

Transitie naar duurzaam gebruik van fosfor

Fosfor (P) is een essentieel nutriënt voor al het leven op aarde. Het is een schaarse grondstof en komt vooral via veevoer en kunstmest ons land binnen. Een deel wordt weer geëxporteerd in voedselproducten en een ander deel blijft achter in landbouwgronden. Een fors deel gaat echter verloren via oppervlaktewater, stort, cement, porselein, etc. Fosfor is niet vervangbaar, maar wel recyclebaar. Dit betekent dat er een transitie nodig is naar een duurzaam gebruik van deze kostbare grondstof. Dit vereist een mix aan veranderingen, samengevat met 'reduce, reuse, recycle' en 'redefine'.

Het beeld van fosfor in de samenleving

Fosfor (P) of fosfaat ($H_xPO_4^{3-x}$ en P_2O_5) heeft twee 'gezichten', namelijk dat van regionale overschotten en van mondiale schaarste. In Nederland en veel andere regio's in de wereld met agglomeraties van dieren en mensen kennen we fosfor van de mestoverschotten en eutrofiëring van het oppervlaktewater. Er wordt meer fosfor aangevoerd dan afgevoerd, waardoor het verkwistend wordt gebruikt, accumuleert in landbouwgronden, uitspoelt naar het oppervlaktewater of via afvalstromen wordt vastgelegd. In de afgelopen twee tot drie decennia is er in Nederland door regelgeving veel gebeurd om de belasting van het oppervlaktewater te verminderen. Fosforgebruik in wasmiddelen is verboden, gebruiksnormen voor de toediening van fosfor uit mest en kunstmest zijn fors aangescherpt, het kunstmestgebruik is drastisch verminderd, het fosforgehalte in veevoer is drastisch afgenomen en het afval- en rioolwater wordt gezuiverd. Maar er is ook nu nog een fors overschot; intensieve veehouderijbe-

drijven betalen veel geld om het teveel aan mest af te voeren en het oppervlaktewater bevat nog steeds te veel fosfor. Onlangs is het 'Convenant verlaging fosfaatproductie via rundveevoeders' getekend tussen veevoerindustrie en landbouworganisaties om het fosforgehalte in veevoer met nog eens 10 tot 20% te verminderen. En staatssecretaris Bleker heeft aangegeven dat de landbouwsector meer moet inzetten op mestverwerking en mestexport om de fosforbalans van Nederland meer sluitend te maken. In de EU wordt nu gesproken over het versoepelen van regelgeving omtrent het hergebruik van slachtafval als diervoer.

Dat andere 'gezicht' van fosfor, dat van mondiale schaarste, kennen we nog niet zo lang. Weliswaar is al decennia lang bekend dat de voorraden ruw fosfor beperkt zijn en in de handen van een heel beperkt aantal landen (met name Marokko en China), maar de media hebben daar weinig aandacht aan besteed. Totdat in 2008 door een samenloop van omstandigheden er tijdelijk schaarste op de grondstoffenmarkt ontstond en de prijzen van kunstmestfosfor met een factor 5 stegen. Inmiddels zijn de prijzen weer fors gedaald, maar algemeen wordt aangenomen dat prijzen voor fosfor in de nabije toekomst meer zullen schommelen en gemiddeld genomen zullen stijgen. Het beeld van fosfor als schaarse grondstof heeft ook bekendheid gekregen door het artikel over 'Peak Phosphorus' van Dana Cordell en anderen¹.

Tegelijkertijd is ook binnen de Europese Commissie de aandacht voor schaarse grondstoffen fors toegenomen. In de recente communicatie over 'A resource-efficient Europe – Flagship initiative under the Europe 2020 Strategy' maakt de Europese Commissie de noodzaak duidelijk van een duurzaam gebruik van grondstoffen en wordt er een

Kimo van Dijk en Oene Oenema
MSc. K. C. van Dijk (0317-485767, kimo.vandijk@wur.nl) is onderzoeker/PhD student en Prof. dr. ir. O. (Oene) Oenema (0317-486483, oene.oenema@wur.nl) is Professor in Nutrient Management and soil fertility, beiden aan de Wageningen UR.

raamwerk neergelegd om tot een grondstoffen-efficiënte-economie te komen. In reactie heeft het kabinet de zogenoemde 'Grondstoffennotitie' uitgebracht². Dit voorjaar is door het ministerie van EL&I de vraag neergelegd bij Wageningen UR om de opties voor het duurzaam gebruik van fosfor in Nederland en Europa te onderzoeken³. In dit artikel bespreken we onze resultaten voor Nederland.

Toenemende aandacht voor hergebruik

Eerder beschreef Helias Udo de Haes, gebaseerd op zijn beleidsnotitie⁴, in de 'Milieu Special' van november 2010 dat de wereld te kampen krijgt met fosfortekorten. In het tweede nummer van 2011 verkende Joost Lommen in zijn socio-technische analyse de mogelijkheden in de Nederlandse afvalwatersector om fosfor terug te winnen uit afvalwater. Ondertussen is de interesse in fosforzekerheid en hergebruik groeiende. In Nederland is het Nutriënten Platform (NP) opgericht, met als doel om de transitie naar duurzaam gebruik van nutriënten te bevorderen. In het kader van het ontwikkelen van een Grondstoffenrotonde is afgelopen oktober een Ketenakkoord Fosfaat⁵ getekend door de Nederlandse overheid (ministeries van I&M en EL&I), het NP en belangrijke ketenpartijen als Thermphos International, ICL Fertilizers Europe, LTO Nederland, VION Ingredients, Van Gansewinkel, Unie van Waterschappen, WASTE, Grondmij, Deltares

en Wageningen UR. Hierin is de gezamenlijk ambitie uitgesproken om binnen twee jaar een duurzame markt te creëren waarin zoveel mogelijk her te gebruiken fosfortromen op een milieuverantwoorde wijze in de kringloop worden teruggebracht. Deze oplossingsrichting van recycling betekent dat zo lang er sprake is van een fosforoverschot op de Nederlandse markt, het secundaire (gerecyclede) fosfor zoveel mogelijk geëxporteerd zal moeten worden om elders een bijdrage te leveren aan bodemverbetering en voedselproductie.

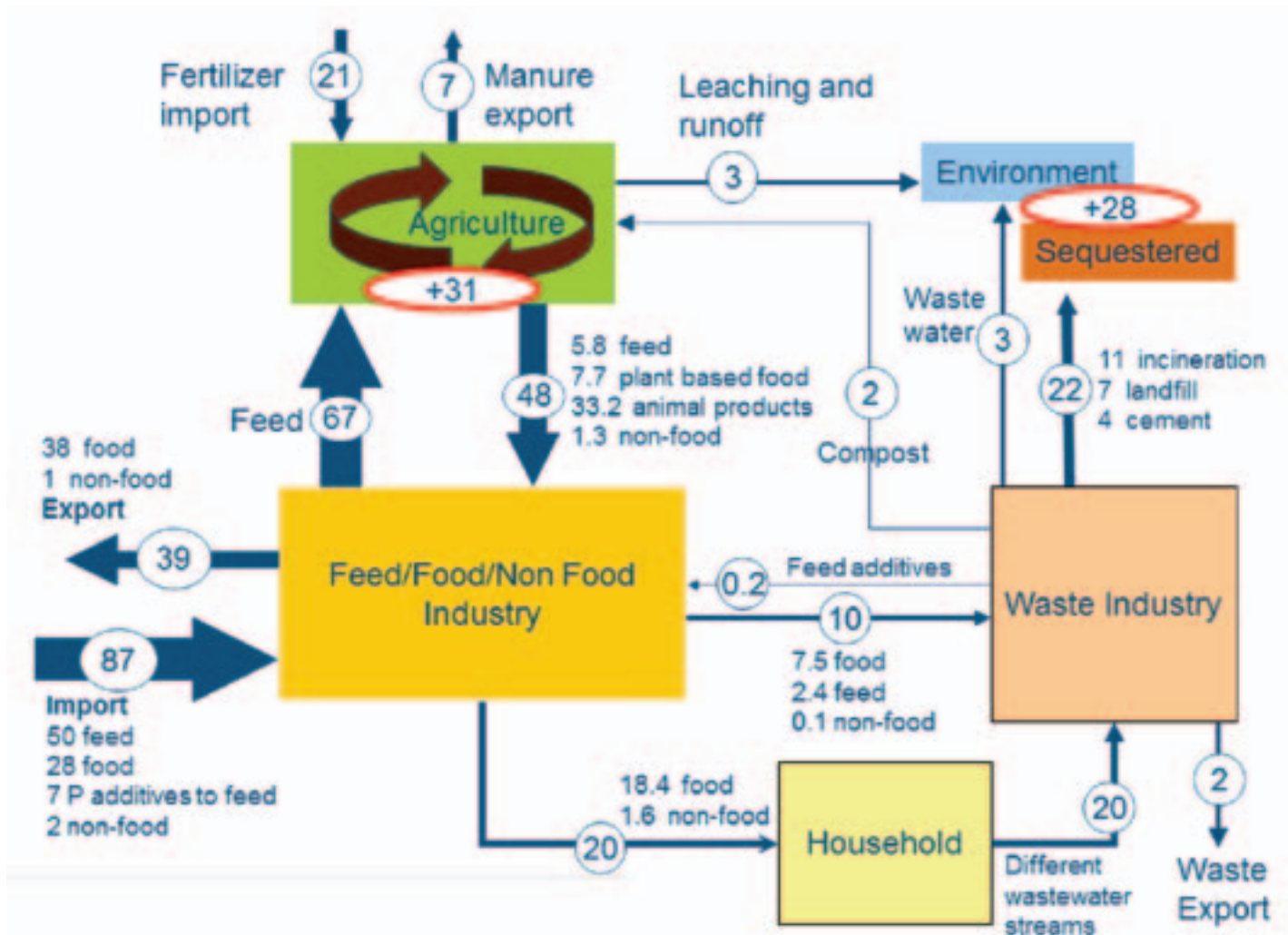
Wanneer primaire fosforbronnen precies opraken en of er een 'Peak Phosphorus' (zie: <http://phosphorusfutures.net/peak-phosphorus>) zal plaatsvinden staat ter discussie, de tijd zal het leren. Recent is door de International Fertilizer Development

Centre een rapport⁶ uitgebracht waarin de 'Peak Phosphorus' theorie wordt ontkracht en waarin op basis van in de literatuur vermelde fosforreserves het moment van opraken van de economische winbare voorraden op 300 jaar wordt geschat. In Europa zijn vrijwel geen voorkomens van fosfaaterts⁷; we zijn volkomen afhankelijk van importen uit vooral Marokko. Interessanter dan de vraag over het moment van opraken, is de vraag hoe we als Nederland en EU minder afhankelijk kunnen worden van fosforimporten voor onze voedselzekerheid. Een transitie naar hergebruik van fosfor is noodzakelijk, zowel vanuit het perspectief van grondstof als ook milieuvervuiling. Tegelijkertijd zijn er ook andere niet of traag hernieuwbare (micro) nutriënten die hiermee teruggewonnen zouden kunnen worden, zoals kalium, zink, koper, boor, mangaan en molybdeen.

Gebruiksefficiëntie, accumulatie en verliezen

Nederland heeft een exportgeoriënteerde economie met doorvoerhavens waar significante stromen aan goederen in- en uitgaan. De fosforhuishouding in Nederland in 2005 is weergegeven in figuur 1. Grote hoeveelheden werden geïmporteerd via veevoer (50 Gg fosfor, voornamelijk soja producten), kunstmest (21 Gg) en via fosfortoevoegingen aan veevoer (7 Gg). De dierlijke productie sector is groot, exporteert veel en drukt een duidelijke stempel op de fosforhuishouding.

De grote import en verliezen van fosfor zijn de oorzaak van de relatief lage gebruiksefficiëntie in de verschillende sectoren (zie tabel 1), ook al scoort Nederland in vergelijking tot veel andere industrielanden niet slecht.



Figuur 1. De fosfor (P) kringloop van Nederland in 2005 met een representatie van de belangrijkste stromen tussen verschillende sectoren (landbouw, voeder/voedsel/niet-voedsel industrie, huishoudens en afvalindustrie), accumulatie en vastlegging van P; uitgedrukt in Gg (= kton) P per jaar. Direct doorgevoerde producten zoals kunstmest stromen voor de export zijn niet meegenomen. Gebaseerd op referentie 8.

Sector	Effectieve P output [Gg P]	Total P input [Gg P]	PUE [%]
Landbouw sector	53,9	88,6	61
Akkerbouwland	14,8	24,3	61
Grasland/voedermis	39,1	64,3	61
Veehouderij sector	33,7	107,4	31
Grondgebonden	16,5	63	26
Intensief	17,2	44,4	39
Voedsel industrie	55,9	69,4	81
Veevoeder industrie	65,4	67,9	96
Niet-voedsel industrie	2,6	2,7	96
Afval sector	2	29,7	7

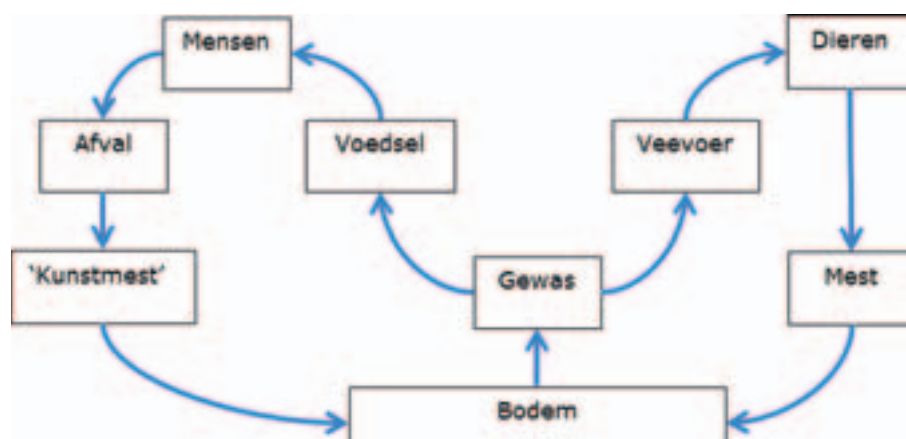
Tabel 1. Fosfor (P) gebruiksefficiënties (PUE) voor verschillende sectoren in de voedselproductie- en consumptieketen in 2005; inclusief importen en exporten. PUE is berekend als effectieve P output in bruikbare goederen [Gg P] gedeeld door de totale P input in de sector [Gg P]. Data gebaseerd op referentie 8.

Opvallend is de lage efficiëntie van de afvalsector (7%), waarbij hergebruik van fosfor als effectieve output wordt gezien.

In 2005 was er een nationaal overschot van 59 Gg fosfor. Bijna de helft accumuleerde in landbouwgronden (31 Gg), waarbij de vraag gesteld kan worden welk deel hiervan hergebruikt kan worden voor voedselproductie op de korte en lange termijn. Ruim 10% ging verloren naar het oppervlaktewater en sedimenten, door uit- en afspoeling uit de landbouw (3,3 Gg fosfor) en storten van effluent door afvalwaterzuiveringen (3,5 Gg). Nederland kent inmiddels een relatief hoog percentage fosforverzadigde bodems. De geaccumuleerde hoeveelheid fosfor in landbouwgronden in de 20ste eeuw wordt geschat op gemiddeld 2000-2500 kg fosfor per hectare. Bij een gemiddelde onttrekking door het gewas van 25 tot 40 kg fosfor per hectare per jaar, afhankelijk van het gewas, zou in theorie dus voor tientallen jaren aan voorraad beschikbaar zijn.

De resterende 40% van het fosforoverschot (22 Gg fosfor) raakte verloren door vastlegging via verschillende routes, waardoor hergebruik in de voedselproductie minimaal is. De huidige verwerkingsmethoden van afvalstromen zoals zuiveringsslib, slachtafval en in mindere mate organisch materiaal (voornamelijk keukenafval) leiden nochtans niet of nauwelijks tot hergebruik van het aanwezige fosfor, al

zijn er ideeën en initiatieven omdat nu wel te doen. In Nederland wordt sinds 1995 bij wet al het zuiveringsslib verbrand in mono-verbrandingsovens of energiecentrales. De fosfor in de verbrandingsassen (18 Gg fosfor) wordt niet hergebruikt maar komt terecht in asfalt, cement of wordt gestort (ook om land op te vullen). Na de BSE-crisis en de nieuw ontwikkelde regelgeving wordt nog maar een deel van het fosfor-rijke dierlijk slachtafval hergebruikt in de voedselketen. Het merendeel wordt verwerkt in niet voedselgerelateerde producten (onder meer porselein), waardoor in totaal circa 3 Gg verloren gaat. Daarenboven raakt naar schatting ~1 Gg verloren via niet ingezamelde en hergebruikte GFT-stromen. Aangenomen wordt



Figuur 2. Conceptuele representatie van 'circulair' gebruik van fosfor (P) in de menselijke voedselketen inclusief de productieketen van dierlijke voedsel (rechts); dwarsverbanden bestaan er van 'dieren' naar 'voedsel' en van 'voedsel' reststromen naar 'veevoer'. Ook kunnen de 'mest' en 'afval' stromen samen verwerkt worden tot meststoffen; 'afval' bestaat uit onder meer menselijke excreta en GFT.

dat de export van mest en afvalstromen (~10 Gg) leidt tot nuttig hergebruik elders, maar niet duidelijk is of dat ook werkelijk gebeurt.

Kansen voor vermindering en hergebruik

De uitdaging van het verminderen van fosforverliezen vereist een maatschappelijke transitie. Verbeteringen zijn te behalen aan zowel de productie- als consumptiezijde; in onze maatschappij, de voedselketen, verschillende sectoren, bij de boer en in het huishouden. Deze transitie bestaat uit het verhogen van de efficiëntie van fosforgebruik, door een mix aan veranderingen die kunnen worden samengevat met 'reduce, reuse, recycle' en 'redefine'.

Allereerst kan de gebruiksefficiëntie van fosfor per proces of sector en daarmee in de hele voedselketen en de maatschappij verhoogd worden. Verbeteringen kunnen behaald worden door een verhoging van de efficiëntie van fosforgebruik in de agrarisch sector (onder meer door hogere of gelijke opname door het gewas van fosfor uit de bodem, bij minder kunstmestgebruik), een reductie van het verlies van voedselproducten in de keten en het bevorderen van diëten met minder fosfor intensief voedsel (waaronder dierlijke producten).

Ten tweede kan het fosfor in mest en gewasresten effectiever benut worden, onder

andere door te bemesten conform het formele bemestingsadvies. Daarbij dient rekening te worden gehouden met de beschikbaarheid van bodemfosfaat, op basis van de meest recente inzichten⁹. Bij een teveel aan mest kan het fosfor via mestverwerking worden teruggewonnen¹⁰ en elders worden benut.

Ten derde kan fosfor in overige reststromen gerecycled worden door terugwinning en vervolgens hergebruik in de landbouw, of elders in de industrie. Het huidige 'lineaire' gebruik van fosfor zal in dat geval omgebogen moeten worden naar een 'circulair' gebruik (zie figuur 2). De primaire fosforbronnen die nu als input dienen kunnen vervangen worden door secundair fosfor, afkomstig van hergebruikte en gerecyclede bronnen.

Naar alternatieve systemen

Er kan ook voor gekozen worden om diëten door te lichten en te herdefiniëren, aan de hand van primaire menselijke behoeften. Dit kan nodig zijn bij de ontwikkeling naar een 'biobased economy', waarin veel grondstoffen niet langer gebaseerd zullen zijn op aardolie, maar op biomassa. In dat geval zal er meer biomassa moeten worden geproduceerd, waarvoor ook fosfor nodig is. De vraag naar fosfor zal hierdoor mogelijk toenemen, maar de biobased economy biedt tegelijker-

tijd mogelijkheden om fosfor vroegtijdig in de biomassa productie-verwerking-consumptieketen, door raffinage, af te scheiden en terug te voeren als meststof naar het land.

Een transitie van huidige naar alternatieve voedselsystemen kan bijdragen aan de effectiviteit van fosforgebruik en daarmee de efficiëntie (hogere effectieve output) van het systeem en haar componenten. Voorbeelden zijn te putten uit de 'natuurlijke voedselketen', waarin afval als voedsel dient voor andere organismen. Een gesloten en 100% efficiënte voedselsysteem is wellicht onmogelijk, maar het is een mooi doel om voor ogen te houden bij de transitie naar duurzaam gebruik van fosfor. Concrete opties zijn het ontwikkelen van meer regionale voedselsystemen en het direct gebruik van vrijkomende nutriëntenstromen uit bron-gescheiden sanitatie voor regionale voedselproductie. In een trend naar globalisatie en urbanisatie zullen de afstanden van nutriëntenstromen en lokale concentraties van mensen, dieren en nutriënten toenemen. Een belangrijke uitdaging zal zijn om vraag (platteland) en aanbod (steden) van nutriënten bij elkaar te brengen om hoogproductieve landbouw en een voedselketen met minimale verliezen mogelijk te maken.

Voorbeelden van recycling en hergebruik

Het verminderen van fosforverliezen kent verschillende oplossingen, barrières en haalbaarheden, welke in tabel 2 kort zijn samengevat. Afvalstoffen kunnen meestal niet zondermeer worden hergebruikt in de industrie of als meststof op het land, omdat er meestal ongewenste nevenbestanddelen inzitten (bijvoorbeeld zware metalen, organische microverontreinigingen, biociden, hormonen, antibiotica). Dierlijke mest, digestaat uit de vergister, compost en erkende kunstmesten mogen zondermeer op het land worden toegediend, maar afvalstoffen niet.

Recycling van fosfor en andere nutriënten uit afvalstromen kan op twee manieren. Enerzijds kan getracht worden om de oorspronkelijke stroom direct her te gebruiken waarbij stoffen die niet gewent zijn er uitgehaald worden, zoals zware metalen, ziektekiemen en organische microverontreinigingen. Anderzijds kan de stof die juist gewild is zoals fosfor eerst teruggewonnen worden, waarna de producten direct als meststof in de landbouw of als grondstof in de kunstmestindustrie bruikbaar zijn. Afhankelijk van de technieken die gebruikt worden, heeft het secundair fosfor verschillende kwaliteiten die geschikt zijn voor toepassingen van lage naar hoge puurheid: kunstmest, voederadditieven, voedsel

Fosfor verliezen	Grootte [Gg P]	Kansen	Haalbaarheid (H), termijn (T) en significantie (S)	Barrières
Zuiveringsslib	18	Decentraal terugwinnen; direct hergebruik	H = hoog T = korte - middellang S = hoog Teruggewinningspercentages van 70-95 % haalbaar	Zware metalen, sociale acceptatie, infrastructuur, kosten, NL en EU wetgeving
Uitspoeling en afspoeling bodems; niet-onderschept AWZI effluent	7	'End of pipe' terugwinnen; management van water, landschap en bodem	Haalbaar tot futuristisch; T = kort - lang S = laag	Terugwinnen diffuus fosfor bronnen is duur of onmogelijk
Dierlijk slachtafval	3	Hergebruik in veevoeder; terugwinnen uit verbrandingsassen	H = hoog T = korte - middellang S = hoog	BSE uitbraken, kannibalisme, traceerbaarheid, NL en EU wetgeving
Huisvuil en GFT	~1	Hergebruik in veevoeder of als bemester in de landbouw na composteren, vergisting of pyrolyse	H = hoog T = korte - middellang S = gemiddeld	Scheiding aan de bron met hoge kwaliteit, contaminaties
Niet-voedsel producten	< 1	Terugwinning uit verbrandingsassen, Cradle to Cradle ontwerp en recycling	H = hoog T = korte - middellang S = gemiddeld	Product ontwerp, fosfor waarde keten, samenwerking tussen actoren

Tabel 2. Kansen en barrières voor het recyclen en hergebruik van fosfor (P) verliezen in de Nederlandse maatschappij met bijbehorende haalbaarheid (H), termijn van implementatie (T) en significantie (S); grootheden van de stromen in Gg P welke gebaseerd zijn op referentie 8.

additieven en allerlei niet-voeding gerelateerde toepassingen.

Hergebruik van (micro)nutriënten uit menselijke excreta (urine en zwart water), slib en verbrandingsas is ook mogelijk. Tegelijkertijd moeten er nog wel oplossingen gevonden worden voor het probleem van contaminaties. Ook is de sociale (ethische) acceptatie laag en moeten aanbod en vraag dicht bij elkaar liggen om het economisch haalbaar te maken. Bron-gescheiden sanitatie kan grote voordelen bieden, maar is alleen realistisch in nieuwbouw infrastructuur.

Het terugwinnen van fosfor en andere nutriënten uit afvalwater, slib en verbrandingsassen kan ook door fosfor (en andere nutriënten) te scheiden van het afvalwater, slib en as, om vervolgens hergebruikt te worden als meststof of grondstof. Er zijn een aantal technieken beschikbaar en in ontwikkeling. In afvalwater kan fosfor neergeslagen worden als 'struviet' of hydroxyapatiet met toevoeging van magnesium of calcium zouten, respectievelijk. Slib (en afval) kan eerst verbrand worden waarna fosfor teruggewonnen kan worden uit de assen door een thermisch scheidingsproces, onder bepaalde voorwaarden en omstandigheden.

Mest, slib en ander organisch materiaal zoals GFT kan gecomposteerd worden. Verwerking via anaërobie vergisting (nattere fracties) of pyrolyse (drogere fracties) is ook mogelijk, waardoor een deel van de energie terug gewonnen kan worden (biogas). Door deze verwerking worden ongewenste nevenbestanddelen echter niet verwijderd. Slachtafval kan onder strikte voorwaarden hergebruikt worden in veevoer of de fosfor kan teruggewonnen worden via de thermische scheidingsroute.

Beperkingen

Technisch zijn er veel opties tot verbetering. Bij veel van de oplossingen is de economische haalbaarheid de grootste barrière om tot actie over te gaan. De economische voordelen en kosten hangen bijvoorbeeld sterk af van het type technologie, logistiek, energie- en materiaalbehoefte, de prijs van fossiele

energie en primaire fosfor bronnen, positieve neveneffecten, schaaffecten, milieubelasting en milieuvergunningen.

Belangrijk is ook dat veel van de genoemde opties grootschalige herinrichting van de ruimte en dus grote investeringen in tijd en geld betekenen. De investeringen voor een rioolstelsel zijn bijvoorbeeld gemaakt op een tijdschaal van decennia en worden op verschillende momenten afgeschreven. Er is dus noodzaak tot een maatschappelijke transitie om in deze eeuw (30-50 jaar) tot een duurzame gebruik van fosfor te komen. Verschillende tools en prikkels om tot kosteneffectieve maatregelen te komen zullen ontwikkeld moeten worden.

Conclusies

In 2005 ging alleen al in ons land rond de 28 Gg fosfor verloren via waterwegen of door vastlegging in as, wegen, cement en porselein. Daarenboven accumuleerde een vergelijkbare hoeveelheid in landbouwbodems, een aandeel dat in theorie grotendeels herbruikbaar is. Deze verliezen kunnen verminderd worden door efficiënter en effectiever gebruik van fosfor. Een mix aan veranderingen is nodig waaronder 'reduce, reuse, recycle' en 'redefine' opties. Belangrijke maatregelen voor de korte termijn zijn (i) het verminderen van het gebruik van primair fosfaat in de landbouw en veeteelt sector, (ii) beter hergebruik van reststromen zoals slachtafval en (iii) het recyclen van fosfor uit afvalstromen. Op de lange termijn ligt er potentie in een 'laag-fosfor input' samenwerking door de hele keten, mogelijk in combinatie met raffinagestappen in het kader van de biobased economy. ●

Referenties

1. Cordell, D., 2010
The Story of Phosphorus: Sustainability implications of global phosphorus scarcity for food security. Proefschrift, Linköping, Zweden.
2. Kabinet Rutte, 2011
De Grondstoffennotitie van het Kabinet. Den Haag.
<http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/rapporten/2011/07/15/grondstoffennotitie.html>
3. van Dijk, K.C. en anderen, 2012
Exploring options for a transition towards sustainable use of phosphorus: Food chain studies for the Netherlands and EU. Alterra onderdeel van Wageningen UR, Wageningen (in druk).
4. Udo de Haes, H.A. en anderen, 2009
Fosfaat – van te veel naar tekort: Beleidsnotitie van de Stuurgroep Technology Assessment van het ministerie van LNV. STA, Utrecht.
5. Ministerie van I&M en EL&I, 2011
Ketenakkoord Fosfaatkringloop
<http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/rapporten/2011/10/04/ketenakkoord-fosfaatkringloop.html>
6. van Kauwenbergh, S. J., 2010
World Phosphate Rock Reserves and Resources. International Fertilizer Development Centre (IFDC), Muscle Shoals, VS.
7. Schröder, J. J. en anderen, 2010
Sustainable Use of Phosphorus. Plant Research International onderdeel van Wageningen UR, Wageningen.
8. Smit, A. L. en anderen, 2010
A quantification of phosphorus flows in the Netherlands through agricultural production, industrial processing and households. Plant Research International onderdeel van Wageningen UR, Wageningen.
9. van Rotterdam-Los, A. M. D., 2010
The potential of soils to supply phosphorus and potassium: processes and predictions. Proefschrift, Wageningen.
10. Schoumans, O. F. en anderen, 2011
Phosphorus recovery from animal manure; Technical opportunities and agro-economical perspectives. Alterra onderdeel van Wageningen UR, Wageningen.