

Computerprogramma voor student maakt Integraal ketenbeheer tastbaar

Wim Westera en Marthie A.M. Meester

Samenvatting

Het concept integraal ketenbeheer behoort tegenwoordig tot het standaardinstrumentarium van de milieukundige, maar hoe is het operationeel te maken voor de student? De Open universiteit heeft in het kader van de cursus Milieu en technologie een educatief computerprogramma ontwikkeld, waarmee het gedrag van produktketens kan worden gesimuleerd. Het programma maakt het mogelijk de milieueffecten van produktketens op integrale wijze te benaderen en direct te onderzoeken op welke wijze de milieubelasting te minimaliseren is. Het programma is opgezet rond de produktketens van kunstmest en leer, die beide zijn opgedeeld in een groot aantal stappen. De student kan uit vele milieumaatregelen kiezen om de milieubelasting in elke stap te wijzigen. Veranderingen in één of meer stappen worden direct doorgerekend voor de hele produktketen waardoor de student een dieper inzicht verkrijgt in het functioneren van de produktketen als geheel en daarmee ook in het concept van integraal ketenbeheer. Naar verwachting wordt hierdoor de attitude ten aanzien van integraal ketenbeheer in positieve zin beïnvloed en het denken vanuit dat perspectief gestimuleerd.

Integraal ketenbeheer, integraal in het onderwijs

Integraal ketenbeheer houdt in dat eventuele veranderingen of aanpassingen van de keten altijd worden gezien in het licht van milieueffecten voor de totale produktketen of produktlevensloop. De complexe structuur, het moeilijk te voorspellen gedrag en de sterke onderlinge verwevenheid van produktketens maakt het in de praktijk lastig om milieueffecten van produktiesystemen te beschouwen vanuit het perspectief van integraal ketenbeheer.

Bij de traditionele beschouwing van produktiesystemen overheerst het denken in termen van productiebranches. De productiesector is in hoofdzaak per bedrijfstak georganiseerd, dat wil zeggen in een dimensie die loodrecht staat op de dimensie van de opeenvolgende processtappen in produktketens. In de praktijk betekent dit dat geen van de betrokken producenten (of consumenten) de gehele produktketen kan overzien en in de eerste plaats gericht is op de economische belangen van zijn eigen productie-eenheid. Ook wettelijke milieuvoorschriften worden veelal slechts per branche vastgesteld zonder dat naar de effecten voor de produktketen als geheel wordt gekeken. In het slechtste geval leidt verlaging van de milieueffecten in het ene deel van de produktketen tot een verhoging in het andere deel. Het netto-effect van milieumaatregelen kan op die manier zelfs negatief zijn.

Deze benadering van milieuproblemen vanuit een sterk traditioneel, organisatorisch en economisch perspectief gevoegd bij de conceptuele complexiteit van integraal ketenbeheer vormen een ernstige barrière voor het tot ontwikkeling brengen van een effectief milieubeleid. In de milieukundeopleidingen dient daarom het integraal ketendenken een belangrijke plaats in te nemen. Dit vereist behalve een ingrijpende verandering in attitude of benaderingsperspectief ook veel aandacht voor de inhoudelijke aspecten van integraal ketenbeheer.

Onderwijskundig kader

Binnen de cursus Milieu en technologie van de Open universiteit wordt aan beide aspecten van integraal ketenbeheer een hoge prioriteit gegeven (1). Daartoe is een computerprogramma ontwikkeld waarmee de student in staat wordt gesteld enkele produktketens integraal te simuleren. Het gaat om de produktketens van leer en van kunstmest (fosfaatmest). Het programma biedt de student de mogelijkheid op diverse plaatsen in de produktketen milieumaatregelen te nemen. De effecten van de gekozen maatregelen worden door het programma direct doorgerekend en gepresenteerd in termen van emissies naar de diverse compartimenten.

De cursus Milieu en technologie maakt deel uit van het diplomaprogramma Milieukunde van het leerstofgebied Natuurwetenschappen en vormt daarin een van de verdiepingscursussen die voortbouwen op meer algemene cursussen over scheikunde en milieukunde. De cursus bestaat behalve uit het computerprogramma over integraal ketenbeheer uit twee tekstboeken en een opdrachtenboek. De tekstboeken bevatten de kern van de leerstof waarin de begrippen 'integraal ketenbeheer', 'duurzame ontwikkeling' en 'schone(re) technologie' centraal staat. Het eerste blok schetst de hoofdlijnen van het milieu- en technologiebeleid; het tweede blok gaat in op het begrip technologie in technische zin en de wisselwerking tussen technologie en maatschappij; het laatste blok gaat specifiek in op een groot aantal milieutechnologieën, ingedeeld van intrinsiek naar extrinsiek: preventietechnologie, recyclingtechnologie, zuiveringstechnologie, verwijderingstechnologie en saneringstechnologie. Een afzonderlijk hoofdstuk is gewijd aan energietechnologie.

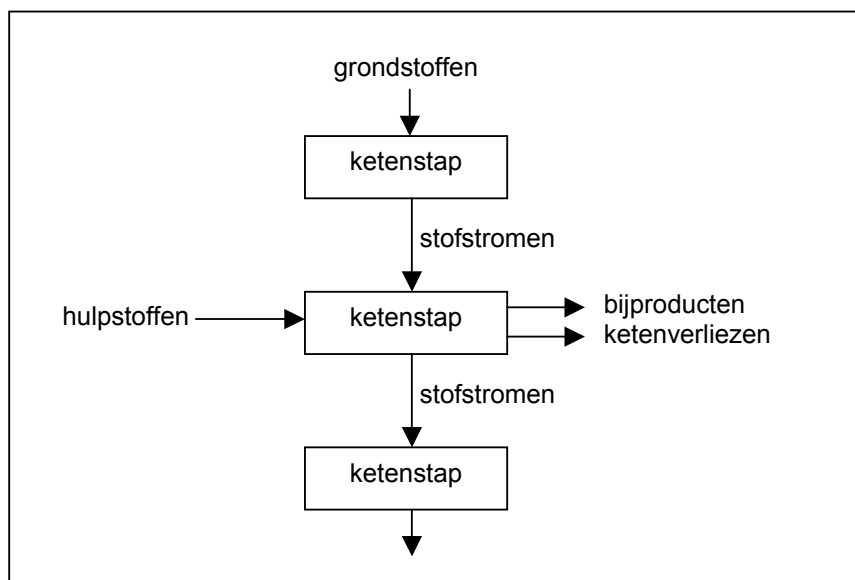
In het opdrachtenboek zijn een uitvoerige beschrijving van de twee produktketens - kunstmest en leer - en een handleiding voor het gebruik van het computerprogramma opgenomen. De gegevens voor de ketens kunstmest en leer zijn verzameld door Tebodin (2), waarbij het levenscyclusanalysemodel van het Centrum voor Milieukunde van de Rijksuniversiteit Leiden is gebruikt (3).

Modellering van integraal ketenbeheer

Een produktketen beschrijft een aantal opeenvolgende processtappen (ketenstappen) in de levensloop van een produkt, van het moment van de winning van grondstoffen tot het moment dat het produkt wordt afgedankt en op de een of andere manier in het milieu terecht komt. Produktketens zijn zelden onafhankelijk van andere produktketens te beschrijven. Zij kunnen bijvoorbeeld samenhangen doordat bijproducten of halffabrikaten van de ene keten als invoer

kunnen dienen voor de andere keten. Aldus beschouwd moet een produktketen worden opgevat als een traject in een complex netwerk van ketenstappen, waarbij een kleine verstoring in een van de ketenstappen in het gehele netwerk voelbaar is. Om een produktketen enigszins modelmatig te kunnen beschrijven is het maken van vereenvoudigingen noodzakelijk. In het computerprogramma is uitgegaan van een onvertakte, lineaire keten waarbij de ruimtelijke en temporele aspecten achterwege zijn gelaten. Invoer- en uitvoerrelaties met andere produktketens worden wel aangegeven, maar worden niet doorgerekend. Het rekenschema is gebaseerd op een massabalansmodel voor iedere ketenstap: de invoer bestaat uit stoffen afkomstig uit de voorgaande ketenstap (de stofstroom) en hulpstoffen uit andere ketens (zie figuur 1).

Na bewerking in de ketenstap wordt een deel van de stoffen uitgevoerd naar de volgende ketenstap. De rest verlaat de keten als nuttig bijproduct of als ketenverlies naar het milieu.



Figuur 1: Schema van het ketenmodel gebaseerd op de massabalansmodel per ketenstap

We zullen nu een nadere omschrijving geven van de begrippen waarvan de gesimuleerde produktketen gebruik maakt.

Stofstroom

De stofstroom bestaat meestal uit verscheidene stoffen. Hoewel het in de kunstmestketen vooral om de fosfaatstroom gaat, spelen ook andere stoffen een rol. De fosfaatstofstroom is daarom opgedeeld in de categorieën: fosfaat, fluoride, cadmium en overige stoffen.

Grondstof

Dit is het onbewerkte, ruwe materiaal nodig voor het vervaardigen van een produkt. Milieubelasting die ontstaat bij het ontsluiten van het ruwe produkt wordt in de produktketen meegenomen. Bij de fosfaatketen gaat het om fosfaaterts dat een onderdeel is van een zogeheten matrix die behalve fosfaaterts ook klei, grind en zand bevat.

Hulpstof

Een hulpstof is afkomstig uit een andere keten. Voor de winning van de fosfaat uit het fosfaaterts in de vorm van fosforzuur is bijvoorbeeld zwavelzuur, een hulpstof, nodig. Eventuele milieueffecten die bij de productie van de hulpstof ontstaan worden niet meegenomen.

Bijprodukt

Dit is een produkt of halffabrikaat dat de keten verlaat en in andere produktketens kan worden toegepast. De milieueffecten die op termijn ontstaan ten gevolge van bijprodukten worden daarom buiten beschouwing gelaten. Zand en grind uit het fosfaaterts zijn bijvoorbeeld nuttige bijprodukten die kunnen worden gebruikt in de bouw.

Ketenverlies

Een stof die de produktketen verlaat en niet zinvol te gebruiken is, komt op de één of andere manier in het milieu terecht. Het milieuedrag van de keten wordt vrijwel geheel bepaald door ketenverliezen. In het computermodel wordt bijgehouden aan welke onderdelen in de stofstroom de verliezen kunnen worden toegeschreven ('herkomst' van de ketenverliezen). Bovendien is van belang in welk milieucompartiment de ketenverliezen terechtkomen ('bestemming'). In dit model is naast de compartimenten lucht, water en bodem als vierde 'compartiment' de categorie afval opgenomen.

Vanuit het perspectief van milieubelasting is het niet alleen belangrijk te weten in welk milieucompartiment de ketenverliezen terechtkomen, maar ook in welke vorm dat gebeurt. De ketenverliezen zijn immers lang niet altijd schadelijk voor het milieu. Ook de keuze voor het inzetten van een milieutechniek hangt sterk af van de vorm waarin de ketenverliezen optreden. Per compartiment wordt daarom een aantal emissiegroepen onderscheiden waarin de aard van de ketenverliezen nader is gespecificeerd (zie afbeelding 2).

| Lucht | Water | Bodem | Afval |
|------------------|-------------------------------|--------------------|---------------------|
| zwaveldioxide | Fosforverbindingen | fosforverbindingen | niet-chemisch afval |
| stikstofoxiden | fluorverbindingen | fluorverbindingen | overig afval |
| koolstofmonoxide | stikstofverbindingen | metaalverbindingen | |
| Koolwaterstoffen | zwavelverbindingen | overige stoffen | |
| Koolstofdioxide | zuurstof verbruikende stoffen | | |
| Stofdeeltjes | Overige stoffen | | |

| | | | |
|-------------------|--|--|--|
| Fluorverbindingen | | | |
| ammoniak | | | |

Afbeelding 2. Emissiegroepen in de compartimenten lucht, water, bodem en afval

In het geval van de kunstmestketen is het fosfaaterts verontreinigd met onder andere cadmium, dat zich bij de fosforzuurbereiding verdeelt over het fosforzuur en de gevormde gips. Indien dit gips op het oppervlaktewater wordt geloosd, geeft het watervervuiling. De cadmium is dan terug te vinden in de emissiegroep 'metaalverbindingen' van het compartiment water.

Energie

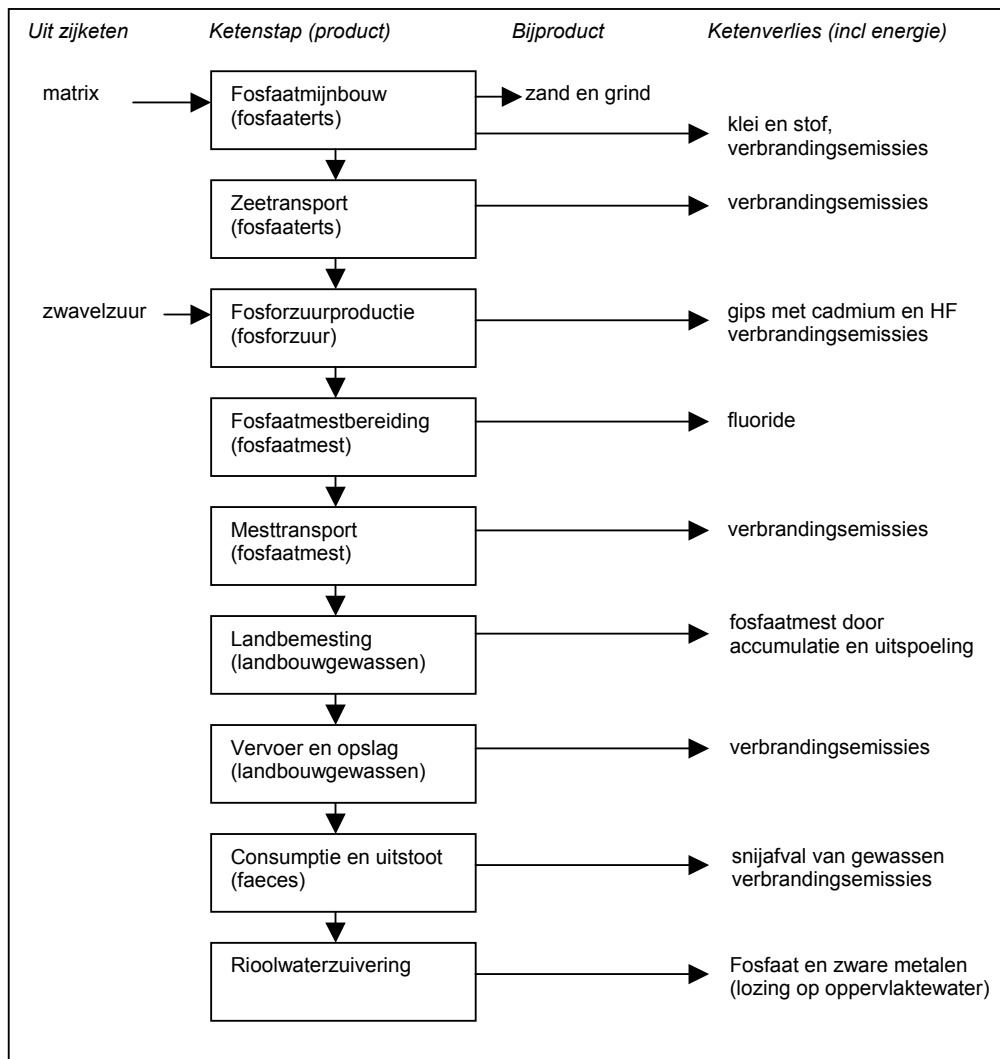
Het energieverbruik neemt in het model een bijzondere plaats in. Niet alleen leidt energieverbruik tot directe en kwantificeerbare ketenverliezen in de vorm van verbrandingsemissies, maar ook is het energieconcept zelf van meer fundamentele betekenis bij de beoordeling van een produktketen. Meer dan bij andere grond- en hulpstoffen speelt bij energie het besef dat de voorraden beperkt zijn. De omvang van het energieverbruik en de bijbehorende (verbrandings)emissies vormen belangrijke grootheden bij het beoordelen van een produktketen.

Milieumaatregel

Voor iedere ketenstap is een aantal milieumaatregelen beschikbaar. Gekozen is voor de brede term milieumaatregel omdat ook zonder de inzet van specifieke milieutechnieken het milieugedrag van een keten kan worden verbeterd. Bijvoorbeeld door het fosfaaterts niet meer uit Florida te importeren maar uit Marokko is veel minder brandstof voor vervoer nodig. Milieumaatregelen omvatten ook milieutechnieken. Zowel procesgeïntegreerde als toegevoegde technieken zijn beschikbaar. Het inzetten van een milieumaatregel zal de massabalans van die ketenstap beïnvloeden. Sommige ketenverliezen zullen afnemen, andere zullen juist toenemen; ook stofstromen en de hoeveelheden hulpstoffen en bijprodukten zullen veranderen. Door de modelmatige koppeling van de afzonderlijke ketenstappen via de stofstromen kunnen de consequenties voor de gehele keten worden berekend.

Bij het in milieukundige zin optimaliseren van de produktketen moeten vele mogelijke milieumaatregelen tegen elkaar worden afgewogen tegen de achtergrond van integraal ketenbeheer. Daarbij moeten, behalve milieukundige aspecten, ook economische aspecten, sociale aspecten en pragmatische aspecten worden meegewogen. De afweging wordt bemoeilijkt doordat deze aspecten veelal kwalitatief van aard zijn, ongelijksoortig zijn en daarom sterk naar persoonlijke voorkeuren worden beoordeeld. Deze moeilijkheid maakt de noodzaak tot voldoende inzicht in het kwantitatief functioneren van de keten niet minder urgent. Het blijft daarom van belang in kwantitatieve zin een goed overzicht te creëren van de milieubelasting van de keten als geheel.

Als voorbeelden van milieumaatregelen om de cadmiumverliezen bij de fosforzuurproductie te reduceren zijn opgenomen: het overgaan op een ander fosforzuurbereidingsproces (procesgeïntegreerde techniek) of het verwijderen van de cadmium uit het gips via een ionenwisselaar, vloeistofextractie of sulfideprecipitatie (toegevoegde technieken). Hierbij kunnen echter nieuwe problemen ontstaan, bijvoorbeeld de vorming van chemisch afval dat moet worden gestort. Afbeelding 3 geeft een schematische weergave van de kunstmestketen met de ketenstappen, bijproducten en ketenverliezen.



Afbeelding 3. Model van de kunstmestketen

Didactisch ontwerp

Het primaire doel van het computerprogramma is studenten in staat te stellen het begrip integraal ketenbeheer te operationaliseren en te manipuleren zodat een dieper inzicht wordt bereikt. Studenten moeten met name leren inzien op welke wijze maatregelen genomen in één stap van de keten kunnen doorwerken in het gedrag van de keten als geheel. Een belangrijk aanknopingspunt voor het didactisch programmaontwerp is de omstandigheid dat intuïtieve oplossingen op lokaal niveau soms een averechtse werking hebben voor de keten als geheel. Bij landbemesting bijvoorbeeld wordt maar circa tweederde van de kunstmest opgenomen; de rest komt in de bodem terecht of wordt uitgespoeld. Een milieumaatregel die hier kan worden ingezet is 'gesloten teelt', waarbij gebruik

wordt gemaakt van gesloten watergeefsystemen. De uitgespoelde fosfaten kunnen hierdoor opnieuw worden gebruikt waardoor minder kunstmest nodig is en dus minder energie en fosfaaterts om dezelfde hoeveelheid gewas te krijgen. Wanneer we studenten een actieve rol willen laten vervullen in het leerproces is het noodzakelijk hen de gelegenheid te bieden intuïtieve oplossingen toe te passen en hen direct te confronteren met de consequenties daarvan. Dit impliceert dat het programma een open structuur (met veel vrijheid voor de student) moet koppelen aan een directe feedback in de vorm van rekenresultaten. De gekozen didactische aanpak leunt sterk op de methode van probleemgericht onderwijs (4). Die aanpak veronderstelt dat kennisverwerving een constructief proces is. De probleemgerichte aanpak wordt bovendien als zeer motiverend beoordeeld omdat het een natuurlijke manier van leren betreft, omdat theorie en praktijk direct met elkaar in verband worden gebracht en omdat de student een duidelijke eigen verantwoordelijkheid draagt. Bovendien speelt het ontwikkelen van metacognitieve vaardigheden een belangrijke rol, zoals het kiezen en beoordelen van de eigen aanpak, kritisch denken, creatief denken, het maken van inschattingen, een flexibele opstelling en het benutten van voorkennis.

Een noodzakelijke voorwaarde om op vruchtbare wijze met de gestelde problemen te kunnen omgaan is dat eerst een voldoende oriëntatiebasis wordt gelegd voor de eigenlijke leertaak. Hiervoor zijn beginopdrachten nodig. Volgens de theorie van probleemgericht onderwijs is het bovendien essentieel dat de student de gekozen aanpak expliciteert als tussenstap naar een mentale representatie van het handelen. Het verwoorden van de gekozen werkwijze bij het werken aan een probleem vormt dan ook een onmisbaar onderdeel.

Functionele uitvoering van het computerprogramma

Aan de hand van opdrachten leert de student kwetsbare plekken in de milieuketen te identificeren, geschikte milieumaatregelen te selecteren, effecten van milieumaatregelen te interpreteren en kwalitatieve en kwantitatieve argumenten (zoals milieuaspecten, kosten, haalbaarheid, maatschappelijke aspecten) bij het optimaliseren van een produktketen te expliciteren en af te wegen (zie ook afbeelding 4).

Integrated life cycle management

Case Help Ou End

auxiliary products
 flow of materials
 chain losses
 emissions
 secondary products

origin

 phosphate energy
 fluoride everything
 cadmium
 other

destination

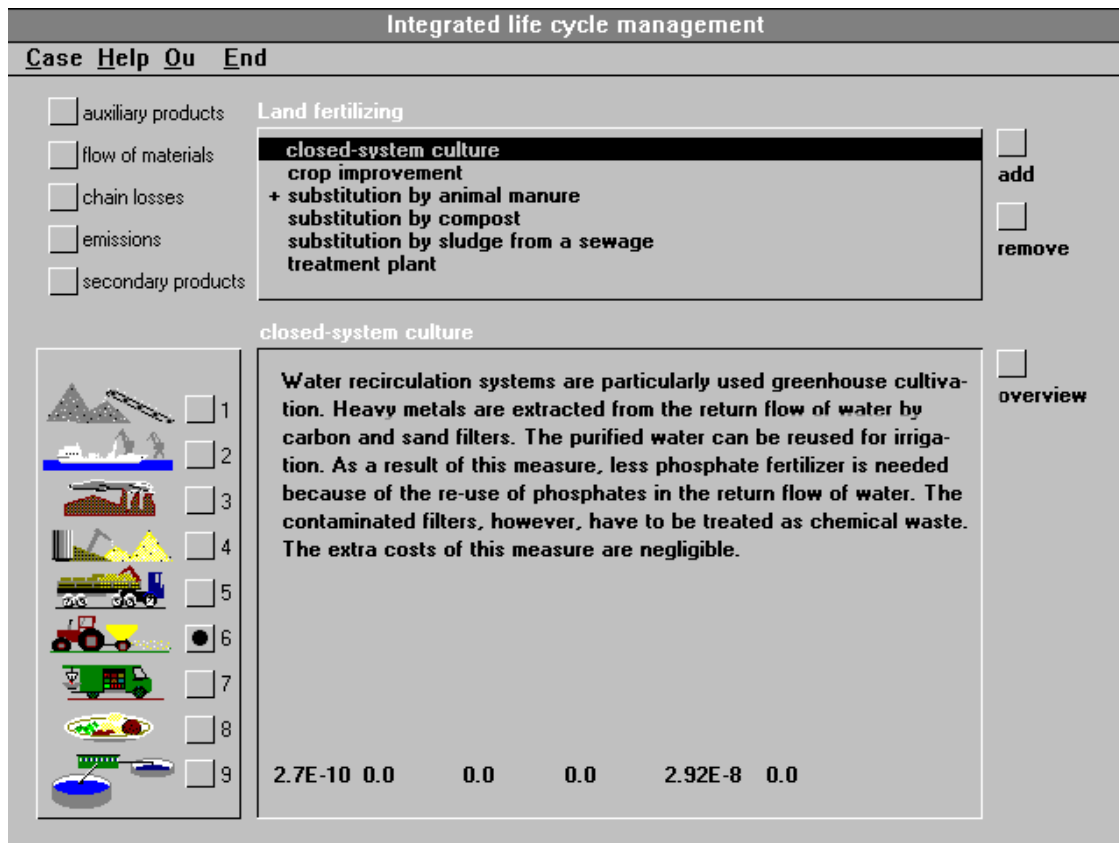
 air everywhere
 water
 soil
 waste

emissions into the air due to energy consumption

| | SO2 | NOx | CO | CCmp | CO2 | Part. | FCmp |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|
| <input type="checkbox"/> 1 | 5.16E-7 | 7.50E-6 | 2.97E-5 | 2.29E-9 | 4.22E-4 | 1.22E-6 | 0.0 |
| <input type="checkbox"/> 2 | 3.19E-5 | 1.83E-6 | 1.10E-5 | 3.39E-9 | 1.51E-3 | 1.10E-6 | 0.0 |
| <input type="checkbox"/> 3 | 5.81E-6 | 1.08E-5 | 0.0 | 0.0 | 4.25E-3 | 6.01E-7 | 0.0 |
| <input type="checkbox"/> 4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| <input type="checkbox"/> 5 | 5.57E-6 | 8.09E-5 | 3.21E-4 | 2.47E-8 | 4.55E-3 | 1.31E-5 | 0.0 |
| <input type="checkbox"/> 6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| <input type="checkbox"/> 7 | 1.56E-7 | 2.26E-6 | 8.95E-6 | 6.9E-10 | 1.27E-4 | 3.66E-7 | 0.0 |
| <input type="checkbox"/> 8 | 0.0 | 3.12E-9 | 0.0 | 0.0 | 1.25E-6 | 0.0 | 0.0 |
| <input type="checkbox"/> 9 | 2.7E-10 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.92E-8 | 0.0 | 0.0 |

without measures
 measures included
 ratio included/without

Afbeelding 4a: Schermafdruc van een voorbeeld: emissies naar het compartiment lucht ten gevolge van energiegebruik (per kg kunstmest).



Afbeelding 4b: Schermafdruc van een voorbeeld: beschikbare milieumaatregelen voor de zesde ketenstap "landbemesting".

Het programma vervult twee hoofdfuncties:

- *presentatie van gegevens uit de produktketen*

Voor de hele produktketen wordt het verloop gegeven van stofstromen, het gebruik van hulpstoffen, de bijproducten, het energieverbruik en de ketenverliezen. De ketenverliezen worden gespecificeerd naar herkomst (stofstroom), bestemming (milieucompartiment) en aard van de emissies (emissiegroepen). Alle gegevens worden binnen het model genormeerd per eenheid van gereed produkt (bijvoorbeeld 1 kg kunstmest). Deze normering is arbitrair, doch van essentieel belang voor de interpretatie.

- *berekening van effecten van milieumaatregelen*

Voor elke ketenstap is een aantal concurrerende milieumaatregelen beschikbaar. De beschrijving van de milieumaatregelen bevat naast een beknopte technische toelichting ook een aantal kwalitatieve overwegingen. Naar behoefte kan de student de milieumaatregelen selecteren en inzetten in de produktketen. Het programma zorgt voor een automatische herberekening van de hele produktketen. Bovendien is het mogelijk meer dan één maatregel tegelijk in te zetten. Het programma draait op een DOS-PC onder Windows (5).

Studentactiviteiten

In twee sessies van ongeveer drie uur dient de student met het programma een aantal opdrachten uit te voeren. Ter voorbereiding neemt de student een hoofdstuk in het opdrachtenboek over het ketenmodel en de twee produktketens door. In de eerste sessie werkt de student met de kunstmestketen. In deze sessie leert de student eerst hoe hij/zij gegevens moet opvragen en interpreteren. Geleidelijk neemt de complexiteit van de opdrachten toe. Aan het eind van de sessie volgt een open opdracht die het nodige inzicht en initiatief van de student vergt. Om een enigszins systematische werkwijze te stimuleren wordt de student hierbij een werkmodel geboden dat de opdracht ontleedt in een aantal belangrijke vragen. Het opdrachtenboek bevat als terugkoppeling een uitgebreide uitwerking van deze vragen.

Na de eerste sessie wordt van de student verwacht dat deze in de tweede sessie geheel zelfstandig een vergelijkbaar complex probleem voor de andere casus, de leerketen, kan oplossen. De student dient de bevindingen, argumenten en conclusies vast te leggen in een verslag van maximaal vier pagina's. Bij de beoordeling van dit verslag wordt veel belang gehecht aan de kwaliteit van de argumentatie en de kwalitatieve en kwantitatieve onderbouwing daarvan.

Conclusies

Twee belangrijke leerdoelen van de cursus Milieu en technologie zijn het ontwikkelen van een attitude om te leren denken in termen van produktlevenslopen en het aanleren van analyse- en toepassingsvaardigheden op dat gebied. Deze leerdoelen zijn niet eenvoudig aan te leren met het bestuderen van alleen schriftelijk materiaal. Het computerprogramma 'Integraal ketenbeheer' biedt de student een concreet instrument om ketens te manipuleren. De student zal steeds keuzes en afwegingen moeten maken op basis van inschattingen, verwachtingen en gebleken effecten, en deze vervolgens moeten beargumenteren in een verslag. Het uitvoeren van de opdrachten behorend bij het programma zal zeker het inzicht in het concept integraal ketenbeheer verdiepen, hetgeen ook al is gebleken uit de uitwerkingen van de opdrachten die van de eerste groep studenten zijn binnengekomen.

Voordelen van het computerprogramma 'Integraal ketenbeheer' zijn:

- Het bieden van een adequate en concrete representatie van een produktketenmodel. De open structuur gekoppeld aan de online hulpfaciliteit van het programma biedt studenten de gelegenheid om zelfstandig te bepalen op welke wijze zij het programma willen doorlopen. Er is niet één vooraf geprogrammeerde volgorde.
- De directe beschikbaarheid van de rekenresultaten wanneer de keten wordt gewijzigd.
- Grote flexibiliteit: alle casusgegevens, inclusief die van de milieumaatregelen, bevinden zich buiten het programma in aparte databases en kunnen daardoor gemakkelijk worden onderhouden en aangepast. Ook uitbreiding met andere cases is mogelijk. Een probleem

daarbij is echter dat in veel gevallen onvoldoende betrouwbare gegevens beschikbaar zijn.

Nadelen zijn:

- Er wordt uitgegaan van onvertakte, lineaire produktketens terwijl de realiteit meestal veel complexer is. Hierop wordt echter nadrukkelijk gewezen in het cursusmateriaal.
- Hoewel de gebruikte cases sterk vereenvoudigd worden behandeld, genereert het programma een grote hoeveelheid getallen. Ofschoon die getallen vanuit een inhoudelijk perspectief wenselijk en noodzakelijk zijn, kunnen ze belemmerend werken in het leerproces.
- De beschikbare cijfers in de cases zijn niet altijd even betrouwbaar. Cumulatie van onzekerheden kan soms tot vreemde resultaten leiden. Bovendien zijn er geen gegevens beschikbaar over de nauwkeurigheid van de gebruikte data, terwijl die wel één van de criteria bij de gegeven argumentatie zou moeten zijn.
- Binnen het gehanteerde model wordt de milieubelasting steeds uitgedrukt in kwantitatieve gegevens. Verspilling, aantasting (zoals bij delven van grondstoffen) en verstoring (zoals bij geluidsoverlast) komen hoogstens kwalitatief tot uiting, mede vanwege het ontbreken van cijfermateriaal.
- Alle cijfers zijn genormeerd per kg kunstmest (of per kg leer). Van maatregelen die zijn gericht op het terugdringen van het absolute gebruik kunnen geen effecten worden berekend.
- Van de studenten wordt gevraagd zeer verschillende zaken tegen elkaar af te wegen, zoals milieueffecten in water tegenover milieubelasting in lucht of bodem, evenals milieueffecten tegenover economische en sociale aspecten. Dit is een moeilijke, zo niet onmogelijke, opgave. Niettemin geeft het de studenten wel inzicht in de complexiteit van integraal ketenbeheer. In het kader van deze cursus is het met name van belang dat studenten hun resultaten gebruiken om tot een plausibele, onderbouwde redenering te komen. De vraag aan welke factoren welk gewicht dient te worden toegekend, treedt minder op de voorgrond en kan in zekere zin naar persoonlijk inzicht, bij voorkeur met enige argumentatie, worden ingevuld. De student zal daarbij zelf de validiteit van de uitkomsten moeten taxeren.

Het begrip 'integraal ketenbeheer' is zeer complex. Toch dient er een poging te worden ondernomen om dit begrip meer inzichtelijk te maken voor studenten die er later in hun beroepsuitoefening zeker mee te maken zullen krijgen. Een simulatiemodel voor integraal ketenbeheer waarin verschillende milieumaatregelen kunnen worden ingezet en afgewogen, is daarbij een zinvol en noodzakelijk hulpmiddel.

Literatuur en noten

1. Cursus Milieu en technologie van de Open universiteit, 1992.

2. Tebodin, Advies- en Ingenieursbureau, Maatregelen voor produktketens van fosfaatmeststoffen en leder, rapport 331136, juni, 1992.
3. Handleiding voor milieugerichte levenscyclusanalyses van produkten, Centrum voor Milieukunde Rijksuniversiteit Leiden, 1991.
4. C.F. van Parreren en J.A.M. Carpaij, Leerpsychologie en onderwijs, deel 2, Wolters Noordhoff, 1972.
5. Het programma is met een object-georiënteerd methode ontwikkeld in Toolbook onder Windows; de rekenkern is geschreven in Pascal. Het programma draait op een DOS-PC onder Windows-3.1 met een 80386-processor en met minimaal 4 MB intern geheugen.
6. W. Westera, Rekenmodel integraal ketenbeheer, Interne notitie, 1993.