard met reductie van inkomsten uit exporthandel



Deze opties moeten deels worden (her)uitgevonden in de praktijk, met inspirerende showcases waar kennis wordt opgebouwd en gedeeld in een 'leren door doen' setting. Daarvoor is voldoende experimenteerruimte nodig, die de kringlooplandbouwers gegund moet worden. Het betreft met name een precisielandbouw gericht op betere benutting van natuurlijke processen en rekening houdend met belang van heterogeniteit. Dat maatwerk kan worden ondersteund met een data-gedreven fijnmazige technologie gebaseerd op biotechnologie, sensorica en robotica.

De transitie kan alleen slagen als er nieuwe coalities tussen boeren en agribusiness partners ontstaan, met nieuwe verdienmodellen rond concepten als "voedsel met een verhaal", "streekgebonden producten" en "korte ketens". Voor het hele agglomerat moeten er nieuwe verdienmodellen komen, die ondernemers helpen om over te schakelen naar meer circulaire systemen. De verantwoordelijkheid hiervoor ligt op systeemniveau, niet alleen bij de boeren.

Daar waar kringlooplandbouw leidt tot een (lokale) reductie van de landbouwproductie moet rekening worden gehouden met reductie van inkomsten uit export en een verplaatsing van productie voor de wereldhandel naar andere landen waar de landbouwsystemen een grotere broeikasgasintensiteit kennen. Als daarvoor elders ook nieuw landbouwgrond in gebruik wordt genomen geeft dat daar een toename van de druk op de lokale en daarmee mondiale biodiversiteit.

Het delen van Nederlandse kennis en kunde over duurzame, circulaire landbouw met opkomende landbouw economieën is dan ook essentieel en kan bovendien exportwaarde hebben.

Tenslotte zit ketengerichte wet- en regelgeving de agrarische circulariteit in de weg. Herbenutting van voedselafval, diermeel en humane excreten is door wetgeving beperkt in verband met risico's voor de voedselveiligheid. Het ontwikkelen van methodieken om deze risico's weg te nemen is een belangrijke voorwaarde voor het kunnen recyclen van essentiële elementen uit deze stromen.





Veehouderij

Voor de veehouderij impliceert een kringlooplandbouw een sterke focus op twee aspecten:

- Een voerregime dat hoofdzakelijk bestaat uit ruwvoerders van het land (gras/kruidenten fourage; gewasresten), geraffineerde voeders uit gewasresten die niet tot humaan voedsel op te werken zijn (zoals bietenblad, maïsstrooisel, stro) of voeders van resten uit de voedingsmiddelenindustrie, retail, horeca en van consumenten thuis. Hiervoor is ook aandacht nodig voor de selectie van landbouwhuisdierrassen die op zo'n fourage-regime zijn aangepast. Het genetisch potentieel van "oude rassen" kan hiervoor van grote waarde zijn.
- Een mestafvoer die uitgaat van efficiënt hergebruik binnen het voedselsysteem door omzetting naar hoogwaardige mestproducten. Dat begint al bij een zorgvuldige scheiding van mest aan de bron (feces, urine) en een geraffineerde, milde opwerking tot composten en teeltaarde, dan wel productie van organische bemestingspellets. Als gekozen wordt voor vergisting is het van belang dat het digestaat van zodanig kwaliteit is dat het voor precisiebemesting bruikbaar is.

In een kringloopsysteem zal de veehouderij ook zo veel mogelijk voer gebruiken dat afkomstig is van bodems die ongeschikt zijn voor akkerbouw en zal er maximale toepassing van co-producten uit de levensmiddelenindustrie in diervoerproductie zijn. Concurrentie tussen veevoederteelten en plantaardige productie voor menselijke consumptie wordt vermeden. Dierlijke en plantaardige productie zijn geïntegreerd, waarbij de dierlijke productie is afgestemd op wat er aan "kringloop" voeders beschikbaar is.

Veehouderij wordt geregeld getypeerd als een inefficiënt proces waarin de omzetting van door dieren opgenomen voedsel in eindproducten (eieren, vlees, zuivel) gepaard gaat met wezenlijke verliezen. Vanuit een optiek van ketenefficiëntie is dat ook zo: ruwweg tussen 5% (rundvlees) tot 50% (pluimveevlees) van de voerinput wordt omgezet in dierlijk product (Flachowsky et al. 2017). Vanuit de optiek van het integrale voedselproductie systeem ligt dat genuanceerder. Vee kan in de rol van sluiten van kringlopen, gericht op optimalisatie van gezonde voedselproductie per eenheid grondstof of land, een wezenlijke bijdrage leveren aan een meer duurzaam voedselproductiesysteem, zie nevenstaande figuur.

Optimale omvang dierlijke eiwitproductie

Hoe beter de kringlooplandbouw is ingericht, hoe hoger de optimale balans dierlijke/plantaardige eiwitproductie ligt. In het huidige landbouwsysteem met beperkte kringlooppraktijk is het ecologisch optimum van eiwitproductie naar verwachting ca. 25/75. In een goed en doordacht georganiseerde kringlooplandbouw met vrijwel volledige verwaarding van landbouwbiomassa door vee die anders onbenut blijft, zal dat ca. 45/55 kunnen zijn. Momenteel is de verhouding in de Nederlandse eiwitproductie 70:30 dankzij importen van diervoedergrondstoffen en een markt die wordt gekenmerkt door overmatige consumptie van dierlijke eiwit (in Nederland is de gemiddelde dagelijkse consumptie van dierlijk en plantaardig eiwit 74 resp 35 gram, ofwel totaal 109 gram eiwit waar de behoefte van een mens op 60 gram ligt).

Grondstoffen in veevoer

Niet alle grond is geschikt om voedselgewassen op te verbouwen; daarentegen groeit gras vrijwel overal. Herkauwers (zoals koeien) zijn in staat om gras en andere vezelrijke grondstoffen om te zetten in hoogwaardig voedsel geschikt voor consumptie door mensen. Naast het vezelrijke ruwvoer (voor overgrote deel van Nederlandse bodem) consumeert vee diervoer van de diervoederindustrie. Ruim de helft van dit diervoer bestaat uit co-producten uit voornamelijk de levensmiddelenindustrie (Nevedt 2017). Deze co-producten zijn niet of minder geschikt voor humane consumptie. Voorbeelden zijn bierbostel dat overblijft bij het bierbrouwproces en cacaodoppen bij de productie van chocola en aardappelpersvezels. Wanneer in de efficiency van omzetting van voer in dierlijk eindproduct rekening wordt gehouden met de geschiktheid ervan voor humane consumptie, wordt de rol van vee duidelijker. Bijvoorbeeld, een Nederlandse koe produceert 3,5 maal zoveel eiwit in melk geschikt voor menselijke consumptie, dan ze zelf aan eiwit eet wat mensen ook hadden kunnen eten (Dijkstra et al., 2013). Kortom, als varkens, koeien en kippen producten gevoerd worden die mensen niet kunnen of willen eten (gras, bijproducten, insecten), dan worden deze stromen omgezet in hoogwaardige eiwitrijke producten en levert vee een netto bijdrage aan duurzame voedselvoorziening (Van Zanten, 2016).

Veehouderij in een circulair voedselsysteem zorgt tot op zekere hoogte voor een kleinere behoefte aan land (van Kernebeek et al. 2015) en fosfaat (van Kernebeek et al., 2018). De veestapel in een circulair voedselsysteem is beperkt, want afgestemd op de beschikbaarheid van diervoeders uit bijproducten, reststromen en gras van marginaal land (Van Zanten et al., 2018)



Figuur. Een illustratie van de relatie tussen de verhouding dierlijke en plantaardige eiwitproductie (x-as) en de productie van gezond eiwitrijk voedsel in het huidige landbouwsysteem van lineaire, gescheiden productieketens en in een circulaire voedselproductie van geïntegreerde productieketens.





Tuinbouw

Het telen van gewassen in kassen of "vertical farms" is een manier om heel hoge opbrengsten te bereiken per oppervlakte eenheid. Kassystemen kenmerken zich door zeer gecontroleerde klimaatsturing en efficiënt gebruik (recirculatie) van nutriënten en water. Bovendien wordt in veel kassen extra CO₂ bemesting toegepast, waarmee CO₂ uitstoot van bijv. de industrie een grondstof wordt voor de glastuinbouw. De glastuinbouw innoveert sterk en het gebruik van LED verlichting, speciale glasdektechnologie, en gebruik van surplus aan warmte zal het energieverbruik van kassen kantelen naar energieproducerende kassen. Hiermee kan de glastuinbouw een rol spelen in het ontwerpen van nieuwe teeltsystemen binnen de kringlooplandbouw.



Akkerbouw

Als het gaat om het beperken van verliezen, liggen er voor de akkerbouw grote kansen bij het gebruik van vanggewassen en mengteelten (permacultures, ook "agroforestry") en de toepassing van precisielandbouw waarin de variatie in gewassen en bodemomstandigheden letterlijk en figuurlijk in kaart wordt gebracht. Dit zorgt voor een nauwkeuriger inschatting van gewasbehoeftes op sub-perceelniveau en in de tijd. Dit is niet per sé een aspect van een circulaire landbouw, maar geldt voor alle vormen van landbouw. Het biedt wel de mogelijkheid om de waargenomen variatie door middel van precisietechnologieën voor irrigatie en bemesting te verkleinen door beperkingen op te heffen, of reducerende factoren weg te nemen (door fyto-sanitaire interventies), als dat economisch rendabel is.

Voor het sluiten en het verkleinen van kringlopen zou dan compost van dierlijke mest, gewasresten en voedingsresten (GFT) ingezet kunnen worden als organische bemesting. Daarmee wordt de inputbehoefte aan kunstmest verkleind. Als de kwaliteit van de organische meststoffen echter niet goed is, kunnen verliezen naar bodem en lucht toenemen.

Naar het hergebruik van reststromen als vervanger van fosfaat in de Nederlandse landbouw is een korte (theoretische) studie gedaan. Gekeken is naar mogelijkheden om met hergebruik, aanvoer van elders te verminderen bij een landbouw die alleen voor Nederlandse burgers voedsel produceert (Conijn & Van Dijk, 2018). Onder de aanname dat er geen verlies van fosfaat en geen ophoping van fosfaat in de bodem plaatsvindt, kan de kringloop in sterke mate gesloten worden. Dit zal voor stikstof niet lukken (zie figuur hieronder). Indien fosfaatverlies en fosfaat-ophoping niet uitgesloten kunnen worden, dan zal de som van beide van elders aangevoerd moeten worden.

Plantenveredeling heeft zich de afgelopen decennia vooral gericht op het verbeteren van de opbrengsten door het ontwikkelen van hoogproductieve rassen in monoteelten. De kringlooplandbouw vraagt echter om een nieuwe benadering en het ontwikkelen van rassen met andere eigenschappen. Door de ontwikkeling van nieuwe technieken en de mogelijkheden om via DNA-sequentie-analyse meer te weten te komen over de genetische eigenschappen van uitgangsmateriaal zal het gericht inkruisen van gewenste eigenschappen sterk gaan versnellen. Met deze mogelijkheden van precisieveredeling kunnen rassen specifiek ontwikkeld worden om optimaal te functioneren in mengteelten. Ook kan bij de ontwikkeling van nieuwe rassen gekeken worden of plantresten na de oogst optimaal ingezet kunnen worden voor andere doeleinden dan voedsel (dubbeldoelgewassen, food/feed verdeling van planten). Er is ook behoefte aan gewassen die onder Nederlandse omstandigheden geteeld kunnen worden voor de productie van plantaardige eiwitten (bijv. soja).

Wet- en regelgeving

Voorwaarde voor een omschakeling naar een kringlooplandbouw is wel dat wet- en regelgeving 'circulair-vriendelijk' wordt. Per persoon ontstaan jaarlijks ca 100-120 kg voedselresten (schatting voor 2012-2020). Deze mogen momenteel niet in veevoer verwerkt worden uit biosanitaire overwegingen, met name uit angst voor dierziekten zoals mond- en klauwzeer. Na technologische (thermische) behandeling van etensresten kan dit veilig worden gebruikt voor bijv. varkensvoer. Dit zou de hoeveelheid grond die benodigd is voor voeding van varkens in EU met ruim 20% verminderen (zu Ermgassen et al., 2016).

Eiwit van insecten kan (na verwachte goedkeuring door de EU in 2019) een duurzame bron van eiwit zijn in vooral pluimveevoer (Veldkamp en Bosch 2015).

Na slachten van kippen, varkens, en herkauwers komt hoogwaardig dierlijk eiwit beschikbaar, dat momenteel niet in veevoer verwerkt kan worden (risico op ziekten als BSE), alhoewel technologische behandeling dit risico zo goed als uitsluit. Circa de helft van de 0,3 miljoen ton geschikt dierlijk eiwit in Nederland wordt verwerkt in voedsel voor honden en katten (Luske & Blonk, 2009). Katten en honden eten respectievelijk ongeveer 50 en 100 kg dierlijk product per jaar (Leenstra & Vellinga, 2011) wat in totaal een opname van dierlijk product betekent overeenkomstig met ruim 25% van de humane vleesconsumptie.

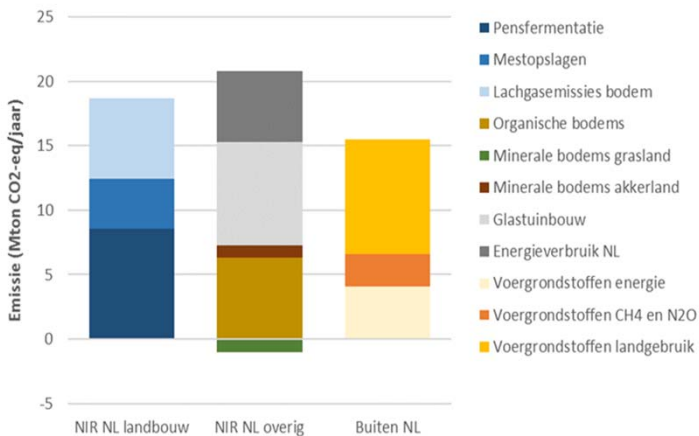




4. Welke betekenis heeft een circulaire voedselproductie voor de klimaat opgave?

Broeikasgas Emissies

De huidige emissies van de Nederlandse landbouw, zoals gerapporteerd in de sector landbouw in de emissieregistratie (National Inventory Report, NIR), bedragen 18,7 Mton CO₂-eq per jaar (zie onderstaand figuur). Het gaat hier om de methaanemissies uit pensfermentatie (vooral bij runderen) en mestopslagen en om de lachgasemissie uit de bodem door toediening van kunstmest, dierlijke mest en gewasresten. Een groot deel van de aan de landbouw gerelateerde emissies wordt echter in andere sectoren gerapporteerd (23 Mton CO₂-eq). Dan gaat het om energieverbruik door glastuinbouw, maar ook om productie van kunstmest en mengvoer en emissies uit veengronden (LULUCF sector). Daarnaast is er door de import van veevoer ook een grote emissie in het buitenland (15 Mton CO₂-eq). Deze wordt niet in de Nederlandse emissieregistratie meegenomen, maar wel in ketenrapportages, zoals de zuivelsector deze publiceert.



Figuur: huidige emissie gerelateerd aan de Nederlandse landbouw (Vellinga et al, in prep)

Er zijn twee richtingen voor mitigatie van broeikasgassen:

- Minder uitstoot van CO₂, CH₄ en N₂O naar de lucht
- Meer vastleggen van koolstof (C) in de bodem

In het regeerakkoord is afgesproken dat de landbouw ook een bijdrage moet leveren aan de klimaatreductiedoelstellingen. Indicatief is er nu een doelstelling voor een reductie van 1 Mton CO₂-eq voor methaan gerelateerd aan de veehouderij, en 1,5 Mton CO₂-eq voor slimmer landgebruik, o.a. tegengaan emissies uit veenweide en koolstofvastlegging in landbouwbodems. Een circulaire landbouw biedt kansen voor klimaatmitigatie en kan aan de klimaatdoelstelling bijdragen. De echte klimaatwinst zit echter niet zozeer in de emissiesector landbouw, maar vooral in aanpalende sectoren in Nederland en de productie van geïmporteerde grondstoffen in het buitenland.

Mitigatie

De klimaatmitigatie is in eerste instantie gericht op reductie van de emissies binnen de afzonderlijke deelsectoren van het landbouwsysteem:

- Reducties door uitgekiend rantsoen in veevoeding, meer robuuste en gezonde dieren, mestopslag en -verwerking (waaronder vergisting) en stalinrichting, en daarmee minder methaanemissies;
- Efficiëntere precisiebemesting met minder stikstofverliezen, en daarmee minder lachgasemissies;
- Slim landgebruik om koolstofvastlegging te optimaliseren in zowel akkerbouw als grondgebonden veehouderij (bijdrage is beperkt en tijdelijk).

Een circulair ingerichte landbouw kan deze mitigatiepotentie vergroten op de volgende punten:

- Een efficiëntere benutting van akkerbouwgrond met dubbeldoelgewassen (primair voor humane voeding, secundair voor diervoeders) en hergebruik van reststromen voor veevoerders, en daarmee uitsparing van aan agrarisch grondgebruik gerelateerde emissies en importen van grondstoffen voor diervoer
- Een efficiëntere benutting van weidegronden voor ruwvoederproductie
- Een productie van emissiearme organische meststoffen uit compost en dagverse mest, die in de akkerbouw wordt aangewend ter vervanging van drijfmest, digestaat, kunstmest en veenaarde. Tevens wordt hiermee meer koolstof in de bodem gebracht in een vorm die zich goed laat vastleggen.

De mogelijk te verwachten klimaatwinst hangt uiteraard af van de mate waarin circulariteit in het landbouwsysteem doorgevoerd wordt. Er is nog weinig informatie over het mitigatiepotentieel van de hiervoor genoemde circulaire maatregelen, maar dit kan volgens eerste inschatting oplopen tot 6 Mton CO₂-eq per jaar in Nederland.

- Ca. 4 Mton CO₂-eq gerelateerd aan productie en aanwending van drage mest (compost, korrels) uit verse mest die direct van urine is gescheiden in plaats van drijfmest.
- Ca. 1 Mton CO₂-eq door reductie van akkerbouw waarin productie van voedselgewassen is geïntegreerd met productie van grondstof voor diervoer (gewasblad) in plaats van aparte akkers met voederplanten.
- Ca 1 Mton CO₂-eq meer koolstofvastlegging in graslanden met een gecombineerde precisiebemesting en -begrazing.

Nauwkeuriger berekeningen, geïntegreerd door metingen, zijn nodig om deze verwachting te preciseren.

Niet aan landbouw toegerekende klimaatwinst

Niet alle winst van een circulaire landbouw wordt binnen de UNFCCC-systematiek toegerekend aan de Nederlandse landbouw zelf. Deze beperkt zich tot emissies binnen de nationale landbouwproductie en neemt ook niet die in de aanpalende agrobusiness mee.





Geïmporteerd veevoer heeft over het algemeen een grote footprint, vooral daar waar het leidt tot veranderingen in landgebruik. Reductie van deze import wordt echter niet toegerekend in de inventarisatie van de Nederlandse bijdrage aan de mondiale broeikasgasemissies, al levert het mondiaal dus wel een significante bijdrage.

Productie van een alternatief voor veevoeder, zoals mild gecomposteerde dierlijke mest, levert ook een mondiale bijdrage, doordat het de ontginning van veengebieden elders in de wereld kan helpen terugdringen.

De verbeterde toepassing van de lokaal beschikbare organische bemesting van goede kwaliteit kan leiden tot minder kunstmestgift. De productie van kunstmest kost veel energie en leidt tot hoge broeikasgasemissies, echter een vermindering van deze emissies worden meegerekend in de industrie en energiesector.

Betere benutting van voedselresten in diervoer leidt tot emissiereducties van voedselafval, die echter ook aan de industrie worden toegerekend.

Vergisting van dierlijke mest met biomassa-reststromen (voor zover die niet geschikt zijn voor dierlijke consumptie, zoals bermgras, GFT, natuurbeheersgroen) resulteert weliswaar in extra methaan, maar dat kan als biogas fossiele energie vervangen en zo bijdragen aan emissiereductie in de energiesector.

Kosten

De beschreven circulaire transitie is een keuze en geeft kosten. Voor zover dit vooral gevolgen heeft voor klimaat, kunnen deze kosten worden uitgedrukt per ton CO₂-reductie, zoals Koelemijer et al (2017) en Daniëls et al (2016) doen voor meer klimaatmaatregelen binnen de traditionele landbouw. Zo heeft monovergisting van mest in hun schatting een kostprijs van €204 per ton CO₂-eq en heeft broeikasgasverlaging door precisiebemesting een kostprijs van € 95 per ton CO₂-eq. De hiervoor beschreven opties voor broeikasgasreductie door circulaire landbouw zijn nog niet doorgerekend, en als ze berekend worden, zullen ze met nog meer onzekerheden omgeven zijn dan de meer traditionele opties. Daartegenover staat dat het inzichtelijk maken van verborgen maatschappelijke kosten middels True Pricing-methoden een rol kan spelen in de ketenwaardering van circulaire landbouwproducten. Maar dan dient de markt (en/of overheid) de extra inspanning om maatschappelijk kosten uit te sparen ook wel te verdisconteren. Als dat niet gebeurt en (internationale) concurrerende "niet circulaire" producten blijvend verkrijgbaar zijn, zal dit een succesvolle transitie in de weg staan.

5. Welke betekenis heeft een circulaire voedselproductie voor de natuuropgave?

Doelen

De belangrijkste doelen voor natuur en biodiversiteit in Nederland zijn in Europees verband overeengekomen binnen het kader van de Vogel- en Habitat richtlijn (VHR) en de EU-Biodiversiteitsstrategie. Deze doelen worden in Nederland niet gehaald. De belangrijkste oorzaak hiervoor is dat de ruimtelijke - en milieucondities nog ontoereikend zijn voor een duurzaam behoud van planten- en diersoorten (Rood *et al.*, 2016). Met name de depositie van stikstof vormt een probleem voor de biodiversiteit in natuurgebieden. Maar niet alleen de soorten en leefgebieden van de VHR zijn belangrijk voor natuur en biodiversiteit, ook het behouden en versterken van de variatie aan planten, dieren en micro-organismen op land in agrarisch gebruik is van belang voor een vitale landbouw en leefomgeving. In het boerenland zorgen met name de verschraving van het landschap, het ontbreken van voldoende voedselbronnen, ontwatering en het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen voor een achteruitgang van agrobiodiversiteit (zoals weidevogels, akkervogels, insecten, wormen, bloeiende planten etc.). Zowel de agrobiodiversiteit als de natuurlijke biodiversiteit hebben beiden hun waarde, hetgeen ook afhankelijk is van het gebiedsprofiel met gewenste landschap (agrocultuurlandschap versus natuurlandschap). In de Nederlandse situatie is daar geen hard onderscheid in te maken. Wel is biodiversiteit in beide gevallen van grote betekenis voor de waardering van de kwaliteit van het landschap.

Sleutelkenmerken

Kringlooplandbouw kan in zekere mate bijdragen aan natuurdoelen en biodiversiteit, met name via de agrobiodiversiteit op en nabij landbouwpercelen, maar ook op de natuurlijke biodiversiteit in de regio, en verder weg. Deze bijdrage hangt samen met vier sleutelkenmerken van kringlooplandbouw:

Ten eerste is de basis van kringlooplandbouw het beperken van verliezen en het hergebruik van reststromen, waardoor de bodemkwaliteit verbetert, onder meer door minder bodembewerking en uitgekende toepassing van organische mest. Hierdoor draagt kringlooplandbouw bij aan een vruchtbare, biodiverse bodem waar landbouw en natuur baat bij hebben.

Goede zorg voor de bodem hangt samen met het verantwoord gebruik van dierlijke of plantaardige meststoffen. Ruige mest werkt via organische stof-aanvoer gunstig op de bodembiodiversiteit, stro in ruige mest maar ook de vezel in gewasresten en de dikke fractie van gecomposteerde drijfmest heeft bijvoorbeeld een positief effect op het voorkomen van regenwormen. Deze zijn op hun beurt weer een belangrijke voedselbron voor weidevogels en het strooisel dient als nestmateriaal voor weidevogels





In combinatie met weidegang levert mest ook een bijdrage aan de biodiversiteit: koe-flatten in de wei herbergen veel strontvliegen, mestkevers en vliegenlarven, die op hun beurt ook weer belangrijke voedselbronnen vormen voor weidevogels en andere soorten. Te veel mest, te veel ontwatering en pesticidegebruik kunnen bovenbeschreven positieve effecten weer snel te niet doen.

Ten tweede streeft kringlooplandbouw naar het zo veel mogelijk sluiten van nutriëntenkringlopen waardoor verliezen naar de omgeving van eutrofiërende en verzurende stikstof en fosfaat verbindingen worden geminimaliseerd. Dit vormt een belangrijke bijdrage van kringlooplandbouw aan het behoud en versterken van natuur en biodiversiteit: het reduceren van de emissie en depositie van stikstof. Door benutting van mest, compost, slib, stedelijk afval, urine, feces en restproducten uit voedingsmiddelen industrie e.d., kunnen de aan kunstmest gerelateerde emissies worden beperkt. Zo is gebleken bij een project over Kringloopboeren in Drenthe dat deze bedrijven in vergelijking tot het gemiddelde in de provincie een duidelijk lagere concentratie van stikstof in grond- en oppervlakte water hebben.

Ten derde streeft kringlooplandbouw naar zoveel mogelijk gebruik van lokaal en regionaal geproduceerde voedergewassen als bijproduct van akkerbouw. Deze regionaal gebonden productie van grondstoffen voor veevoerders in allerlei variaties, bijvoorbeeld gras/erwtmenmengteelt door de veehouder en lupine door lokale akkerbouwers, kan bijdragen aan grotere diversiteit aan flora en fauna maar ook aan een grotere landschappelijke diversiteit. Beide hebben daarmee ook een positief effect op de diversiteit aan fauna boven en onder de grond. Een bijkomend aspect hiervan is ook de vermindering van de afhankelijkheid van internationaal geïmporteerd veevoer. Doordat er minder veevoer van elders hoeft te worden ingevoerd, draagt kringlooplandbouw bij aan het verminderen van de druk op natuur en biodiversiteit elders in de wereld.

Ten vierde streeft kringlooplandbouw naar een minimale inzet van gewasbeschermingsmiddelen. Er is momenteel een maatschappelijke discussie gaande over het gebruik van bepaalde synthetische gewasbeschermingsmiddelen, zoals neonicotinoiden en glyfosaat, vanwege aanwijzingen van negatieve effecten op nuttige organismen (neonicotinoïden) of menselijke gezondheid (glyfosaat). Een landbouw die minder afhankelijkheid van gewasbeschermingsmiddelen vereist meer robuuste plantaardige productie systemen, bijvoorbeeld door het gebruik van ziekteresistente cultivars, en meng- of strokenteelten. Het aanleggen van bloemenranden met geselecteerde zaden die natuurlijke vijanden van plagen kunnen ondersteunen, kan bijdragen aan het versterken van natuurlijke plaagregulatie en zodoende aan een reductie van insecticidegebruik. Het vergroten van het areaal bloeiende planten kan ook bestuivers van fruit, zoals wilde bijen, ondersteunen. Mechanische onkruidbestrijding kan een alternatief zijn voor het gebruik van herbiciden, maar vereist gespecialiseerde machines of menskracht.

Kringlooplandbouw kan dus een bijdrage leveren aan belangrijke opgaven voor natuur en biodiversiteit, waarbij de meest directe effecten te verwachten zijn van een agrarische biodiversiteit die gekoppeld is aan de natuurlijke processen die van belang zijn voor een succesvolle kringloop (met name bodemkwaliteit). Ook zijn er indirecte effecten op natuurlijke biodiversiteit door minder emissies naar de omgeving (met name water- en luchtkwaliteit).

Welk effect kringlooplandbouw uiteindelijk heeft op opbrengstniveaus, productiebehoefte, inputs, verliezen, e.d., is niet op voorhand makkelijk te kwantificeren. Het is dan ook lastig te voorspellen hoe groot de bijdrage van kringlooplandbouw aan natuur en biodiversiteit kan zijn, of deze voldoende zal zijn om natuurdoelen te halen, of dat deze zelfs negatief uitpakt op natuurdoelen.

Onderzoek is nodig om op basis van natuurdoelen het gewenste systeem te ontwerpen. Daarbij geldt dat niet alle doelen gelijktijdig optimaal bediend kunnen worden en dat je rekening moet houden met mogelijke tegenstellingen tussen lokale en mondiale effecten.

Een vorm van kringlooplandbouw die specifiek gericht is op het behoud en het gebruik van biodiversiteit en natuur in en om het bedrijf, is natuurinclusieve landbouw. Net als kringlooplandbouw bestaan er diverse vormen van natuurinclusieve landbouw, waar in meer of mindere mate sprake is van verweving tussen landbouw en natuur (bijvoorbeeld functionele agrobiodiversiteit op de percelen; of omzoomd, zoals akkerranden of coulisse bossages). Het geheel kan worden omschreven als een natuurinclusief boerenlandschap waarbinnen de landbouw natuur benut, maakt en spaart.





6. Het Handelingsperspectief

Gedeelde visie

De transitie naar kringlooplandbouw betekent een fundamentele omslag van de Nederlandse landbouw. Het sluiten van kringlopen vraagt om het herinrichten van het gehele Nederlandse landbouw- en voedselsysteem, waarbij circulariteit het leidende en gangbare principe is.

Het is evident dat die opgave niet alleen bij de boeren kan worden neergelegd. Dit vereist een gezamenlijke en integrale inzet van alle actoren in de agribusiness: naast boeren dus ook de toeleverende industrie, verwerkende industrie, retail, consumenten, onderzoek, onderwijs, belangengroepen en beleid. En dat alles onder gezaghebbende regie.

Daarvoor is een gedeelde en gedragen visie op de landbouw van de toekomst nodig die gedragen wordt door alle betrokkenen, net als bij "de doctrine van Mansholt" in de vorige eeuw. Het principe van een circulaire voedselproductie is daarin een wezenlijke keuze voor een toekomstig gangbaar landbouwsysteem, waarbinnen diverse keuzes zijn voor landbouwpraktijken die zijn toegespitst op specifieke omstandigheden en typen van ondernemerschap, waarin vernieuwende verdienmodellen met een divers palet aan business partners mogelijk zijn. Een eenduidige horizon met een daarbij passend palet aan stippen.

Overbruggen van de *Think-Do-gap*

De ervaring leert dat de grootste uitdaging is gelegen in het concretiseren van het concept, waarop de visie is gestoeld. Zeker als het radicaal afwijkt van de standaard gangbare praktijk. Dit staat bekend als de *think-do-gap* (O'Sullivan *et al.*, 2017). In het overbruggen van deze kloof worden de volgens 4 stappen als cruciaal gezien:

1. Visie: het ontwerpen en adopteren van een gedeelde visie, middels een breed akkoord.
2. Erkennen van barrières vanuit het perspectief van de diverse actoren: wat zijn de barrières die het concretiseren van de visie in de weg staan? Dat kunnen zijn: kennis, beleid en regelgeving, maatschappelijke verdienstelbaarheid economisch verwaarden, regionale of lokale context.
3. Vorming en ondersteuning van coalities van gemotiveerde koplopers die als "quick wins" de transitie aanjagen en versnellen.
4. Bruggen slaan van visie naar praktijk, waarbij de overwinning van barrières de inspiratie is voor verbreding en daarmee voor de realisatie van de transitie.

Deze aanpak komt overeen met het perspectief van '*continuous transformational change*' bij fundamentele veranderingen van paradigma met verschuiving van percepties en daaronder liggende waarden en normen; met verandering van machtsstructuren en institutionele arrangementen (Termeer *et al.*, 2017): het sturen van transitie op basis van waarnemen, prikkelen, bijsturen en versnellen.

Ierse ervaring

De Ierse landbouw is dit jaar meermaals in het Nederlandse nieuws geweest, omdat Ierland collectief heeft gekozen voor duurzaamheid. Als gevolg van een vijfjarenplan van boeren, bedrijven en de overheid draagt 90% van de export nu het *Origin Green-label* als kwaliteitsgarantie. Wat is het geheim achter dit succes? Uit een analyse zijn drie belangrijke criteria naar voren gekomen:

1. **Een gezamenlijke boodschap: een gedeelde visie van overheid, industrie en boeren.** Vooruitlopend op de afschaffing van de EU-melkquota nodigde de overheid in 2010 landbouwbedrijven en stakeholders uit om samen om de tafel te gaan zitten. Het doel: ontwikkelen van een gedeelde visie voor de Ierse landbouw na de afschaffing van de quota en vaststellen welke belemmeringen er zijn om die visie werkelijkheid te laten worden. De bijeenkomsten werden gefaciliteerd door het Ierse ministerie van Landbouw, maar werden voorgezeten door vertegenwoordigers uit de sector. In 2012 volgde hieruit de Food Harvest 2020-strategie, een door de overheid ondersteund initiatief van de industrie om Ierland te laten profiteren van zijn groene imago en om duurzame productie te gebruiken als stimulans voor de groei, niet als belemmering. Deze strategie vormde het uitgangspunt voor beleidslijnen, onderzoek, bedrijfsadviesdiensten, marketing en sectorinitiatieven die nodig waren om deze transformatie mogelijk te maken.
2. **Een heldere boodschap: duidelijke targets en verantwoordelijkheden voor alle betrokkenen.** Food Harvest 2020 fungeert al vanaf het begin als een kompas voor de hele landbouwsector in Ierland: de strategie heeft beleidslijnen vormgegeven, domineert de onderzoeksagenda en biedt duidelijkheid en zekerheid voor de sector. Dat heeft geleid tot significante investeringen. Dit plan definieert welke instantie waarvoor verantwoordelijk is. Binnen die instanties worden deze verantwoordelijkheden verder toegewezen aan specifieke personen. Ieder half jaar moet elke betrokken persoon verslag uitbrengen aan de minister over de voortgang bij het behalen van de targets. De minister kan dan corrigerende maatregelen treffen indien nodig. Zo blijft het hele land bij de les.
3. **Een aansprekende boodschap.** De Ierse nationale Food Marketing Board, ook wel bekend als *Bord Bia*, nam de verantwoordelijkheid om hoogwaardige markten zeker te stellen als beloning voor deze nationale inspanningen. *Bord Bia* nam duurzaamheidscriteria op in zijn bestaande nationale kwaliteitsborgingsregeling en bracht dit internationaal op de markt onder het *Origin Green-label*. *Origin Green* is geen label dat op consumentenverpakkingen te zien is; het is een B2B-initiatief dat gericht is op grote multinationals zoals McDonalds, die grootschalige overkoepelende garanties voor de duurzaamheid van hun ingrediënten nodig hebben.

Het succes van Food Harvest 2020 en Origin Green was zo groot dat veel van de doelen voor 2020 al in 2015 zijn behaald. Het plan werd dan ook al vlug opgevolgd door Food Wise 2025, met als doel om het toonbeeld te worden van duurzame intensivering met de slogan "Local Roots, Global Reach".





Wat is nodig om de omslag naar een kringlooplandbouw te faciliteren?

1. Wet- en regelgeving toegesneden op circulariteit, dat wil zeggen: meer integraal gericht op bevorderen van circulariteit binnen het gehele voedselsysteem in plaats van toegespitst op deelaspecten (met vaak afwenteingsproblemen) van specifieke deelsectoren.
2. Passende financiële incentives (met name vanuit GLB-subsidie kader) en nieuwe verdienmodellen, waarin maatschappelijke verdienstelijkheid een waarde krijgt. Dit vergt een systematiek van True Pricing die recht doet aan de waarde van circulariteit in de voedselproductie. Een dergelijke systematiek moet internationaal worden geïmplementeerd, maar lokaal ontwikkeld en getest, waarbij Nederland een voortrekkersrol kan vervullen.
3. Investerings in het ontwikkelen en verbreden van kennis en het opdoen van praktijkervaring met circulaire voedselproductie. Dit vereist een vernieuwing van het landbouwonderzoek en groen onderwijs en in het verlengde daarvan een programma van bijscholing voor professionals in en rond de sector.
4. Volop ruimte voor en steun aan leerzame initiatieven, die als een nationaal netwerk van regionale "inspiratiecentra" een bijdrage kunnen leveren aan de kennisverspreiding en praktijktoetsing. Van belang daarbij is ook het goed meten en vastleggen van de prestaties vanuit de circulaire doelen, zodat ze een impuls kunnen geven aan verbreding van "best practices" en zo de transitie kunnen versnellen.
5. Een landelijk portaal voor kringlooplandbouw als een centraal loket voor het zoeken en vinden van oplossingen in het geval dat regelgeving goede kringlooppraktijken in de weg staat en voor het duiden van financiële instrumenten ter ondersteuning van innovaties en investeringen in kringlooplandbouwpraktijken.



Voor meer informatie over kringlooplandbouw, zie:

<https://www.wur.nl/nl/Dossiers/dossier/Kringlooplandbouw.htm>

Referenties

- Aarts, H.F.M.; de Haan, M.H.A.; Schröder J.J.; Holster, H.C.; de Boer J.A.; Reijts J.W.; Oenema J.; Hilhorst G.J.; Sebek, L.B.; Berhoeven, F.P.M. & Meerkerk, B. (2015). Quantifying the environmental performance of individual dairy farms – the Annual Nutrient Cycling Assessment (ANCA). *Grassland Science in Europe* 20: 377-380
- Conijn, J.G.; Bindraban, P.S.; Schröder, J.J.; Jongschaap, R.E.E. (2018) [Can our global food system meet food demand within planetary boundaries?](#) *Agriculture, Ecosystems and Environment* 251 . - p. 244 – 256
- Dijkstra, J, France, J, Ellis, JL, Strathe, AB, Kebreab, E and Bannink, A (2013). Production efficiency of ruminants: feed nitrogen, and methane. In *Sustainable animal agriculture* (ed. E Kebreab), pp. 10–25. CAB International, Croydon, UK.
- EC (2010). Preparatory study on food waste across the EU 27. (Technical report No. 54). European Commission, Brussels, Belgium.
- zum Ermgassen, E.K.H.J., Phalan, B., Green, R.E. and Balmford, E. (2016). Reducing the land use of EU pork production: where there's a will, there's a way. *Food Policy* 58, 35–48.
- Ertl, P, Knaus, W. and Zollitsch, W. (2016). An approach to including protein quality when assessing the net contribution of livestock to human food supply. *Animal* 10, 1883-1889.
- FAO (2013). Dietary protein quality evaluation in human nutrition – report of an FAO expert consultation. Food and nutrition paper 51. FAO, Rome, Italy.
- Flachowsky, G, Meyer, U. and Südekum, K.-H. (2017) *Use for edible protein of animal origin – a review. Animals* 7:25.
- Hijbeek, R. (2017). On the role of soil organic matter for crop production in European arable farming. PhD thesis Wageningen University
- Holster et al (2014). Van marge naar mainstream. Kringloop-landbouw in Noord-Nederland. WUR, Boerenverstand, ETC.
- van Kernebeek, H.R.J., Oosting, S.J., Van Ittersum, M.K., Bikker, P., De Boer, I.J.M., (2015). Saving land to feed a growing population: consequences for consumption of crop and livestock products.
- van Kernebeek, H.R.J., Oosting, S.J., van Ittersum, M.K., Ripoll-Bosch, R., de Boer, I.J.M., (2018). Closing the phosphorus cycle in a food system: insights from a modelling exercise. *animal*, 1-11.
- Leenstra, F. en Vellinga, T. (2011). Indicatie van de ecologische footprint van gezelschapsdieren. Eerste verkenning, toegespitst op katten, honden en paarden in Nederland. Wageningen UR Livestock Research, Rapport 509.
- Luske, B. and Blonk, H. (2009). Milieueffecten van dierlijke bijproducten. Blonk Milieuanalyse, Gouda, Netherlands.
- Nevedi (2017). Factsheet verduurzaming grondstoffen. 11/8/2017.
- O'Sullivan, L., Wall, D., Creamer, R., Bampa, F., & Schulte, R. P. (2018). Functional Land Management: Bridging the Think-Do-Gap using a multi-stakeholder science policy interface. *Ambio*, 47(2), 216-230.
- Rizos, V., Tuokko, K. & Behrens, A., (2017). The Circular Economy: A review of definitions, processes and impacts: Deliverable 2.1 of project Circular Impacts, Available at: https://www.ceps.eu/system/files/RR2017-08_CircularEconomy.pdf.
- Rood T., Mulwijk H. & Westhoek H. (2016). Voedsel voor de circulaire economie. Policy Brief, Planbureau voor de Leefomgeving.
- Termeer, C. J.A.M., Dewulf A. & Biesbroek G. R. (2017). Transformational change: governance interventions for climate change adaptation from a continuous change perspective. *Journal of Environmental Planning and Management*, 60(4): 558-576
- Veldkamp, T. en Bosch, G. (2015). Insects: a protein-rich feed ingredient in pig and poultry diets. *Animal Frontiers* 5, 45-50.
- Vellinga, T., Reijts, J., Lesschen, J.-P. en van Kernebeek H. (in prep.) lange termijn opties voor reducties van broeikasgassen. Doorrekening voor werkgroep innovatie onder de klimaattafel landbouw en landgebruik.
- de Vries, W., J. Kros, M.A. Dolman, Th.V. Vellinga, H.C. de Boer, A.L. Gerritsen, M.P.W. Sonneveld, J. Bouma. (2015). Environmental impacts of innovative dairy farming systems aiming at improved internal nutrient cycling: A multi-scale assessment. *Science of the Total Environment*, 536: 432–442.
- van Zanten, H.H.E. (2016). Feed sources for livestock: recycling towards a green planet. PhD thesis, Wageningen University and Research, the Netherlands.
- van Zanten H.H.E., Herrero, M., van Hal, O., Rööfs, E., Mullers, A., Garnett, T., Gerber & J.P. and de Boer, I.J.M. (2018). Defining a land boundary for sustainable livestock consumption. *Global Change Biology*.

