



Planbureau voor de Leefomgeving

VOEDSEL VOOR DE CIRCULAIRE ECONOMIE

PBL Policy Brief

Voedsel voor de circulaire economie

Trudy Rood, Hanneke Muilwijk en Henk Westhoek

PBL Policy Brief

Voedsel voor de Circulaire Economie

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag, 2016

PBL-publicatienummer: 2145

Contact

trudy.rood@pbl.nl

Auteurs

Trudy Rood, Hanneke Muilwijk en Henk Westhoek

Redactie figuren

Beeldredactie PBL

Eindredactie en productie

Uitgeverij PBL

Layout

Textcetera, The Hague

Met dank aan:

Aldert Hanemaaijer (PBL)

Puck Bonnier, Bernhard Cino, Olaf Cornielje, Joost de Jong, Tekla ten Napel, Harm Smit, Gudrun van Oirschot, Mattheüs van de Pol, Monique Riphagen, Wim Ruitkamp,

Jessica Thio en Herman Walthaus van de ministeries EZ en IenM bedanken we voor hun waardevolle commentaar op de conceptversie.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Trudy Rood, Hanneke Muilwijk en Henk Westhoek (2016), *Voedsel voor de circulaire economie*, Den Haag: PBL.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is voor alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

Inhoud

Samenvatting 4

- 1 Inleiding: beleid voor een circulaire economie in opkomst 10
- 2 Kansen voor het agrofoodsysteem 13
- 3 Hulpbronnen duurzaam beheren en efficiënt inzetten 18
- 4 Sluiten van mineralenkringlopen 21
- 5 Voedselverspilling voorkomen 25
- 6 Bewerking van voedsel levert reststromen op 27
- 7 Optimaal gebruik maken van reststromen 31

Referenties 35

Samenvatting

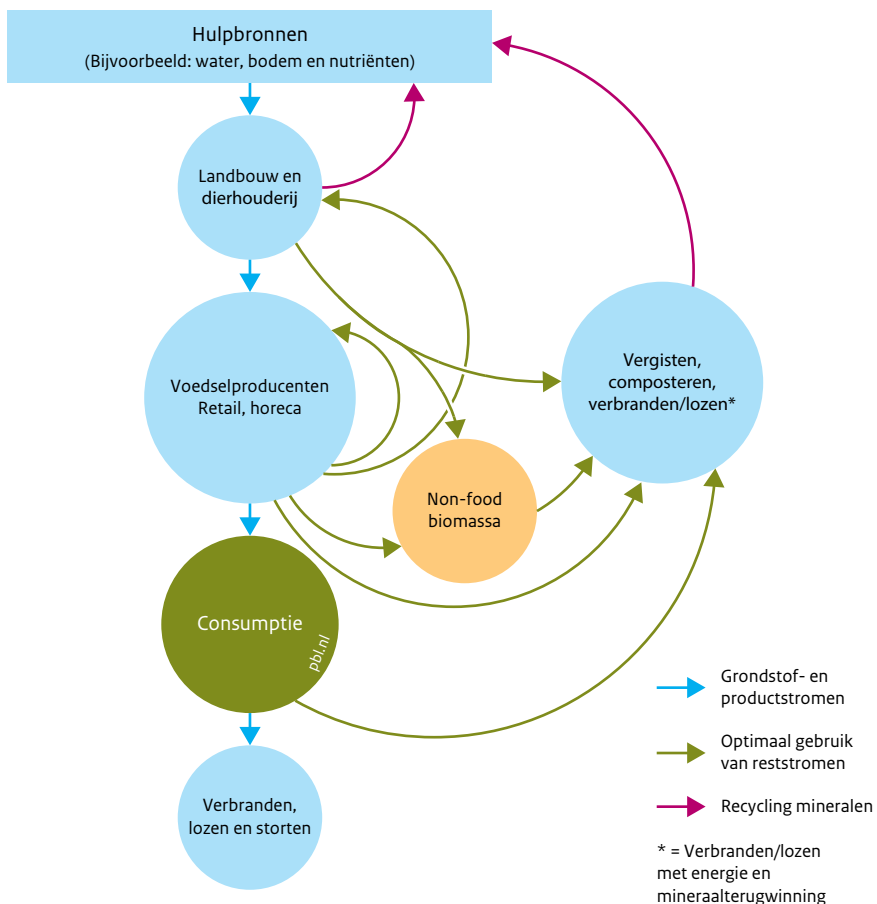
Het streven naar een circulaire economie staat nationaal en internationaal hoog op de agenda. Een circulaire economie is gericht op het optimaal inzetten en hergebruiken van grondstoffen en producten. Dat wil zeggen: grondstoffen worden steeds gebruikt in een toepassing met de hoogste waarde voor de economie en de minste schade voor het milieu. Een circulaire economie is gericht op het langer gebruiken van grondstoffen en het zoveel mogelijk voorkomen van afval en schade aan het milieu.

Drie voorwaarden voor een circulair voedselsysteem

Een transitie naar een circulaire economie vergt een drastische omslag in diverse productketens. De voedselketen is daar één van. Verschillende beleidsterreinen staan voor de opgave om die transitie naar een circulair voedselsysteem in gang te zetten, zoals landbouw, milieu, handel, groene groei, topsectoren en innovatie. Meerwaarde kan worden bereikt bij een integrale aanpak van de transitie; in deze policy brief schetsen we een kader voor zo'n integrale aanpak. We onderscheiden daarin drie voorwaarden (zie ook figuur 1):

Ten eerste moeten in een circulaire economie hulpbronnen en grondstoffen optimaal worden gebruikt en beheerd. Hulpbronnen zijn bijvoorbeeld bodem, water en biodiversiteit, maar ook mineralen zijn een belangrijke hulpbron. Deze hulpbronnen zijn noodzakelijk om hernieuwbare grondstoffen te kunnen produceren. Ten tweede is een optimaal gebruik van het voedsel van belang. Vermindering van voedselverspilling is hierbij een belangrijk aangrijpingspunt. Ook vraagt een dieet met minder sterk bewerkt voedsel, of met meer plantaardige eiwitten en minder dierlijke eiwitten, minder grondstoffen en veroorzaakt het minder milieudruk. Tot slot is het belangrijk dat optimaal gebruik wordt gemaakt van reststromen, zoals tomatenstengels, bietenpulp en oud brood. Hierdoor gaat zo min mogelijk biomassa verloren.

Figuur 1
Circulaire economie in het voedselsysteem



Bron: PBL

Alle drie deze voorwaarden vergen actie om de transitie naar een circulair voedselsysteem te kunnen verwezenlijken. De voorwaarden kunnen worden meegenomen in de uitwerking van het Rijksbrede programma Circulaire Economie en de voortgangsrapportage van de Voedselagenda, die beide in het najaar van 2016 zullen verschijnen.

1 Optimaal beheer van hulpbronnen

Duurzaam gebruik van hulpbronnen

Het is belangrijk om bij het gebruik van hernieuwbare grondstoffen zorg te dragen voor een goede conditie van de natuurlijke hulpbronnen waaruit de grondstoffen worden geproduceerd. Deze hulpbronnen zijn onder andere bodem en land, water en biodiversiteit, ook wel 'natuurlijk kapitaal' genoemd. Op dit moment worden deze hulpbronnen, zowel in Nederland als daarbuiten, niet altijd duurzaam beheerd. Bij gebrekkig beheer van deze hulpbronnen zal er sprake zijn van degradatie, verontreiniging of uitputting, waardoor bijvoorbeeld bodems minder vocht vasthouden of bestuiving door bijen vermindert.

Voor het bevorderen van een circulaire economie betekent dit dat er moet worden gezorgd voor een duurzaam gebruik van hulpbronnen. Dat wil zeggen dat hulpbronnen op een dusdanige manier worden beheerd en gebruikt dat het gebruik ook op de lange termijn is gewaarborgd. Een keuze voor dergelijk beheer is ook van invloed op het handelsbeleid, want de Nederlandse economie maakt veel gebruik van hulpbronnen in het buitenland, door bijvoorbeeld de import van grondstoffen, halffabricaten en producten. Via het stimuleren van verduurzaming binnen handelsketens kan de Nederlandse overheid bijdragen aan een duurzaam beheer van hulpbronnen in het buitenland.

Efficiënt gebruik van hulpbronnen

In een circulaire economie zal steeds meer gebruik worden gemaakt van hernieuwbare grondstoffen (biomassa). Naast het gebruik van biomassa voor de voedselvoorziening, wordt biomassa in toenemende mate gebruikt in bijvoorbeeld medicijnen, de chemie (bioplastics), de bouw (biomaterialen) en energie en mobiliteit (biobrandstoffen).

Een deel van de reststromen uit de voedselproductie wordt daar nu al voor gebruikt. Zo worden bijvoorbeeld botten van het vee gebruikt voor porselein en lijm.

Om meer biomassa te creëren is een grotere productie nodig. Die productie vraagt ruimte. Daarnaast vragen ook bijvoorbeeld recreatie- en bedrijventerreinen ruimte. De concurrentie om ruimte zal daardoor toenemen. Voor de circulaire economie is het dus niet alleen belangrijk om reststromen efficiënt in te zetten, maar ook om de schaarse ruimte efficiënt te benutten.

Efficiënt gebruik van mineralen

Er is nog veel winst te boeken in het efficiënter beheren van mineralen als stikstof, fosfaat, kalium en spoorelementen. In de landbouw worden mineralen in (kunst) mest aan de bodem toegevoegd waarna planten en dieren de mineralen opnemen. Soms worden mineralen ook extra toegevoegd aan het veevoer. Via de landbouw komen de mineralen dus in de menselijke voeding terecht. Met uitzondering van stikstof worden deze stoffen in mijnen gewonnen. Een efficiënte mineralenbenutting voorkomt versnelde uitputting van deze mijnen. Het is niet de verwachting dat er op korte termijn een groot tekort aan deze elementen is; wel kan door geopolitiek of beperkte wincapaciteit een tijdelijke schaarste ontstaan.

Een efficiënt gebruik van mineralen vermindert ook de milieudruk. Een teveel aan mest en kunstmest vervuult namelijk het grond- en oppervlaktewater. Door regulering middels de Meststoffenwet is de belasting van het milieu met mineralen sterk gedaald, maar er is nog steeds sprake van een overschot. In de voedselindustrie, horeca, retail en thuis ontstaan reststromen waardoor een aanzienlijk deel van de mineralen verloren gaat, bijvoorbeeld in slachterijen en bij bewerking van voedsel. De mineralen die mensen via het voedsel opeten, komen grotendeels in het riool terecht. Reststromen met mineralen vallen veelal onder de definitie van afval en de Europese lidstaten gaan hier verschillend mee om. Hierdoor wordt hergebruik belemmerd en worden reststromen verbrand. Bij sommige reststromen zijn verontreinigingen een probleem. Zo vormen medicijnresten en ziekteverwekkers in rioolslib een risico voor de volksgezondheid. Meer inzicht in de mineraalstromen, belemmeringen en innovaties lijkt nodig om recycling van mineralen te bevorderen.

2 Optimaal gebruik van voedsel

Voedselverspilling voorkomen

Nog steeds gaat een derde van het geproduceerde voedsel wereldwijd verloren. In Nederland wordt sinds 2009 beleid gevoerd tegen voedselverspilling, maar de totale hoeveelheid verspild voedsel blijft min of meer constant. Nauwkeurige data ontbreken, maar de doelstelling van 20 procent reductie in 2015 lijkt niet gehaald te worden. Voedselverspilling blijkt een hardnekkig probleem. Vooral bij huishoudens, horeca en retail is er nog veel verspilling, ondanks dat veel Nederlanders vinden dat dit niet 'hoort'. Regelgeving rond de houdbaarheid van voedsel kan ook aanleiding geven tot verspilling van voedsel.

Meer samenhang tussen beleidsterreinen, zoals die van innovatie, voedselveiligheid en voedselkwaliteit, topsectoren en circulaire economie, kan ook helpen om het reductiedoel te bewerkstelligen. Voedselverspilling moet worden voorkomen en voedselresten moeten zo optimaal mogelijk worden ingezet in de voedselverwerkingsketen. Het vergroten van de transparantie bij bedrijven over reststromen, en verandering in gedrag van consumenten zijn hiervoor van belang. Het bevorderen van een circulaire economie, waarbij reststromen in eerste plaats worden voorkomen en daarnaast worden gezien als waardevolle grondstoffen, kan een nieuwe impuls geven aan het oude verspillingvraagstuk.

Bewerking van voedsel levert afval- en reststromen op

Nederlanders zijn steeds meer en steeds vaker sterk bewerkt voedsel gaan eten, zoals snacks, frisdrank en magnetronmaaltijden. Bij de bewerking van het voedsel ontstaan reststromen die niet voor menselijke consumptie worden gebruikt, maar bijvoorbeeld worden vergist voor energie. Deze reststromen bevatten echter vaak nog wel waardevolle eiwitten, mineralen en vezels. Zowel reststromen als afval zouden in de

circulaire economie liever voorkómen worden, zodat alle voedingsstoffen ingezet worden voor menselijke consumptie en het grondstofgebruik wordt beperkt.

Los van de afval- en reststromen heeft sterk bewerkt voedsel een ander nadeel:

het bevat veel suikers, vetten en zout, waarvan teveel niet goed is voor de gezondheid.

Het terugdringen van sterk bewerkt voedsel kan dus niet alleen voordelen opleveren voor de circulaire economie maar ook voor de volksgezondheid. Hier ligt een kans om in het voedselbeleid bevordering van een circulaire economie te combineren met bevordering van de volksgezondheidsbeleid.

3 Optimaal gebruik van reststromen

Belemmeringen voor hoogwaardiger gebruik

Reststromen die ontstaan bij de voedselproductie in Nederland worden al grotendeels benut. Veel reststromen worden bijvoorbeeld gebruikt als veevoer of ze worden vergist voor energieproductie. In dat opzicht kent het Nederlandse voedselproductiesysteem op onderdelen al langer een circulaire economie. Sommige reststromen kunnen echter wel 'hoogwaardiger' worden ingezet. Dat wil zeggen dat de toepassing wordt gezocht met de hoogste economische waarde en minste schade voor het milieu. Dat dit niet gebeurt, kan verschillende oorzaken hebben. Voorbeelden zijn het ontbreken van een markt voor reststromen of onbekendheid. De overheid kan hierbij een rol spelen door samenwerking te faciliteren en innovatie en transparantie van gegevens over reststromen te bevorderen.

Conflicterende doelen

Een hoogwaardige inzet van reststromen gaat niet altijd samen met wetgeving omtrent voedselveiligheid en mest- en afvalwetgeving. Zo kan beendermeel niet worden ingezet als veevoeder vanwege het risico op ziekten. Een ander voorbeeld van conflicterende doelen op verschillende beleidsterreinen doet zich voor in het energiebeleid. Het energiebeleid zet in op stimulering van duurzame energie en daarom wordt vergisting van reststromen gesubsidieerd. Deze reststromen zouden echter ook op een hoogwaardiger manier kunnen worden gebruikt: als voedsel, veevoer of grondstoffen voor bioraffinage, afhankelijk van de grondstof die wordt vergist. Voor het bevorderen van een circulair voedselsysteem is het dan ook zinvol om te analyseren welke belemmeringen en ongewenste prikkels er zijn door beleid op andere terreinen dan voedsel zodat de overheid de verschillende doelen kan afwegen.

Gebruik vuistregels, maar houd ruimte voor maatwerk

Voor de transitie naar een circulaire economie is een zo hoogwaardig mogelijk hergebruik van grondstoffen gewenst (de zogenoemde cascadering). Voor wat 'hoogwaardig' is, bestaat een aantal vuistregels. Zo staat hergebruik in voedsel voor mensen hoger in rang dan hergebruik voor veevoer en is preventie van afval hoogwaardiger dan het gebruiken van afval voor energieopwekking.

Maar er zijn altijd uitzonderingen. Soms kan een laagwaardig gebruik van reststromen meer voordelen opleveren dan hoogwaardig gebruik, bijvoorbeeld doordat de reststroom verontreinigd is en zuivering veel energie kost. Dit betekent dat ruimte voor maatwerk nodig is. Om goed inzicht te krijgen in eventuele uitzonderingen, is het belangrijk om een referentiesituatie te beschrijven en effecten in de productieketen en de meerwaarde van producten te kennen.

1 Inleiding: beleid voor een circulaire economie in opkomst

In een circulaire economie worden grondstoffen en hulpbronnen optimaal gebruikt

Een circulaire economie is gericht op het optimaal inzetten en hergebruiken van grondstoffen en producten in de economie, waarbij het behoud van natuurlijke hulpbronnen centraal staat. Dat wil zeggen: grondstoffen worden steeds gebruikt in een toepassing met de hoogste waarde voor de economie en de minste schade voor het milieu (Rood & Hanemaaijer 2016). Dit geldt zowel voor niet-hernieuwbare grondstoffen – zoals fossiele grondstoffen en metalen – als voor hernieuwbare grondstoffen, zoals landbouwproducten en hout (biotische grondstoffen). Een circulaire economie is gericht op het langer in de keten houden van grondstoffen en het zoveel mogelijk voorkomen van afval en schadelijke emissies naar bodem, water en lucht. In een circulaire economie zijn minder nieuwe grondstoffen nodig. Veelal is daardoor ook minder energie nodig omdat het winnen van grondstoffen en maken van producten veel energie vraagt. Belangrijke doelen in de transitie naar een circulaire economie zijn minder milieudruk, en het creëren van economische kansen en grondstoffenzekerheid.

De noodzaak om grondstoffen hoogwaardiger te benutten neemt toe

Het wordt steeds belangrijker om in de economie op een andere wijze om te gaan met grondstoffen (Rli 2015); de beschikbare grondstoffen moeten zo efficiënt mogelijk worden gebruikt. Grondstoffen dreigen namelijk in toenemende mate schaars te worden; de vraag ernaar neemt toe door een groeiende bevolking en toenemende welvaart in de wereld. De toenemende vraag leidt ook tot een stijgende milieudruk; zo kan een grotere vraag naar grondstoffen gevolgen hebben voor de biodiversiteit, broeikasgasemissies en de stikstofkringloop (Rockström et al. 2009; Steffen et al. 2015).

Synergie met Sustainable Development Goals (SDG's)

De ambitie om het voedselsysteem om te vormen naar een circulaire economie sluit aan bij die van de *Sustainable Development Goals* (SDG's), de zeventien duurzaamheidsdoelstellingen die in 2015 zijn aangenomen door de Verenigde Naties. Voedsel is een belangrijk thema in de SDG's; het bevorderen van een circulaire economie in het voedselsysteem kan bijdragen aan het bereiken van diverse SDG's, zoals het

beëindigen van honger in de wereld, het bereiken van voedselzekerheid en duurzame landbouw (SDG 2), het zorgen voor een gezonde leefstijl (SDG 3), het halveren van de voedselverspilling (SDG 12.3), het efficiënt omgaan met hulpbronnen en grondstoffen in consumptie en productie (SDG 8.4 en SDG 12), de afname van marinevervuiling (SDG 14.1) en het bereiken van een landdegradatie-neutrale wereld (SDG 15.3).

Beleid voor circulaire economie kan voortbouwen op bestaand beleid

De belangstelling in het beleid voor het fenomeen van de circulaire economie is nog vrij recent. Het beleid kan echter voortborduren op een lange traditie gericht op het sluiten van kringlopen. Zo werd in het eerste Nationale Milieubeleidsplan al aandacht gevraagd voor het sluiten van kringlopen (VROM 1989) en voert Nederland al decennia ambitieus beleid voor het verminderen en hergebruiken van afval. Ook vertoont de idee van een circulaire economie veel overlap met de in beleid gebruikte noties van groene groei, *resource efficiency* en *biobased economy*. Zo kan de biobased economy worden gezien als het onderdeel van de circulaire economie die zich richt op het hoogwaardig toepassen van biotische grondstoffen. Mede door het beleid voor een biobased economy groeit de markt van non-food toepassingen van biomassa jaarlijks met circa 2 procent (Kwant et al. 2016).

Kenmerkend voor de circulaire economie is de sterke aandacht voor het ontwerp van producten, cross-sectorale ketensamenwerking en nieuwe verdienmodellen om hoogwaardig hergebruik en recycling te realiseren. In de literatuur bouwt de kennis over de circulaire economie voort op drie eerdere perspectieven op de economie: ‘Cleaner Production’, ‘Industrial Ecology’ en ‘Cradle-to-Cradle’ (Christensen & Hauggaard-Nielsen 2015).

De laatste jaren is de beleidsaandacht voor de circulaire economie sterk toegenomen. Zo heeft de Nederlandse overheid met het programma Van Afval Naar Grondstof (VANG) een ambitieus plan gelanceerd dat bedrijven, ngo’s en andere partijen heeft geïnspireerd tot actie. Zo is een aantal Green Deals afgesloten en werken zes organisaties samen in de RACE coalitie aan circulaire economie (Rood & Hanemaaijer 2014). Het ministerie van Economische Zaken beschrijft de circulaire economie in termen van het sluiten van kringlopen, duurzaam beheer van hulpbronnen en efficiënt gebruik van grondstoffen (Economische Zaken 2015).

Daarnaast voert de Nederlandse overheid sinds 2009 beleid gericht op de vermindering van voedselverspilling (Landbouw Visserij en Natuur 2009), wat ook onderdeel is van het bevorderen van een circulaire economie. Recent heeft het kabinet opnieuw aangegeven dat het beleid wil blijven voeren tegen voedselverspilling en -verliezen (Tweede Kamer der Statengeneraal 2015a; Tweede Kamer der Statengeneraal 2015b).

Het begrip circulaire economie kan ook in de EU op veel belangstelling rekenen. De Europese Commissie verwoordt het belang van een circulaire economie als volgt: ‘De overgang naar een meer circulaire economie – waarin de waarde van producten, materialen en hulpbronnen in de economie zo lang mogelijk kan worden behouden en de afvalproductie tot een minimum wordt beperkt – levert een essentiële bijdrage aan

de inspanningen van de EU om tot een duurzame, koolstofarme, hulpbronnefficiënte en concurrerende economie te komen' (Europese Commissie 2015). Het is volgens de Commissie 'de gelegenheid om onze economie te transformeren en nieuwe en duurzame concurrentievoordelen voor Europa te genereren' (Europese Commissie 2015). Gezien de te verwachten positieve impact heeft de Europese commissie in december 2015 het voorstel voor een circulaire-economiepakket gepubliceerd, met daarin ook een voorstel voor het terugdringen van voedselverspilling. Voedselverlies is echter maar een van de raakvlakken tussen een circulaire economie en voedsel (zie hoofdstuk 5 'Voedselverspilling voorkomen').

Circulaire economie vraagt om een brede en samenhangende aanpak

Zowel de EU als Nederland staan aan het begin van de transitie naar een circulaire economie (Rli 2015; Potting et al. 2016 te verschijnen). Een transitie naar een circulaire economie vraagt om een nauwe samenwerking tussen ministeries en om overleg met bedrijven en ngo's (Rood & Hanemaaijer 2014; Rli 2015). Beleid gericht op het bevorderen van de circulaire economie gaat immers door sectoren, schaalniveaus en domeinen heen. Het kabinet werkt momenteel aan het Rijksbrede programma Circulaire Economie om de samenwerking te verbeteren tussen de verschillende ministeries (Economische Zaken, Infrastructuur en Milieu, Binnenlandse zaken en Buitenlandse Zaken). Het kabinet heeft de SER om advies gevraagd over de circulaire economie zodat zijn bevindingen ook in het Rijksbrede programma Circulaire Economie kunnen worden meegenomen (SER 2016 en IenM 2016, beide in voorbereiding).

In deze policy brief agenderen we een aantal voorwaarden voor het circulair maken van het voedselsysteem. Deze kennis kan niet alleen als input dienen voor het Rijksbrede programma Circulaire Economie maar ook voor de Voortgangsrapportage van de Voedselagenda; beide zullen in het najaar van 2016 verschijnen. Ook daarna, bij de uitwerking van het programma en de agenda, blijven de voorwaarden voor een circulaire voedsel economie uit deze policy brief actueel.

2 Kansen voor het agrofoodstelsysteem

Agrofoodsector kan verdienen aan circulaire economie

De transitie naar een circulaire economie biedt kansen, ook voor de agrofoodsector. Deze kansen zullen niet zomaar worden benut. Zo zijn investeringen en nieuwe allianties van bedrijven nodig en zullen bedrijven met gevestigde belangen geneigd zijn de transitie te remmen. Overheidsbeleid zal vaak nodig zijn om belemmeringen te overwinnen en een andere kijk op het belang van grondstoffen te krijgen. De kansen liggen er echter wel (Rood & Hanemaaijer 2016). Zo becijferde EMF dat in 2030 ten opzichte van het huidige ontwikkelpad het bbp in Europa met 11 procent kan toenemen en de CO₂-emissie halveren (EMF et al. 2015).

Voor Nederland heeft TNO de voordelen verkend (zie figuur 2.1). Dit betreft een ruwe schatting die vooral een gevoel voor ordegrrootte moet geven; voor robuuste cijfers is nader onderzoek nodig. De baten in de agro- en foodsector van een meer circulair opererende economie worden geschat op 930 miljoen euro (Bastein et al. 2013). De toename van het aandeel biogas draagt bij aan een reductie van de CO₂-emissie van naar schatting 150 kiloton. De verkleining van de voetafdruk in landgebruik bedraagt ruim 2000 vierkante kilometer.

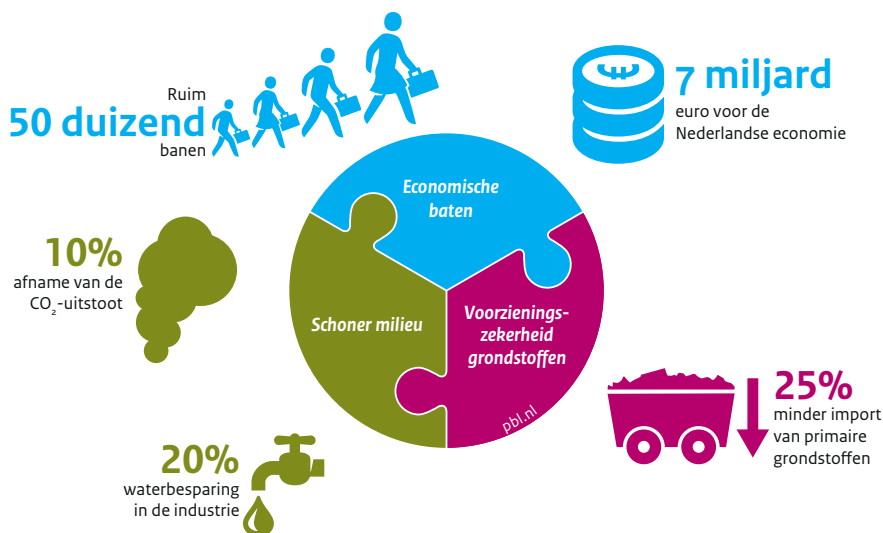
De positieve effecten hangen vooral samen met het gebruik van reststromen. Reststromen uit de landbouwsector kunnen worden omgezet in biogas en door middel van raffinage in andere, meer hoogwaardige producten zoals compost, veevoeder en biodiesel (sluiten van externe kringlopen). Naast dit gebruik van reststromen uit de sector als geheel zijn er ook nog mogelijkheden om binnen een landbouwbedrijf kringlopen te sluiten (sluiten interne kringlopen). Momenteel zijn er diverse initiatieven, maar de omvang van deze baten is nog lastig te kwantificeren (Smits et al. 2013).

Sluiten van kringlopen in de landbouwsector

In de landbouw staan van oudsher natuurlijke kringlopen centraal, want water, nutriënten en bodem zijn van essentieel belang voor de productie. Industrialisering van de landbouw heeft ervoor gezorgd dat de productie efficiënter is geworden, maar ook dat deze verder af is komen te staan van natuurlijke kringlopen. Kringlopen sluiten kan op verschillende niveaus: binnen het bedrijf, in nieuwe cross-sectorale ketens, in de omgeving of internationaal. De landbouwsector kan daarom op verschillende manieren invulling geven aan een circulaire economie: het sluiten van externe kringlopen, het sluiten van interne kringlopen en door multifunctionele landbouw (Buggenhout et al. 2016).

Figuur 2.1

Motieven voor een circulaire economie



Bron: TNO, bewerking PBL

Een circulaire economie heeft voordelen voor de economie, voor grondstofzekerheid en voor het milieu.

Zoals hierboven aangegeven biedt het sluiten van externe kringlopen kansen om reststromen extern nuttig in te zetten. De landbouw produceert voedsel, maar wordt dan ook een leverancier van grondstoffen, bijvoorbeeld voor bioplastics en energie. Volgens de Rabobank zal de chemie steeds meer biomassa gaan gebruiken en de agrofoodsector zich meer gaan richten op biotech en raffinage, zodat nieuwe cross-sectorale samenwerkingen zullen ontstaan (Rabobank 2014). Voorbeeld van een initiatief is de vlasteelt; de zaden daarvan worden gebruikt voor de voedselvoorziening, en de vezels in de textiel-, bouw- en composietsector. Ook grasraffinage doorkruist verschillende sectoren, met producten voor diervoer en karton.

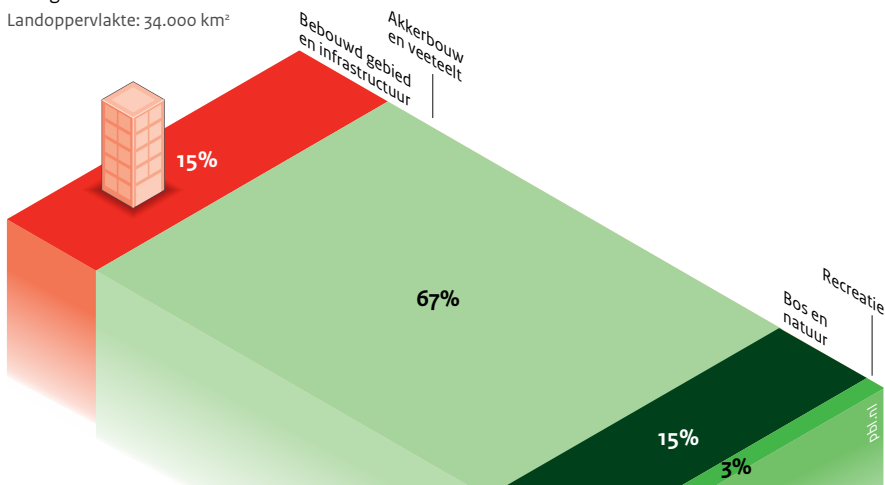
Bij het sluiten van interne kringlopen worden reststromen binnen landbouwbedrijven hergebruikt (Smits & Linderhof 2015). Hierdoor worden reststromen die voorheen werden afgevoerd als afval of als emissie (zoals kooldioxide, stikstof en fosfaat) intern gebruikt, zodat de benodigde inputs en emissies worden geminimaliseerd. Dit soort bedrijven worden ook wel kringloopbedrijven genoemd, omdat zij optimaal zijn afgestemd op het gebruik van aanwezige hulpbronnen (Hees et al. 2009). Het kringloopbedrijf combineert plant-plant-, plant-dier- of dier-dierproductie zodat een reststroom uit de productie van het een gebruikt wordt als input voor de productie van het ander. Een voorbeeld hiervan zijn paddenstoelen die CO₂ en warmte produceren, die vervolgens gebruikt wordt voor de groei van andere gewassen. Mest kan gebruikt worden in de teelt van gewassen en de resten uit de gewasproductie als veevoer.

Figuur 2.2

Nederland is een landbouw grootmacht in een dichtbevolkte delta

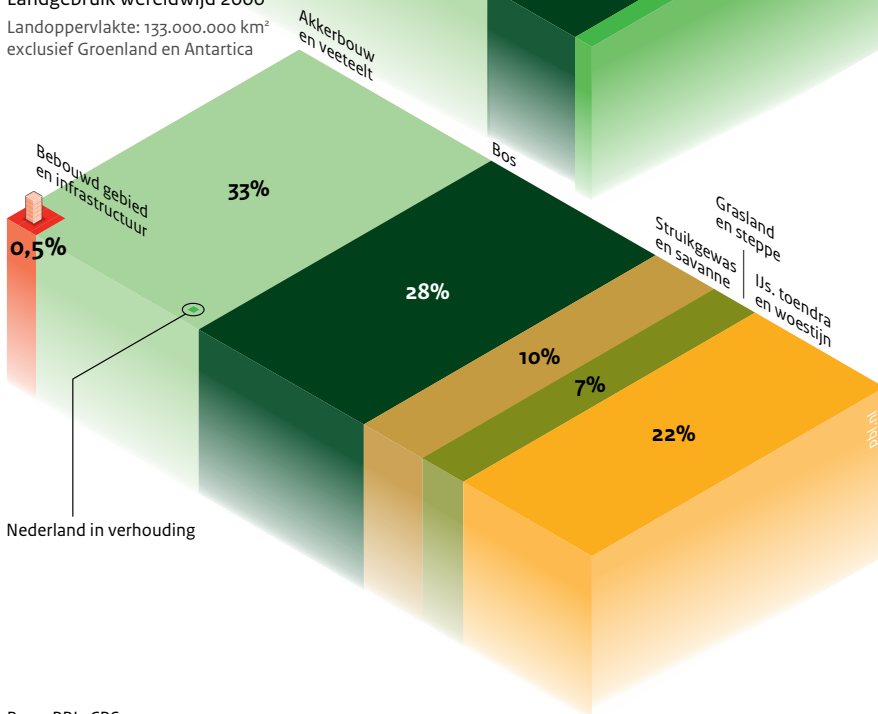
Landgebruik Nederland 2012

Landoppervlakte: 34.000 km²



Landgebruik wereldwijd 2000

Landoppervlakte: 133.000.000 km²
exclusief Groenland en Antarctica



Bron: PBL; CBS

Nederland heeft een goede uitgangspositie voor het circulair maken van het voedselsysteem.

Initiatieven die experimenteren met het sluiten van interne kringlopen zijn bijvoorbeeld polydome, aquaponics, ecoferm en kringloopboeren.

Bij de multifunctionele landbouw worden kringlopen in de omgeving gesloten. Het landbouwbedrijf heeft een ander verdienmodel waarbij inkomsten ook uit niet-landbouwactiviteiten kunnen komen, zoals zorg en recreatie (PBL 2013a). Een bekend voorbeeld is het kweken van paddenstoelen op lokaal opgehaalde koffieprut uit de horeca (Pauli 2014). Voorts zijn er vele vormen van stadslandbouw in Nederland, die vaak het initiatief zijn van ondernemers of burgers. Zo ligt er in het Rotterdamse havengebied een grote stadsboerderij, Uit je Eigen Stad, en wordt in het centrum van die stad groente, kruiden en fruit verbouwd, zoals bij de DakAkker op een kantoorgebouw. In elke buurt in Amsterdam-Oost is wel een buurttuin te vinden, waar bewoners aan de slag kunnen met het kweken van groenten, het plukken van fruit en het oogsten van kruiden. En de stadsboerderij Almere bijvoorbeeld wil een ontmoetingsplaats voor stadslandbouw zijn waar inspiratie en goede raad gedeeld kunnen worden.

Nederland heeft een goede uitgangspositie

Nederland heeft een gunstige positie om te veranderen van een lineaire naar een circulaire economie. Het zet bijvoorbeeld al decennialang in op het zo veel mogelijk benutten van reststromen. Eén van de oorzaken hiervan is dat Nederland een landbouwgrootmacht is in een dichtbevolkte delta (figuur 2.2), waardoor het moet omgaan met een hoge druk op het milieu.

Daarnaast is de dichtheid van grondstofstromen en bijbehorende infrastructuur hoog. Nederland is een import- en exportland waardoor het als scharnierpunt, of grondstoffenrotonde, dient.

Nederland heeft dus een goede uitgangspositie, maar het innovatiebeleid kan structureler worden gericht op thema's die over bestaande sectoren heen gaan, zoals de grondstoffenproblematiek. Kansen ontstaan niet per se binnen een sector, maar juist door de combinatie van sectoren. Biobased economy en circulaire economie thematiseren beide kansrijke cross-sectorale ontwikkelmogelijkheden voor Nederland (PBL 2013b). Innovaties zijn bijvoorbeeld nodig voor de ontwikkeling van alternatieve grondstoffen, het optimale gebruik van grondstoffen en het sluiten van kringlopen. Hierbij hoort ook innovatie voor een verschuiving naar een dieet met meer plantaardige en minder dierlijke eiwitten (eiwittransitie). Het productieproces van plantaardige eiwitten zoals peulvruchten is efficiënter dan de productie van dierlijke eiwitten, waardoor grondstoffen optimaler worden gebruikt (zie ook het tekstkader in hoofdstuk 6).

Daarnaast zijn radicalere innovaties van belang, zodat een heel ander ontwerp, proces of materiaal ontstaat, zoals in het geval van zelfhelende stoffen en 3D-prints. Momenteel zijn dergelijke experimenten in Nederland gaande, zoals het 3D-printen van voedsel en de ontwikkeling van producten met schimmels die kleding en verfwerk repareren (Innovation Expo 2016; Universiteitsmuseum Utrecht 2016).

Kortom, er liggen veel kansen voor een circulaire economie op basis van het voedselsysteem en er zijn diverse innovatiemogelijkheden te identificeren. Om de circulaire economie optimaal te laten functioneren is een aantal voorwaarden van belang (figuur 1). Deze voorwaarden zullen in de volgende hoofdstukken worden uitgewerkt.

3 Hulpbronnen duurzaam beheren en efficiënt inzetten

Optimaal gebruik en beheer van hulpbronnen van belang voor de circulaire economie

Voor een circulair voedselsysteem is een duurzaam beheer van hernieuwbare natuurlijke hulpbronnen essentieel. Deze hulpbronnen worden ook wel ‘natuurlijk kapitaal’ genoemd (PBL 2016). Deze natuurlijke hulpbronnen (bodem, water, biodiversiteit, plantenzaden, visvoorraden) vormen de basis van de voedselproductie (UNEP 2016). Bij een duurzaam beheer van de hulpbronnen is het in potentie mogelijk om de voedselproductie decennia of eeuwenlang te continueren. Voor veel van deze hulpbronnen is het ook noodzakelijk om op die termijn te kijken: enerzijds omdat er geen alternatief is, en anderzijds omdat herstel na een minder duurzaam beheer decennia of zelfs eeuwen kan duren, zoals in het geval van herstel van landbouwgronden.

De natuurlijke hulpbronnen die aan de basis liggen van de Nederlandse voedselproductie en -consumptie bevinden zich deels in Nederland, maar grotendeels daarbuiten. Buiten Nederland gaat het zowel om land en om hulpbronnen voor de teelt van direct voor de Nederlandse consumptie bedoelde producten (granen, rijst, fruit, koffie, wijn, oliën), als om de teelt van veevoer (granen in Europa, soja in Noord- en Zuid-Amerika), mineralen (zoals fosfor) en visvoorraden. Via verduurzaming van handelsketens, waaronder certificering van internationale stromen, kan de Nederlandse overheid zorgen voor een duurzaam beheer van hulpbronnen in het buitenland (Oorschot et al. 2016).

Duurzaam bodembeheer in Nederland voor de productiefunctie landbouw

In deze paragraaf richten we ons op natuurlijke hulpbronnen binnen Nederland en dan specifiek land en bodem. Een duurzaam bodembeheer staat centraal in SDG 15.3: ‘Tegen 2030 de woestijnvorming tegengaan, aangetast land en gedegradeerde bodem herstellen, ook land dat wordt aangetast door woestijnvorming, droogte en overstromingen, en streven naar een wereld die qua landdegradatie neutraal is.’ Hoe duurzaam worden de landbouwbodems in Nederland op dit moment beheerd? Op deze vraag is momenteel eigenlijk geen sluitend antwoord te geven, vooral daar

waar het gaat om de kwaliteit van de landbouwgrond en de mogelijkheid tot het leveren van ecosysteemdiensten, zoals de productie van voedsel. Ten eerste gaat het om meerdere aspecten (chemische kwaliteit, biologische kwaliteit, bodemstructuur), die bovendien niet alle makkelijk meetbaar zijn. Ten tweede gaan de veranderingen vaak sluipenderwijs, zoals ophoping van bepaalde stoffen. En ten derde is er sprake van een grote ruimtelijke heterogeniteit, wat betekent dat een meetnet fijnmazig moet zijn. Een deel hiervan is wellicht op te lossen door vooral drukfactoren in beeld te brengen (bijvoorbeeld ontwatering, of aanvoer zware metalen), in plaats van de feitelijke bodemkwaliteit.

In de EU Bodemstrategie worden voor bodems de volgende aantastingsprocessen en bedreigingen onderscheiden: erosie, verlies van organische stof, plaatselijke en diffuse bodemverontreiniging, bodemafdekking en -verdichting, afname van de biodiversiteit in de bodem, verzilting, overstromingen en aardverschuivingen (Europese Commissie 2006). Niet alle van deze bedreigingen zijn even relevant voor Nederland, terwijl er in Nederland nog sprake is van een specifieke bedreiging, namelijk oxidatie en inkrimping van veengronden.

Een deel van deze aantastingen gebeurt bewust, zoals omzetting van landbouwgrond naar andere gebruiksvormen, bijvoorbeeld naar bedrijven- en recreatieterreinen en naar water(opvang). Een deel gebeurt ook onbewust of sluipenderwijs, zoals verdichting van landbouwbodems en ophoping van zware metalen.

Ter bepaling van de omvang van verlies aan organische stof en diffuse bodemverontreiniging heeft het RIVM een meetnet. Omdat gehalten in de bodem slechts langzaam veranderen, zijn trends pas na langere tijd meetbaar. Mede vanwege methodologische problemen zijn er voor bijvoorbeeld zware metalen nog geen conclusies uit dit meetnet te trekken. Ook andere aspecten, zoals de afname van de biodiversiteit in de bodem en bodemverdichting zijn moeilijker meetbaar. Uit een onderzoek bleek dat de gemiddelde organische stofgehalten in landbouwbodems op zand en kleigrond tussen 1984 en 2004 licht waren toegenomen. Er waren echter grote regionale verschillen, en ook methodologische problemen (Reijneveld et al. 2009). Daarbij is het vermoeden dat het aandeel relatief jonge organische stof in landbouwbodems toeneemt ten koste van oudere organische stof (TCB 2016). Deze jonge organische stof is makkelijker afbreekbaar, waardoor bij vermindering van de aanvoer in de loop der tijd het gehalte aan organische stof zal dalen.

Er is op een deel van de Nederlandse landbouwbodems sprake van een zekere bodemverdichting, maar aard en omvang zijn niet goed bekend. Bodemverdichting ontstaat onder andere door het gebruik van zware machines en door rijden op gronden onder te natte omstandigheden. Verder vindt er nog steeds ophoping plaats van zware metalen in de bodem, al is het tempo hiervan wel afgenomen, onder andere als gevolg van gericht beleid op de veevoersamenstelling (PBL 2010; CBS 2013; CBS et al. 2013; Renaud et al. 2015).

Figuur 3.1
Funcieverandering van landbouwgrond



Bron: CBS

Het areaal landbouwgrond is sinds 1985 afgenomen.

Wat beter meetbaar is, is bodemafdekking. Die vindt vooral plaats bij functieverandering van landbouwgrond naar ander gebruik (zie figuur 3.1). Het areaal landbouwgrond is in de periode 1985-2012 met 145.000 hectare gedaald (6 procent) (CBS 2012). Er is meer wateroppervlak gekomen en een deel van de landbouwgrond is verstedelijkt en veranderd in recreatieterreinen en natuurareaal.

Kortom, er is een aantal bedreigingen voor de kwaliteit en het areaal van landbouwbodems in Nederland. Overheden (inclusief waterschappen) zouden meer kunnen sturen op een duurzamer bodemgebruik, zoals via een stringenter ruimtelijke ordening en door het faciliteren en aanspreken van actoren, zoals boeren, veevoerleveranciers (vanwege de aanvoer van zware metalen), de zuivelindustrie en retailers. Ook is een betere monitoring van verschillende aspecten van bodemkwaliteit en monitoring van de bedreigingen van belang.

4 Sluiten van mineralenkringlopen

Efficiënt beheer en recycling van nutriënten van belang voor de circulaire economie

Nutriënten zoals fosfaat, kalium en zwavel zijn essentieel voor plantaardige en dierlijke productie en ook voor de mens. In totaal gaat het om 15 tot 18 verschillende elementen: zes macro-elementen (N, P, K, C, S, Mg, Ca) en de rest micro-elementen. Anders dan bijvoorbeeld land en water, zitten de nutriënten in de producten die door de voedselketen gaan en uiteindelijk op het bord komen. Er zijn in principe twee grote mineralensystemen in Nederland te onderscheiden: die van het Nederlandse landbouwsysteem en die van het voedselsysteem, inclusief de voedselverwerkende industrie (figuur 4.1).

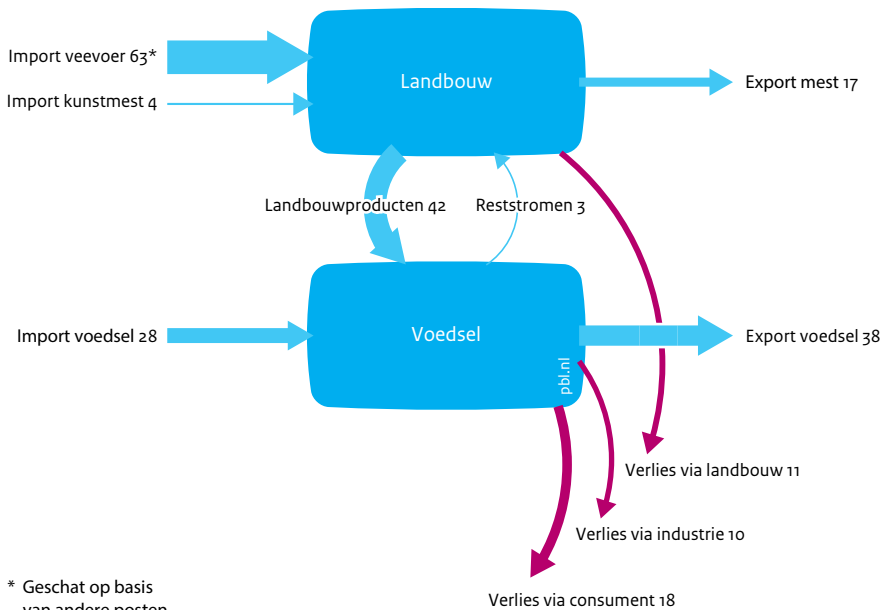
De mineralenstromen die het Nederlandse landbouwsysteem ingaan zijn gekoppeld aan kunstmest, toevoeging van mineralen aan veevoer (fosfor, koper, zink, selenium), geïmporteerd veevoer en rest- en retourstromen uit het Nederlandse voedselsysteem. Stromen die het landbouwsysteem uitgaan zijn land- en tuinbouwproducten, zoals melk, dieren en plantaardige producten zoals granen en aardappels.

Er zijn grote mineralenstromen binnen het Nederlandse landbouwsysteem: binnen bedrijven (via teelt van gras en maïs, gebruik als veevoer, hergebruik via mest) en ook tussen bedrijven, zoals in de teelt van veevoer door akkerbouwbedrijven en het gebruik van dierlijke mest in de akker- en tuinbouw. Een aanzienlijk deel van de Nederlandse landbouwproductie wordt geëxporteerd en daarmee de daarin opgenomen mineralen.

Het gebruik van stikstof en fosfaat in het landbouwsysteem wordt in Nederland gereguleerd middels de Meststoffenwet. Deze wet heeft als primair doel het verminderen van de milieubelasting, en niet primair het sluiten van mineralenkringlopen. Door deze wet, in combinatie met de melkquotering en een toenemend bewustzijn bij agrariërs, zijn de overschotten (verschil tussen aanvoer en afvoer naar landbouwgrond) sterk gedaald: tussen 1986 en 2013 is het stikstofoverschot verminderd met 62 procent en dat van fosfaat met 88 procent (CBS et al. 2014a). Door het jarenlange overschot is wel een aanzienlijk deel van de Nederlandse bodems fosfaatverzadigd en bevat een deel van de bodems ook relatief veel zink en koper. De verlaging van het mineralenoverschot is vooral bereikt door vermindering van mineralentoevoer via veevoer, vermindering van de kunstmestgift en een betere spreiding van mest over Nederland. Er is echter nog steeds sprake van een overschot. Daarnaast wordt een deel

Figuur 4.1
Fosforstromen in voedselsysteem (2005) en landbouwsysteem (2013)

Eenheid in miljoen kg fosfor



* Geschat op basis van andere posten

Bron: PBL

In het landbouw- en voedselsysteem gaat een aanzienlijk deel van het fosfor verloren.

van de pluimveemest verbrand, waarbij de stikstof verloren gaat en de overige elementen in de as achterblijven. Deze as wordt geëxporteerd als bodemverbeteraar.

Het Nederlandse voedselsysteem is hier breed gedefinieerd; het omvat onder andere de voedselverwerkende industrie en ook de stromen naar en van de consument. De stromen die het Nederlandse voedselsysteem ingaan zijn de in Nederland geproduceerde landbouwproducten als ook de in het buitenland geproduceerde producten. Deze laatste categorie bestaat deels uit producten bestemd voor de directe menselijke consumptie, en deels uit basisproducten die nog in Nederland worden bewerkt. Het (voor mineralen) belangrijkste basisproduct is soja, waarvan na persing de sojaolie als voedsel of grondstof wordt gebruikt en het sojameel als veevoer wordt afgezet. Daarnaast importeert Nederland ook een behoorlijke hoeveelheid sojameel.

Aanzienlijke mineralenstromen komen uit de Nederlandse landbouw, maar komen noch op het bord terecht, noch gaan ze terug naar de landbouw. Dat geldt bijvoorbeeld voor een deel van de mineralen in het slachtafval en beenderen. Ook komt vanuit de

voedselverwerkende industrie een deel van de mineralen in het rioolslib terecht (Smit et al. 2010). Van de mineralen die naar de huishoudens gaan, komt naar schatting twee derde via uitwerpselen in het riool terecht (ruim 12 miljoen kilo fosfor), de rest komt (bijvoorbeeld als schillen of verspild voedsel) in het afval terecht. Hiervan wordt een deel verbrand, en een deel komt via compost (GFT-afval) terug naar landbouwgronden (Smit et al. 2010).

Het landbouw- en het voedselsysteem zijn nauw met elkaar verbonden: een deel van de mineralen uit de Nederlandse landbouw komt terecht op het bord van de consument. Ook worden Nederlandse landbouwproducten verwerkt, waarbij allerlei retourstromen ontstaan zoals bierborstel uit gerst, schuimaarde bij suikerbieten en weipoeder uit zuivel. Ook geïmporteerde landbouwproducten worden in Nederland verwerkt (zoals gerst en de eerder genoemde soja), waarbij de bijproducten naar de Nederlandse landbouw gaan.

Voor de continuïteit van de voedselproductie in een circulaire economie is een efficiënt beheer van nutriënten om twee redenen essentieel. Ten eerste omdat van een aantal elementen (fosfaat, kalium) makkelijk winbare voorraden schaars zijn: er zijn sterk uiteenlopende schattingen van de wereldwijde beschikbaarheid, in de orde van dat er voor honderden jaren genoeg is, maar ook voor duizenden jaren. Bovendien zijn deze mijnbare voorraden in een beperkt aantal landen geconcentreerd (Marokko / Westelijke Sahara en China), hetgeen geopolitieke risico's geeft. Het element stikstof is een uitzondering: stikstofgas (uit de lucht) wordt met behulp van energie – meestal aardgas – gebonden en omgezet naar ammoniak of nitraat. Wereldwijd vergt dit ruim 1 procent van de inzet van fossiele brandstoffen. Ten tweede is het sluiten van mineralenkringlopen belangrijk omdat mineralen verliezen uit het landbouw- en voedselsysteem (bijvoorbeeld in de vorm van ammoniak, nitraat, fosfaat) tot diverse milieuproblemen leiden.

Bijna alle beleidsactiviteiten zijn gericht op fosfaat

Een belangrijk beleidsspoor voor het landbouwsysteem vormt dus het mestbeleid. Dit beleid is niet direct gericht op vergroting van de mineralenefficiëntie, maar meer op het verminderen van de bodembelasting, de waterverontreiniging en de luchtverontreiniging.

Naast het mestbeleid zijn er initiatieven (met name het Ketenakkoord Fosfaatkringloop) om efficiënter met fosfaatstromen om te gaan. Dit is vooral van belang voor het voedselsysteem. Aangrijpingspunten zijn onder andere terugwinning van fosfaat uit zuiveringsslib, en gebruik van secundair fosfaat als bron voor meststoffen en veevoer. Bijna alle activiteiten lijken op fosfaat gericht, terwijl andere nutriënten (kalium, sporenelementen) ook van belang zijn voor een efficiënter nutriëntenbeheer. Net als het mestbeleid kent dit andere beleid dus vooral doelstellingen en verplichtingen gericht op het verminderen van milieubelasting (bijvoorbeeld via instrumenten als de Nitraatrichtlijn, KRW, NEC-doelstelling, VHR-beleid (PAS)). Dit beleid is onder andere

via de meststoffenwet geïmplementeerd, en heeft veel bijgedragen aan een efficiënter beheer van mineralen (CBS et al. 2014b).

Meer inzicht in de mineraalstromen, belemmeringen en innovaties is nodig om recycling van mineralen te bevorderen. Zo dateert het meest recente integrale overzicht over mineralenstromen in het Nederlandse voedselsysteem uit 2008 (Smit et al. 2010). Eén van de belemmeringen voor het hergebruik van mineralen zijn de risico's voor verontreinigingen van rioolslib met zware metalen, medicijn- en antibioticaresten en pathogenen (Buckwell & Nadeu 2016). Er is meer onderzoek nodig naar de eisen die aan terugwinregimes moeten worden gesteld. Ook moeten mogelijke wettelijke belemmeringen beter in beeld worden gebracht.

5 Voedselverspilling voorkomen

Geschat wordt dat wereldwijd een derde van het voedsel verloren gaat. Wanneer er minder voedsel wordt verspild, hoeft er minder te worden verbouwd en geproduceerd, en heeft de agrofoodsector minder grondstoffen nodig. In 2013 bedroeg de voedselverspilling tussen 1,8 en 2,7 miljoen ton (Bos-Brouwers et al. 2015). Omgerekend is dat tussen de 109 en 162 kilo per persoon. Het algemene beeld is dat er over de jaren 2009 tot en met 2013 niet veel is veranderd in de totale hoeveelheid verspild voedsel. Ongeveer de helft van alle verspilling gebeurt bij mensen thuis: de gemiddelde Nederlander gooit jaarlijks zo'n 50 kilo goed voedsel weg. Verspilling van voedsel is ook verspilling van geld; jaarlijks wordt er in Nederland voedsel ter waarde van 4,4 miljard euro weggegooid (Wageningen UR 2016). De doelstelling van een circulaire economie om grondstoffen optimaal te gebruiken kan een hernieuwde impuls geven aan het voorkomen en terugdringen van voedselverspilling.

Gedragsverandering van de consument

Bijna alle Nederlanders willen voedselverspilling verminderen en vinden dat minder voedselverspilling het voedselsysteem duurzamer maakt (Rood et al. 2014). Veel Nederlanders willen wel hun voedselverspilling verder terugdringen, maar vinden het lastig om dat ook daadwerkelijk te doen. Bijvoorbeeld doordat ze het moeilijk vinden om de goede hoeveelheden te kopen en te koken, of ze weten niet hoe ze met restjes een maaltijd moeten maken. Bovendien gooien ze producten weg waarvan ze niet goed kunnen beoordelen of deze nog goed zijn. De bij wet verplichte houdbaarheidsdatum kan op deze manier aanleiding geven tot voedselverspilling (Rood et al. 2014). Veel Nederlanders verwachten dat door bewustwording minder voedsel zal worden weggegooid. Het bevorderen van gedragsverandering kan ook door het voordeel voor de eigen portemonnee te benadrukken en er kan een appel worden gedaan op de moraal. Het argument 'voedsel verspillen doe je niet, dat hoort niet', wordt in een enquête namelijk vaak genoemd, ongeacht leeftijd, inkomen, opleidingsniveau of levensopvatting (Rood et al. 2014).

Andere economische waardering en meer transparantie

Naast de voedselverspilling bij de consument ontstaan er ook voedselverliezen en reststromen bij de verwerking en handel van voedsel. Een optimaal gebruik van deze verliezen of reststromen minimaliseert het economisch en milieuverlies. Voorbeelden van vuistregels voor optimaal gebruik zijn de Ladder van Moerman of de Piramide van Waarde (zie figuur 7.1 in hoofdstuk 7). Volgens de Ladder van Moerman heeft een

alternatief gebruik voor menselijke consumptie de grootste waarde in energetisch en economisch opzicht. Daarna volgt gebruik voor veevoer, en verbranden staat onderaan. Toch wordt zo'n 40 procent van de voedselverliezen nog verbrand, terwijl niet eens een kwart wordt gebruikt als veevoer. Het aandeel reststromen dat door voedselbanken (dus door mensen) wordt gebruikt, is minder dan één procent. Optimaler gebruik van deze reststromen geeft dus nieuwe kansen om verliezen terug te dringen.

Sinds 2009 wordt door het ministerie van EZ (LNV) beleid gevoerd met de ambitie om 20 procent minder voedselverspilling in 2015 te halen (Landbouw Visserij en Natuur 2009). Diverse initiatieven zijn samen met het bedrijfsleven gestart, maar de data over voedselverspilling laten nog geen daling zien (Bos-Brouwers et al. 2015). Voedselverspilling blijkt een hardnekkig probleem.

Momenteel is er een globaal beeld van de verliezen in het voedselsysteem, maar ontbreekt veelal specifieke bedrijfsinformatie (Bos-Brouwers et al. 2015). Om een goed beeld van de voedselverliezen te krijgen zijn meer data van bedrijven nodig. Investeren in kennis en transparantie door bedrijven geeft meer zicht op de verliezen en reststromen, waardoor er kansen worden gecreëerd voor optimaal gebruik. Daarnaast kunnen innovaties die voedselverliezen beperken worden gestimuleerd. De samenwerkingen in het Rijksbrede programma Circulaire Economie geven nieuwe mogelijkheden om voedselverliezen te agenderen op andere beleidsterreinen, zoals die voor biomassa, innovatie en topsectoren.

6 Bewerking van voedsel levert reststromen op

Nederlanders zijn steeds meer en steeds vaker sterk bewerkt voedsel gaan eten. Uit cijfers van Euromonitor International blijkt dat in West-Europa het aantal verkochte kilogrammen per hoofd van de bevolking onbewerkt voedsel sinds 1999 is gedaald en dat daar tegenover de verkoop van sterk bewerkt voedsel is gestegen, in de vorm van koekjes, snackrepen, kant-en-klaarmaaltijden en frisdranken (Euromonitor International 2012). Deze stijging valt samen met de stijging van het aantal mensen met obesitas (Monteiro 2013). Het eten van sterk bewerkt voedsel is niet goed voor de gezondheid, concludeert de Gezondheidsraad in de nieuwe Richtlijnen voor goede voeding (Gezondheidsraad 2015).

De NOVA-classificering van de Amerikaanse WHO deelt voedsel in naar het aantal en type bewerkingsstappen dat het heeft ondergaan (PAHO 2015). De eerste drie categorieën voedsel kunnen door mensen thuis gebruikt worden om zelf voedsel te bereiden (tabel 6.1). Bij sterk bewerkt voedsel is dit niet nodig: dit voedsel heeft in de industrie bewerkings- en bereidingsstappen ondergaan die ervoor zorgen dat iemand het direct kan opeten of –drinken of een ‘minimale culinaire handeling’ hoeft te verrichten, zoals het aanzetten van de magnetron.

De industriële bewerking van voedsel zorgt voor reststromen. Deze reststromen ontstaan zowel bij de productie als na gebruik in de vorm van verpakkingsmateriaal. Tussen bijvoorbeeld het eten van een appel en het drinken van een glas appelsap uit concentraat zitten stromen van appelschillen, energie en verpakkingsmaterialen. Bij het bewerken van melk naar kaas ontstaat eiwitrijke wei, dat als veevoer wordt ingezet. Bij de productie van bier ontstaat bierbostel. Het resultaat van het bewerken van voedsel is een reststroom met waardevolle eiwitten, mineralen en vitamines die bijvoorbeeld als diervoer wordt ingezet. Het gaat hierbij niet om kleine stromen, zoals blijkt uit productiecijfers van wei en kaas (FAOSTAT 2010). Kant-en-klaarmaaltijden zijn nog vele malen ingewikkelder om te produceren dan appelsap of kaas. In het streven naar een circulaire economie is het laten ontstaan van afval- en reststromen niet gewenst, indien deze stromen hoogwaardiger geconsumeerd of gebruikt hadden kunnen worden. De onderstaande figuur geeft een overzicht van de mogelijke bewerkingsstappen en de reststromen die daarbij ontstaan (figuur 6.1).

Tabel 6.1

NOVA-classificering van voedsel

Type voedsel	Voorbeelden
Onbewerkt of minimaal bewerkt voedsel	Vers, gedroogd of diepgevroren fruit, groenten, granen, vlees, vis, eieren, melk
Bewerkte basisingrediënten	Oliën en vetten, zout, suiker
Bewerkt voedsel	Brood, kaas, vleeswaren, groenten, vlees en vis in blik of pot
Sterk bewerkt voedsel	Chips, zoutjes, snacks, ijs, chocolade, snoep, afbakbrood, gezoete ontbijtgranen, energierepen, margarine, frisdrank, gezoete zuivelranken, babyvoeding, diepvriesmaaltijden, magnetronmaaltijden, fast food.

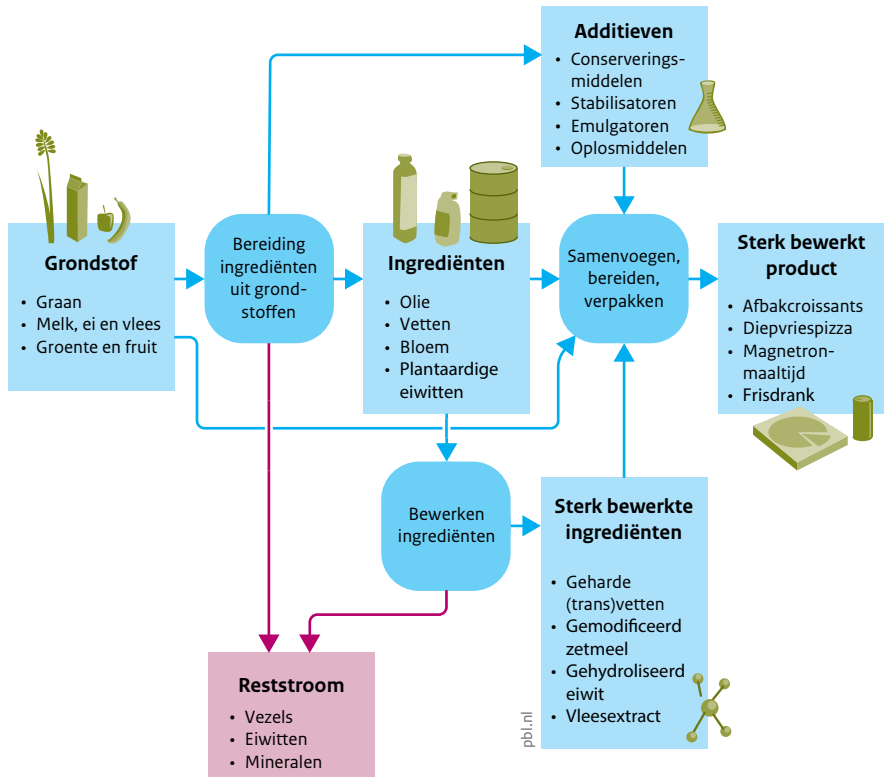
Bron: PAHO, bewerking PBL, 2015

Het product dat ontstaat door de bewerkingstappen is veelal minder gezond (valt buiten 'de Schijf van Vijf') dan het onbewerkte product. Waardevolle nutriënten, zoals eiwitten, vezels en micronutriënten, verdwijnen naar veevoer, terwijl vet en suikers overblijven. Dit is een van de oorzaken van het gebrek aan stikstofefficiëntie over de gehele keten; het verlies aan stikstof van productie tot consumptie bedraagt binnen de Europese Unie 87 procent (Westhoek et al. 2015).

Het ombuigen van de trend om steeds vaker sterk bewerkt voedsel te gaan eten hoort bij het bevorderen van een circulair voedselsysteem. Ook een verschuiving in het dieet naar minder dierlijke en meer plantaardige eiwitten zou passen bij een circulair voedselsysteem omdat er minder grondstoffen nodig zijn (zie tekstkader).

Ook vanuit het perspectief van de volksgezondheid is het minder vaak eten van sterk bewerkt voedsel gewenst. Voedselbeleid raakt hier volksgezondheidsbeleid, zoals ook zichtbaar wordt in de SDG's 2 en 3: 'een einde aan honger, bereiken van voedselzekerheid en duurzame landbouw' en 'het zorgen voor gezonde leefstijl'. Hier ligt een kans om beleid voor de circulaire economie te combineren met volksgezondheidsbeleid.

Figuur 6.1
Reststromen door bewerking van voedsel



Bron: Monteiro 2013; bewerking PBL

Door grondstoffen sterk te bewerken, ontstaan reststromen met waardevolle stoffen en minder gezonde voedselproducten.

Veehouderij en circulaire economie

Een groot deel van de Nederlandse akkerbouwgewassen, zoals granen, snijmaïs en sojameel, wordt gebruikt als veevoer. Zo wordt in de Nederlandse veehouderij jaarlijks gemiddeld circa 8000 miljoen kilo granen gebruikt als veevoer; en ruim 2000 miljoen kilo sojameel (FAO 2016). Verder wordt ruim 10 procent van het Nederlandse landbouwareaal gebruikt voor de teelt van snijmaïs (CBS 2015). Het gebruik door de veehouderij is zo groot als een gevolg van enerzijds de sterk toegenomen vraag naar dierlijke producten, en anderzijds als het gevolg van lagere prijzen van akkerbouwproducten (vergeleken met 50 tot 100 jaar geleden). Deze prijsdaling is het gevolg van factoren als mechanisatie, gebruik van kunstmest, betere gewasbescherming en zaaizaadveredeling, waardoor de productiviteit van grond en arbeid sterk zijn toegenomen. Tegelijkertijd is de veehouderij (wederom vergeleken met 50 tot 100 jaar geleden) veel efficiënter geworden, waardoor de veevoerbehoefte per kilo product wel sterk is gedaald. Naast het gebruik van speciaal geteelde akkerbouwproducten, worden in de veehouderij ook nog steeds veel bijproducten gebruikt, zoals 'schilfers en schroten', bietenperspulp en citruspulp. Een deel van deze bijproducten ontstaat juist bij het bewerken van basisvoedingsmiddelen tot 'sterk bewerkt' voedsel, zo ontstaat citruspulp dat bij de productie van sinaasappelsap. Eén van de belangrijkste 'schroten' is sojaschroot (of sojameel), dat ontstaat bij het persen van sojabonen. Aangezien het schroot circa 60 procent van de economische waarde van de sojaboon vertegenwoordigt (dus meer dan de olie), is dit schroot niet meer te beschouwen als een bijproduct van de olieproductie (PBL 2011). Dit is anders bij bijvoorbeeld zonnebloemolie, waarvan de pitten meer olie bevatten en het meel minder eiwitrijk is.

In de Nederlandse melkveehouderij is gras overigens nog steeds het belangrijkste voedselproduct, al krijgen de koeien naast gras en snijmaïs ook aanzienlijke hoeveelheden krachtvoer en bijproducten.

Zoals bekend, treden er bij de omzetting van plantaardige producten in dierlijke producten grote verliezen op (in termen van energie en eiwitten). Afhankelijk van het product zijn 2 tot 15 kilo veevoer nodig voor de productie van 1 kilo vlees, kaas of eieren (PBL 2011). Dit betekent dat een vermindering van de consumptie van dierlijke eiwitten een bijdrage kan leveren aan het efficiënter omgaan met grondstoffen.

7 Optimaal gebruik maken van reststromen

Hoogwaardige inzet van reststromen

Van oudsher ontstonden bij de voedselproductie reststromen: bij de teelt van tarwe wordt naast graan ook stro geoogst, bij de productie van bier uit gerst wordt er ook bostel geproduceerd. Deze reststromen werden niet weggegooid, maar ingezet als diervoer, meststof of grondstof voor een ander product. Circulaire economie ‘avant la lettre’ dus. Ook vandaag de dag worden reststromen uit voedselproductie gebruikt. TNO schat de huidige economische waarde van de 34 belangrijkste reststromen op 3,5 miljard euro (Bastein et al. 2013). Er zijn initiatieven om optimaler gebruik te maken van reststromen, wat goed past in een circulaire economie. Een recente bijeenkomst van MVO Nederland onder de titel ‘Hoe maak je winst met reststromen?’ laat zien dat het onderwerp in de belangstelling staat (Agribusiness 2016). De vraag is of de traditionele verwerking van reststromen hoogwaardiger kan en welke barrières er zijn voor nieuwe, innovatieve manieren om reststromen te verwerken.

In de suiker- en aardappelketen wordt actief gezocht naar een zo hoogwaardig mogelijke inzet van reststromen (Baltussen et al. 2016). In de zuivel- en varkensvleessector worden co-producten en reststromen deels hoogwaardig benut als menselijk voedsel, en deels laagwaardig, waar mest wordt verbrand of vergist. Het sluiten van nutriëntkringlopen vormt voor deze twee sectoren een belangrijke opgave (Baltussen et al. 2016).

De huidige inzet van reststromen uit de Nederlandse voedselproductie verloopt voor een deel via cascadering zoals op grond van de Piramide van Waarde of de Ladder van Moerman is te verwachten (figuur 7.1). Soms worden reststromen laagwaardiger ingezet dan volgens de vuistregels de voorkeur heeft. Dit heeft verschillende oorzaken, zoals het ontbreken van infrastructuur, een te klein volume van de (rest)stroom, belemmerende regelgeving en conflicterende doelen tussen verschillende beleidsterreinen (trade-offs).

Uit onderzoek van TNO blijkt dat reststromen die nu als meststof gebruikt of verbrand worden, ingezet kunnen worden als grondstof voor bioraffinage of dat er biogas van kan

worden gemaakt in een verbeterd proces. Deze processen moeten zich over het algemeen nog technologisch en commercieel bewijzen. Uitzondering is de productie van biogas door vergisting, wat als bestaande techniek kan worden beschouwd (Bastein et al. 2013). Ook bij deze innovaties is het van belang om te blijven nadenken. Bijvoorbeeld als bij co-vergisting brandstoffen zoals mais worden toegevoegd. Mais is immers ook voedsel en kan dus ook worden gebruikt voor menselijke consumptie, wat in een circulaire economie de voorkeur zou hebben.

Circulaire economie is meer dan vergisten

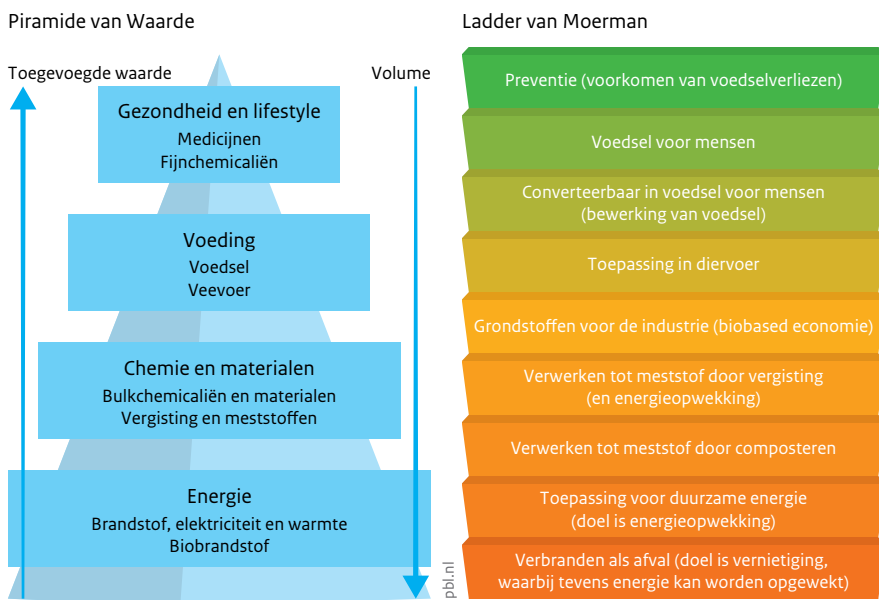
Een vaak genoemde optie voor de verwerking van biotische reststromen (biomassa) is vergisting, met als doel energie opwekking. Subsidies voor duurzame energie (SDE-subsidie) maken de productie van biogas economisch aantrekkelijk. Een andere optie is het bijstoken van biomassa, dat meetelt bij de berekening van het percentage hernieuwbare energie in Nederland. In 2020 moet dit aandeel, naar Europese afspraken, 14 procent bedragen. De SDE-subsidie en afspraken rondom biomassa vormen een prikkel om biomassa te vergisten of te verbranden voor energie – lage tredes op de Ladder van Moerman (figuur 7.1). Reststromen van biotisch materiaal kunnen vaak hoogwaardiger worden ingezet. Bij de productie van suiker en bier ontstaan bijvoorbeeld reststromen die kunnen dienen als diervoer. Hier lijkt een spanning op te treden tussen beleid voor duurzame energie aan de ene kant en beleid gericht op circulaire economie aan de andere. Een zorgvuldige afweging tussen verschillende doelen onderling en op de korte en lange termijn is belangrijk.

Iets vergelijkbaars speelt bij de CO₂-reductiedoelstellingen. Die kunnen op verschillende manieren worden bereikt, en niet iedere manier draagt echter bij aan een circulaire economie, zoals de regeling rondom biomassa laat zien. Daarbij ontstaan er snel *lock-ins*: een vergister of vuilverbrander die eenmaal is gebouwd, moet draaien. Ook in het MVO-beleid kan sprake zijn van conflicterende doelstellingen, zoals tussen het streven naar een klimaatneutraal bedrijf enerzijds en een circulaire economie anderzijds.

Vuistregels voor cascadering

In een circulaire economie wordt gestreefd naar het hergebruik van alle reststromen. Hierdoor ontstaat er bijna geen afval meer. Voor hernieuwbare grondstoffen (biomassa, voedselverliezen) zijn verschillende denkkaders ontwikkeld om te bepalen wat de beste of meest hoogwaardige inzet van een stroom is. Twee bekende denkkaders die veel gebruikt worden zijn de reeds genoemde Ladder van Moerman en de Piramide van Waarde (figuur 7.1). De Ladder van Moerman wordt gebruikt in het beleid rondom het tegengaan van voedselverspilling. De Piramide van Waarde beschrijft de economisch meest hoogwaardige toepassing en is het denkkader dat is gebruikt in de Nota 'Meer waarde uit biomassa door cascadering' (Economische Zaken 2014). Beide kaders kunnen dienen als vuistregel om te bepalen of een proces, businesscase of praktijkvoorbeeld

Figuur 7.1
Vuistregels voor hoogwaardig hergebruik



Bron: PBL

De Piramide van Waarde en Ladder van Moerman zijn bruikbare vuistregels bij het nemen van beslissingen over de hoogwaardige toepassing van reststromen

voldoet aan de doelen van een circulaire economie. Dit laat ruimte voor maatwerk en de mogelijkheid om af te wijken van de vuistregel in geval van *trade-offs* of *co-benefits*.

De denkkaders of vuistregels geven praktische invulling aan wat het betekent om biotisch materiaal te cascaderen. Met elk stapje lager op de ladder of piramide wordt het gebruik van de grondstof of reststroom iets laagwaardiger. In beide denkkaders wordt een belangrijk verschil met technische materialen zichtbaar: biotisch materiaal is maar beperkt te recycleren of opnieuw te gebruiken (zie ook figuur 1.1). Consumptie van het product is het einde van de stroom als zodanig, daarna is er sprake van mest.

De denkkaders komen in grote lijnen overeen: het gebruik voor menselijke voeding heeft altijd de voorkeur, daarna komt diervoer, daarna inzet als grondstof voor de *biobased economy* en uiteindelijk kunnen stromen worden verwerkt tot meststof of verbrand met energieopwekking. Er zijn kleine verschillen, die vooral als aanvullend op elkaar kunnen worden beschouwd: de Piramide van Waarde plaatst medicijnen, kruiden en fijnchemicaliën hoger dan menselijke voeding. Dit komt doordat deze producten economisch meer waard zijn dan bijvoorbeeld graan of aardappels. Als hierbij bedacht

wordt dat het om kleine stromen gaat, is dit een aanvulling op het ‘voorkomen van voedselverliezen’ van de Ladder van Moerman.

Het gebruik van de denkkaders is eenvoudig: het zijn vuistregels die beleidsmakers en bedrijven helpen om de inzet van reststromen te beoordelen en te prioriteren. Het venijn zit hem echter in de details van een productieproces en de milieueffecten die daar aan verbonden zijn, alsmede in eventuele *lock-in*-effecten van eerdere investeringen. Beleid dat zich richt op het bevorderen van een circulaire economie doet er daarom verstandig aan om ruimte voor maatwerk en flexibiliteit in te bouwen. De vuistregels kunnen het uitgangspunt zijn, en er kan ruimte worden geboden om – onderbouwd – af te wijken. Instrumenten waarmee men kan onderbouwen waarom het afwijken van de vuistregel in een specifiek geval beter is, zijn daarom nodig. Deze instrumenten zijn in ontwikkeling (Brein 2015; Vellinga et al. 2016).

Onderzoeken waar en wanneer welke effecten optreden én of deze effecten gunstiger zijn dan de oude situatie is noodzakelijk. Het inzetten van een productstroom op een hogere trede kan leiden tot *trade-offs*. Een voorbeeld komt naar voren in de Green Deal Insecten voor Food, Feed en Farma. In deze Green Deal worden insecten ingezet als alternatieve eiwitbron voor vlees of diervoer. Door insecten te kweken in plaats van vlees te produceren willen de initiatiefnemers de volgende doelen bereiken: een reductie in broeikasgassen, afvalpreventie via de kweek op reststromen, duurzame teelt, laag waterverbruik, behoud van biodiversiteit bij vervanging van vismeel door insecten, ruimtewinst, en een hoog percentage eetbare biomassa van de insecten. Uit onderzoek van het PBL blijkt dat de milieuoordelen ten opzichte van het oorspronkelijke proces, namelijk vleesproductie, wisselend zijn (Ganzevles et al. 2016). Als larven worden ingezet als diervoer, dan is daarvoor minder land en meer energie nodig dan wanneer sojameel wordt gebruikt. Voor meelwormen als consumptie-eiwit blijkt het vooral uit te maken met welk dierlijk eiwitproduct wordt vergeleken: ten opzichte van rundvlees (dierlijk eiwit met de hoogste milieubelasting) pakken meelwormen gunstiger uit voor broeikasgasemissies, energieverbruik en landgebruik, maar voor kippenvlees en melk is het verschil klein.

Voor een beoordeling is dus een duidelijke referentiesituatie nodig. Het roept de vraag op of de inzet van meelwormen op de hoogste trede van menselijke consumptie optimaal is. Inzet op de lagere trede, zoals larven als diervoer, lijkt vaak gunstiger mits de energie die wordt verbruikt duurzaam kan worden opgewekt. De boodschap uit deze twee voorbeelden van meelwormen en larven is om te blijven nadenken en na te gaan of er ten opzichte van de uitgangssituatie daadwerkelijk milieuwinst wordt geboekt.

De conclusie uit de voorbeelden in dit hoofdstuk is dat het hoogwaardig inzetten van reststromen verschillende barrières kan hebben. De oorzaken zijn divers: er zijn veel stromen en veel verschillende productieprocessen. Dit maakt dat een goede analyse van de inzet van reststromen met het oog op hoogwaardige inzet, meervoudige verwaardiging en afstemming tussen beleidsterreinen nodig is. Beleid kan hierbij zorgen voor de juiste prikkels en gewenste toepassingen stimuleren.

Referenties

- Agribusiness, M. N. F. (2016). 'Agrifood Community Futureproof.' Retrieved 13-05-2016, from <http://agrifood.futureproof.community/>.
- Baltussen, W. H. M., M. A. Dolman, et al. (2016). Grondstofefficiëntie in de zuivel- en varkensvlees-, aardappel- en suikerketen, LEI Wageningen.
- Bastein, T., E. Roelofs, et al. (2013). Kansen voor de circulaire economie in Nederland, TNO.
- Bos-Brouwers, H., H. Soethoudt, et al. (2015). Monitor voedselverspilling - update monitor voedselverspilling 2009-2013 & Mogelijkheden tot (zelf)monitoring van voedselverspilling door de keten heen. Wageningen, Wageningen UR Food & Biobased Research.
- Brein, H. G. (2015). 'Kenniskaart Circulaire Economie.'
- Buckwell, A. and E. Nadeu (2016). Nutrient Recovery and Reuse (NRR) in European agriculture. A review of the issues, opportunities and actions. Brussel, RISE Foundation.
- Buggenhout, E. v., A. Vuylsteke, et al. (2016). Back to basics? Circulaire economie en landbouw. a. M. e. S. Departement Landbouw en Visserij. Brussel.
- CBS (2012). Statline. C. B. v. d. Statistiek. Den Haag.
- CBS (2013). Statline, Zware metalen op landbouwgrond, 1980-2009. Den Haag, Centraal Bureau voor de Statistiek.
- CBS (2015). Landbouw; gewassen, dieren en grondgebruik naar regio. CBS. The Hague/Heerlen.
- CBS, PBL, et al. (2013, 18-12-2013). 'Jaarlijkse ophoping van zware metalen in de bodem.' Retrieved 6-6-2016, 2016, from <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nlo265-Jaarlijkse-ophoping-van-zware-metalen-in-de-bodem.html?i=11-14>.
- CBS, PBL, et al. (2014a, 22-9-2014). 'Stikstof- en fosfaatbalans voor landbouwgrond, 1980-2013.' Retrieved 6-6-2016, 2016.
- CBS, PBL, et al. (2014b, 25-11-2014). 'Stikstofbalans van bodem en grondwater, 1986-2013.'
- Christensen, T. B. and H. Hauggaard-Nielsen (2015). Circular Economy: a review of the theory and examples on emerging practices. Global Cleaner Production and Sustainable Consumption Conference. Sitges, Spain.
- Economische Zaken (2015). Informatieverzoek rapporteur inzake EU-voorstel: mededeling "naar een circulaire economie: een afvalvrij programma voor Europa" COM (2014) 398. D. B. I. Economische Zaken. Den Haag.

- Economische Zaken, D. B. I. (2014). Kamerbrief 'Meer waarde uit biomassa voor cascadering'. E. Zaken. Den Haag.
- EMF, SUN, et al. (2015). Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe, Ellen MacArthur Foundation.
- Euromonitor International (2012). Annual per capita retail sales of foods and food products in West Europe (1998-2012). E. International. London, UK.
- Europese Commissie (2006). Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - Thematic Strategy for Soil Protection. E. Commissie. Brussel. [SEC(2006)620] [SEC(2006)1165].
- Europese Commissie (2015). Pakket circulaire economie: vraag & antwoord.
- FAO (2016). FAOstat Food balance sheets, FAO.
- FAOSTAT (2010). Food Balance Sheets Netherlands.
- Ganzevles, J., J. Potting, et al. (2016). Evaluatie Green Deals Circulaire Economie. Meer sturen op groen mogelijk. Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving.
- Gezondheidsraad (2015). Richtlijn goede voeding 2015. Den Haag, Gezondheidsraad.
- Hees, E. M., A. A. C. Otto, et al. (2009). Van top-down naar bodem-up, review van kringlooplandbouw in de melkveehouderij. Culemborg, CLM.
- Innovation Expo (2016). Innovation expo 2016 Sustainable Urban Delta. Amsterdam.
- Kwant, K., A. Hamer, et al. (2016). Monitoring Biobased Economy in Nederland 2015. R. v. O. Nederland. Den Haag.
- Landbouw Visserij en Natuur, D. V. e. D. (2009). Nota Duurzaam Voedsel. V. e. N. Landbouw. Den Haag.
- Monteiro, C. A. (2013). Specific policies to tackle diet-related NCD in Europe. WHO European Ministerial Conference on Nutrition and Noncommunicable Diseases in the context of Health 2020, Vienna, Austria.
- Oorschot, M. v., C. Wentink, et al. (2016). Wat kan duurzame handel bijdragen aan het behoud van natuurlijk kapitaal? Effecten van het certificeren van tropische grondstofproductie op ecosysteemdiensten. Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving.
- PAHO (2015). Ultra-processed food and drink products in Latin America: trends, impact on obesity and policy implications. Washington, DC, Pan American Health Organisation.
- Pauli, G. (2014). Blauwe economie, 10 jaar 100 innovaties 100 miljoen banen. Amsterdam, Nieuw Amsterdam.
- PBL (2010). Op weg naar een duurzame veehouderij, ontwikkelingen tussen 2000 en 2010. Den Haag/Bilthoven, Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL (2011). The protein puzzle. The consumption and production of meat, dairy and fish in the European Union. W. Henk, T. Rood, M. v.d. Berg et al. Den Haag, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
- PBL (2013a). De macht van het menu. Opgaven en kansen voor duurzaam en gezond voedsel. Bilthoven/Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL (2013b). Vergroenen en verdienen. Op zoek naar kansen voor de Nederlandse economie. Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving.

- PBL (2016). *Natuurlijk Kapitaal: naar waarde geschat*. Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving.
- Potting, J., M. Hekkert, et al. (2016 te verschijnen). *Circulaire economie meten in de keten*. Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving.
- Rabobank (2014). *De chemie in Nederland, een voorwaardelijke toekomst*.
- Reijneveld, J. A., J. v. Wensem, et al. (2009). 'Soil organic carbon contents of agricultural land in the Netherlands between 1984 and 2004.' *Geoderma* 152(3-4): 231-238.
- Renaud, L. V., L. T. C. Bonten, et al. (2015). *Berekening van uit- en afspoeling van nutriënten- en zware metalen ten behoeve van de EmissieRegistratie 2013*. Wageningen, Alterra, Wageningen UR.
- Rli (2015). *Circulaire Economie, van wens naar uitvoering*. Den Haag, Raad voor de leefomgeving en infrastructuur.
- Rockström, J., W. Steffen, et al. (2009). 'A safe operating space for humanity.' *Nature* 461(24).
- Rood, T., M. v. Gelder, et al. (2014). *Nederlanders en duurzaam voedsel. Enquête over motieven voor verduurzaming van het voedselsysteem en consumptiegedrag*. Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving.
- Rood, T. and A. Hanemaaijer (2014). *Reflectie op programma Van Afval Naar Grondstof*. Bilthoven/Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving.
- Rood, T. and A. Hanemaaijer. (2016). 'Waarom een circulaire economie?' Retrieved 30-05-2016, 2016, from <http://themasites.pbl.nl/circulaire-economie/>.
- Smit, A. L., J. C. v. Middelkoop, et al. (2010). *A quantification of phosphorus flows in the Netherlands through agricultural production, industrial processing and households*. Wageningen, Wageningen UR.
- Smits, M. J. W., S. W. K. v. d. Burg, et al. (2013). *Circulaire economie en behoud van natuurlijk kapitaal*. Den Haag/Wageningen, LEI Wageningen UR.
- Smits, M. J. W. and V. G. M. Linderhof (2015). *Circulaire economie in de landbouw: een overzicht van concrete voorbeelden in Nederland*. Den Haag/Wageningen, LEI Wageningen UR.
- Steffen, W., K. Richardson, et al. (2015). 'Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet.' *Science* 347(6223).
- TCB (2016). *Advies Toestand en dynamiek organische stof in Nederlandse landbouwbodems. T. c. bodem*. Den Haag.
- Tweede Kamer der Statengeneraal (2015a). 'Kamerstuk 31 532 nr.148.' Den Haag.
- Tweede Kamer der Statengeneraal (2015b). 'Kamerstuk 31 532 nr. 156.'
- UNEP (2016). *Food systems and natural resources. A report of the Working Group on food systems of the International Resource Panel*. H. Westhoek, J. Ingram, S. Van Berkum, L. Özyay and M. Hajer. Nairobi and Paris, United Nations Environmental Programme
- Universiteitsmuseum Utrecht (2016). *Utrecht*.
- Vellinga, T., F. Leenstra, et al. (2016). *KringloopToets, handleiding 1.0*. Wageningen, Wageningen UR Livestock Research.
- VROM (1989). *Nationaal Milieubeleidsplan*. R. O. e. M. Volkshuisvesting. Den Haag, SDU Uitgeverij.

- Wageningen UR. (2016). 'Infographic Voedselverspilling op weg naar de helft minder.'
Retrieved 6-6-2016, 2016, from <http://www.wageningenur.nl/nl/infographic/voedselverspillinginfographic.htm>.
- Westhoek, H., J. P. Lesschen, et al. (2015). Nitrogen on the Table; the influence of food choices on nitrogen emissions and the European environment. Edingburgh, IK, Centre for Ecology & Hydrology.

Planbureau voor de Leefomgeving

Postadres
Postbus 30314
2500 GH Den Haag

Bezoekadres
Oranjevuitensingel 6
2511 VE Den Haag
T +31 (0)70 3288700

www.pbl.nl
[@leefomgeving](https://twitter.com/leefomgeving)

Juni 2016