



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Systems analysis of stock buffering: development of a dynamic substance flow-stock model for the identification and estimation of future resource, waste streams and emissions

Elshkaki, A.

Citation

Elshkaki, A. (2007, September 6). *Systems analysis of stock buffering: development of a dynamic substance flow-stock model for the identification and estimation of future resource, waste streams and emissions*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/12301>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/12301>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Samenvatting

Het onderzoek dat in deze thesis wordt gepresenteerd is gericht op de ontwikkeling van een dynamisch stof-stroom-voorraadmodel dat kan worden gebruikt om de toekomstige beschikbaarheid, uitstoot en afvalstromen te schatten. Het onderzoek heeft in drie opeenvolgende fasen plaatsgevonden:

- In de eerste fase werd een dynamisch voorraadmodel ontwikkeld dat elementen combineerde van fysieke en economische modellen; hierbij werd een relatie gelegd naar een stroommodel. Hierdoor kwam een dynamisch stof-stroom-voorraadmodel tot stand.
- In de tweede fase werd een software programma ontwikkeld waarmee het dynamisch stof-stroom-voorraadmodel uitgevoerd kon worden.
- In de derde fase werden twee casus studies, relevant voor milieubeleid, ingevoerd in het softwareprogramma. In de eerste casus werden de gevolgen voor economie en milieu onderzocht van de loodvoorraden in de EU en Nederland. In de tweede casus werd onderzoek gedaan naar de mogelijke gevolgen van het gebruik van platina in de onlangs geïntroduceerde brandstofceltechnologie. Ook werden de beschikbaarheid van de grondstof en het milieueffect onderzocht.

Deze thesis bestaat uit negen hoofdstukken. Hoofdstuk 1 bevat de introductie, hoofdstukken 2 en 3 zijn gewijd aan de methodologische aspecten van stof-stroomanalyse (Engels acroniem: SFA) en aan een weergave van het dynamische stof-stroom-voorraadmodel. Hoofdstukken 4 t/m 8 bevatten toepassingen van het model in casus studies. In hoofdstuk 9 worden een algemene discussie, conclusies en aanbevelingen betreffende aan het stof-stroom-voorraadmodel gerelateerde aspecten en de toepassingen daarvan gepresenteerd.

Methodologie

In hoofdstuk 3 wordt het dynamische stof-stroom-voorraadmodel gepresenteerd. In de eerste delen van elk van de volgende hoofdstukken (4-8) worden methodologische aspecten besproken die aan de casus studies zijn gerelateerd.

Algemeen

Het ontwikkelde en hier gepresenteerde model gaat in drie opzichten verder dan de huidige beschikbare SFA-modellen. In de eerste plaats door de combinatie van stromen en voorraden, ten tweede door de combinatie van fysieke en economische elementen en op de derde plaats opereert het model op twee niveaus: stoffen en producten.

Het model omvat twee subsystemen: het economische en het milieu. Het economische subsysteem omvat vier processen (delving, productie, consumptie en afvalbeheer), diverse stromen en diverse voorraden. De belangrijkste voorraden in het economische subsysteem zijn de voorraad “stof-in-gebruik”, de voorraad stof in landbouwgrond en de voorraad stof op afvalverwerkingslocaties. De milieuaspecten van het model zijn beperkt tot lucht, water en niet-agrarische grond. Het model ziet deze onderdelen als verzamelplaatsen. De belangrijkste voorraden in de milieugebonden subsystemen zijn de voorraden stof in de biosfeer en de hoeveelheid stof in niet-agrarische grond.

In het model worden twee benaderingen gebruikt om de voorraad-in-gebruik en de stofstromen naar (instroom) en uit (uitstroom) de voorraad-in-gebruik weer te geven. De eerste benadering verzamelt historische gegevens betreffende de instroom en levensduur van het product. De tweede benadering verzamelt historische gegevens betreffende voorraad-in-gebruik, de instroom en de levensduur van het product. De twee benaderingen worden gebruikt om de instroom van materialen in de voorraad-in-gebruik weer te geven. In de eerste benadering wordt de instroom van materie weergegeven op basis van twee vergelijkingen: een om de instroom van producten te beschrijven en de ander om de hoeveelheid stof in producten te beschrijven. Elk wordt door verschillende factoren bepaald. In de tweede benadering wordt de

instroom van het stof in de voorraad-in-gebruik direct weergegeven door een vergelijking waarbij verschillende modellen worden gebruikt (lineair model, log-log model, en gebruiksintensiteit-techniek)

Deze aanpak wordt gebruikt wanneer de gegevens over stofgehalte (de totale hoeveelheid stof gebruikt in bepaalde producten) direct beschikbaar zijn. De uitstroom is hoofdzakelijk gebaseerd op de fysieke mechanieken van uitlogen en vertraging. In het loogmodel wordt een schatting gemaakt van de uitstroom uit de voorraad-in-gebruik als gevolg van uitstoot gedurende gebruik door onder andere corrosie en verdamping en dergelijke. Dit wordt uitgedrukt als een deel van de voorraad-in-gebruik. In het vertragingmodel wordt een schatting gemaakt van de afgedankte uitstroom als een vertraagde instroom met een bepaalde levensduur.

De geologische voorraad van een stof wordt gezien als de economische voorraad. Deze voorraden bestaan uit de op dit moment bekende reserves en vastgestelde bronnen. Afhankelijk van de voorraad waar in het model mee wordt begonnen, kunnen toevoegingen (instroom) aan de bestaande voorraad uitsluitend bestaan uit nieuw gevonden vindplaatsen of bestaande vindplaatsen die winstgevend worden. De onttrokken stroom (de uitstroom uit de bronvoorraad) wordt hoofdzakelijk bepaald door de vraag naar het stof en de beschikbaarheid van secundair materiaal. In het model zijn niet opgenomen de mechanismen waardoor de invloed van prijsstijgingen en de ontwikkeling van nieuwe technologieën een stijging van de bronvoorraad kunnen beïnvloeden (door de nu bekende bronvoorraad rendabeler te maken of laag gewaardeerde bronnen mogelijkwerwijs te gebruiken). Deze bekende bronnen zijn al opgenomen in de vastgestelde bronnen. De mogelijke ontdekking van nieuwe vindplaatsen waardoor de beschikbaarheid van grondstoffen wordt vergroot, wordt niet in dit model opgenomen.

De voorraad in afvallocaties wordt bepaald door de instroom van het stof in de afvallocaties en de uitlopende uitstroom daarvan. De instroom van het stof in afvallocaties is afkomstig uit verschillende delen van het economische subsysteem en de uitlog uitstroom wordt bepaald door de stoffeigenschappen en de technologie van de afvalverwerkende locatie. De voorraad stof in agrarische grond wordt met name bepaald door stromen in en uit de agrarische grond. Bij instromen kan men denken aan neerslag, kunstmest, gier of mest. De uitstroom wordt voornamelijk bepaald door het opnemende vermogen van wat er op het land wordt verbouwd.

Lood casus studie

Dit model omvat stromen en voorraden lood in het economische subsysteem en de milieustromen en voorraden die direct gerelateerd zijn aan economische activiteiten. Het model bevat de meest belangrijke intentionele toepassingen van lood, zoals batterijen, loodplaten, kathodestraalbuisen en kabelomhulsels. Het omvat ook niet-intentionele toepassingen van lood, zoals het gebruik van secundaire stromen (vlieg- en bodemas) in wegenmateriaal, bouw materiaal en agrarische grond. Er wordt aangenomen dat deze toepassingen voldoende zijn om een raming te kunnen maken van de afvalstromen en uitstoot van lood.

Bij het modelleren van de in- en uitstroom en loodvoorraad-in-gebruik voor toepassingen van lood, wordt de eerste benadering, die uitgaat van de historische gegevens betreffende de instroom en levensduur van het product, gebruikt. Uitzondering hierop vormt de kathodestraalbuis, hiervoor worden stromen en voorraden in het model ingevoerd op basis van de tweede benadering. Het model waarin de instroom van lood in de voorraad-in-gebruik van de verschillende toepassingen wordt ingevoerd, is gebaseerd op de benadering stof/product, met de verklarende variabelen (BNP, per hoofd BNP, bevolking en tijd) exogeen bepaald. Deze variabelen leken een aantal trends in het verleden van deze stromen voldoende te beschrijven, zoals de loodinstroom naar de verbruikersfase, de productie van gezuiverd lood, de productie van andere zware metalen en de olieproductie en het gebruik in de elektriciteitsproductie. Ze leken echter de historische trend van de instroom van fosfaathoudende kunstmest en de productie van elektriciteit uit kolen onvoldoende te beschrijven. Daarom is bij het opstellen van deze modellen tijd gebruikt als een vervanger van het effect van overige beïnvloedbare variabelen.

De afgedankte uitstroom van loodtoepassingen wordt in het model ingebracht waarbij historische gegevens worden gebruikt betreffende instroom en specifieke levensduur in het verleden. Hierbij wordt aangenomen dat deze passen in een Weibull-distributie.

De aanvankelijke voorraad-in-gebruik van verschillende loodtoepassingen wordt geschat op de beschikbaarheid van deze toepassingen in een bepaald jaar, hetgeen wordt gebruikt als startpunt voor de

berekeningen. De aanvangshoeveelheid van de loodvoorraad in afvallocaties is moeilijk te vinden. Het model gaat er vanuit dat de aanvankelijke loodvoorraad in afvallocaties nul bedraagt.

Platina casus studie

Het model richt zich hoofdzakelijk op het economische subsysteem en bevat de delving en productie van platina (zowel uit primaire als secundaire bronnen) en de productie, verbruik en afvalbeheersing van toepassingen die platina bevatten. Hiertoe behoren onder andere brandstofcellen, katalysators en andere toepassingen in de chemische, elektrische en elektronische industrie, glas- en olie-industrie, investeringen, juwelen en andere toepassingen. Het model omvat ook de productie van gelijktijdig geproduceerde metalen (Ni en Cu) uit primaire platinabronnen, het verbruik en de afvalbeheersing van Ni en Cu toepassingen en de productie van Ni en Cu uit secundaire bronnen. Het model omvat emissies in het milieu en de bronvoorraad in het milieu. De vraag naar platina wordt mondiaal bekeken en aanvoer komt uit vier bronnen (Zuid-Afrika, Rusland, VS en Canada, en andere landen).

Het model bestaat uit een set differentiaalvergelijkingen die de verandering van de grootte van de voorraad platina in de tijd beschrijven in de compartimenten van het systeem. De in- en uitstroom van platina en de voorraad platina-in-gebruik in alle platina toepassingen zijn in het model ingebracht gebaseerd op de eerste benadering, die uitgaat van historische gegevens betreffende de invoer en levensduur van de producten. De belangrijkste drijvende kracht in het model is de mondiale vraag naar platina. Dit wordt geschat op basis van de vraag naar de toepassingen (Fuel Cells, ofwel FC's (brandstofcellen), katalysators (Engels acroniem CC) en andere toepassingen) en de benodigde hoeveelheid platina voor iedere toepassing. De instroom van platina in de voorraad-in-gebruik van FC en CC wordt in het model ingebracht met gebruik van de stof/product benadering. De instroom van platina in de voorraad-in-gebruik van andere toepassingen wordt in het model opgenomen met gebruik van de stofbenadering. Sommige verklarende variabelen, zoals het BNP en bevolking, worden exogeen bepaald en andere, zoals prijs en technologische ontwikkelingen, worden endogeen bepaald. Verschillende scenario's voor FC marktpenetratie worden gebruikt om een raming van de vraag naar FC en de vervanging van CC te bepalen. De voor iedere toepassing benodigde platina wordt gemodelleerd als functie van een geaccumuleerde productie met gebruikmaking van de leercurve. De afgewerkte uitstroom van platinatoepassingen wordt gemodelleerd op basis van instroom in het verleden en een specifieke levensduur, welke als een gemiddelde waarde wordt aangenomen. De aanvangsvoorraad in de gebruiksfase wordt aangenomen op nul. Deze aanname heeft geen invloed op de uitkomst van het model wat betreft beschikbaarheid van bronnen. Aan de bronvoorraad bij aanvang in de biosfeer worden twee waarden gegeven. De eerste is de waarde van de huidige reserve en de tweede is de waarde van de vastgestelde bronnen.

Casus studie

Lood

De eerste casus studie, waarbij lood wordt gebruikt, wordt gepresenteerd in hoofdstukken 4 t/m 7. Hierin worden de aspecten van de modellen beschreven, de gegevens gepresenteerd en vindt een analyse plaats van het intentionele en niet-intentionele gebruik van lood op lange termijn. De lood casus studie is voornamelijk gericht op:

- Evaluatie van de gevolgen voor economie en milieu van de ontwikkelingen van loodvoorraden op het beheer van lood op lange termijn;
- Evaluatie van de directe gevolgen voor milieu op lange termijn van niet-intentionele loodstromen en een vergelijking van deze met de intentionele stromen; en
- Evaluatie van de gevolgen op lange termijn voor milieu en economie van niet-intentionele aanwezigheid van lood in toepassingen.

De belangrijkste uitkomst van het model suggereert dat in Nederland de hoeveelheid voor recycling beschikbaar lood naar verwachting de vraag naar lood in de nabije toekomst overschrijdt. Dit model is echter beperkt tot één land; een meer algemene conclusie wat betreft de hoeveelheid beschikbaar lood en de

vraag naar lood verlangt een analyse op grotere schaal (regionaal of mondiaal), waarbij im- en export een ondergeschikte rol spelen. Als ook op grotere schaal vergelijkbare ontwikkelingen worden ontdekt, kunnen de bevindingen gevolgen hebben voor het toekomstige beheer van lood. Het zou kunnen suggereren dat de vraag naar lood afneemt als gevolg van beleid om het gebruik uit te bannen. Aan de andere kant groeit de toelevering uit secundaire bronnen als gevolg van de voorraden die in het verleden in de maatschappij zijn opgebouwd. Bovendien houdt de toevoer uit primaire bronnen aan en zal naar verwachting ook aanhouden om andere redenen dan nieuwe vraag naar lood. Dit alles kan gevolgen hebben voor de prijs van lood, de winstgevendheid van de primaire productie en de recyclingindustrie.

Als gevolg hiervan zouden de stromen naar afvalverwerking en verbranding kunnen stijgen ten koste van recycling en dit zou uiteindelijk kunnen leiden tot een verhoging van uitstoot. Uit het model komt ook de suggestie naar voren dat de milieugevolgen van het niet-intentionele gebruik van lood uit zink- en ijzererts en uit kolen ernstiger zijn dan die afkomstig uit afvalstromen van de intentionele toepassingen van lood. De hoeveelheid lood geproduceerd door niet-intentionele bronnen is voldoende om ten minste te voldoen aan een deel van de vraag naar lood. Daarom zou er in het bijzonder aandacht geschonken moeten worden aan de beheersing van deze niet-intentionele loodstromen, vooral wat betreft de loodstromen afkomstig uit gemengde primaire bronnen die lood bevatten als vervuilende stof (zink- en ijzererts en kolen). Voorts wordt aanbevolen om de beschikbare hoeveelheid lood in secundaire materialen, zoals vlieg- en bodemas afkomstig uit kolengestookte energiecentrales en afvalverbrandingsinstallaties te herwinnen voordat deze afvalstoffen naar de afvalverwerking gaan of als constructiemateriaal worden gebruikt.

Het residu van productie en verbruik van niet-intentionele loodtoepassingen kan in de toekomst worden gezien als potentiële bronnen voor lood en andere materialen.

Platina

De tweede casus wordt in hoofdstuk 8 gepresenteerd en betreft het gebruik van platina in de onlangs geïntroduceerde brandstofceltechnologie. Het doel van de studie is:

- Onderzoek naar de mogelijke invloed van het toegenomen platinagebruik in brandstofceltechnologie en andere toepassingen in termen van toekomstige beschikbaarheid van bronnen op lange termijn; en
- Evaluatie van gevolgen op lange termijn van de toegenomen vraag naar platina op de cycli van andere, gelijktijdig geproduceerde metalen, met name Ni en Cu.

In het model wordt aangetoond dat de belangrijkste verliezen van platina optreden in de afvalbeheersing van brandstofcellen en katalysatoren en in de productie van platina uit primaire bronnen. De belangrijkste uitkomst van het model suggereert dat de huidige reserves en vastgestelde platinabronnen uitgeput zullen zijn voor het einde van de eeuw, indien er geen aanvullende maatregelen worden getroffen. Echter, uit het model blijkt ook dat bepaalde factoren aan de vraag- en toevoerszijde de beschikbaarheid van platina in verloop van tijd kunnen verlengen. Hierbij kan worden gedacht aan de toenemende effectiviteit van brandstofcelproductie, de marktpenetratie van brandstofcellen, de toenemende effectiviteit van afvalbeheersing van brandstofcellen en katalysators, de toenemende effectiviteit in de platinaproductie uit primaire bronnen, en de toenemende levensduur van brandstofcellen. Daarnaast kunnen technologische ontwikkelingen in de brandstofcelproductie een belangrijke rol spelen bij het vergroten van de beschikbaarheid van platina, evenals verbeteringen in de mijntechnologie. Voorts wordt aanbevolen de brandstofceltechnologie geleidelijk op de markt te introduceren en onderzoek te doen naar de mogelijkheden om andere bronnen van platina te vinden. Sinds de introductie van katalysators heeft platina zich kunnen ophopen in de grond en dit zou in de toekomst een potentiële platinabron kunnen zijn. Tot andere mogelijke bronnen behoren de gemengde primaire bronnen.

Dit model laat ook zien dat de metalen die tegelijkertijd met platina worden geproduceerd (Cu en Ni) worden beïnvloed door de toenemende productie van platina. De mogelijke overproductie van deze gelijktijdig geproduceerde materialen kan gevolgen hebben wat betreft de secundaire productie en hun primaire productie uit andere bronnen. De uitkomst van het model suggereert dat dit geen grote gevolgen heeft voor de kopercyclus, daar de vraag naar koper erg groot is in vergelijking met de levering uit deze bron. Voor nikkel is het verhaal anders: volgens de verwachting overtreft de productie van dit metaal uit

platina-erts de vraag, wat vergaande gevolgen zal hebben voor zowel de winning uit primaire bronnen als het recyclen van nikkel.

Algemene discussie, conclusies en aanbevelingen

In hoofdstuk 9 wordt een algemene discussie gevoerd, met conclusies en aanbevelingen van aspecten die gerelateerd zijn aan het stof stroom-voorraadmodel en de toepassing daarvan in de casus studies.

In het eerste deel van hoofdstuk 9 worden een aantal problemen besproken die verband houden met het dynamische stroom-voorraadmodel. Dit heeft voornamelijk betrekking op de combinatie van stromen en voorraden, de combinatie van fysieke en economische elementen, het schaalniveau van het modelleren van stofstromen en –voorraden, het meetellen van de economische en milieugerelateerde subsystemen die opereren op product- en stofniveau en de rol van onzekerheid. Het wordt aanbevolen in een stof-stroom-voorraadmodel zowel economische als fysiek-chemische variabelen als stofstromen door de economie op te nemen, omdat stofstromen door de economie primair worden bepaald door de economische vraag naar toepassingen die het betreffende stof bevatten. De uitstroom van stof uit de economie in de vorm van afval en uitstoot wordt echter primair bepaald door de fysiek-chemische eigenschappen van het stof. Het wordt eveneens aanbevolen verschillende factoren of verklarende variabelen toe te voegen die verschillende economische drijvende krachten vertegenwoordigen: de vraag naar producten waarin het stof is verwerkt, de vraag naar secundaire materialen en afvalbeleid. Het wordt tevens aanbevolen de product/stof-benadering en het leercurve-concept te gebruiken om de stofstroom in de voorraad-in-gebruik en de hoeveelheid stof in producten te modelleren.

Aanbevelingen voor verdere ontwikkeling

Enkele interessante onderwerpen voor toekomstig onderzoek op het gebied van dynamische stof-stroomanalyses zijn: het meerekenen van handel in nationale dynamische stof-stroom-voorraadmodellen, het meerekenen van mechanismen die de invloed van prijs en technologieontwikkeling op de bronvoorraad in de biosfeer beschrijven, en het meerekenen van de invloed van energiegebruik bij delvingsprocessen in mondiale dynamische stof-stroom-voorraadmodellen.

Het is ook waardevol om de mogelijkheden te onderzoeken om het dynamische stof-stroom-voorraadmodel te koppelen aan andere milieumodellen, zoals lotgeval modellen en milieurisicobeoordeling modellen waarin milieurisico's worden beoordeeld. Dit zou de ramingen wat betreft de milieuconcentratie van stoffen in milieucompartimenten en daarmee samenhangende risicobeoordeling kunnen verbeteren.

