

# **Levenscyclusanalyse voor onderzoekers, ontwerpers en beleidsmakers**

Omslag: ontwerp van Jacques Schievink, naar een idee van de auteurs en L.H. van Amerongen.

Foto van Battersea Power Station (Londen, UK) van R.J. van Mourik.

Papier binnenwerk: 100% kringlooppapier.

# **Levenscyclusanalyse voor onderzoekers, ontwerpers en beleidsmakers**

**R.M. Bras-Klapwijk**

**R. Heijungs**

**P. van Mourik**

© VSSD

Eerste druk 2003

Elektronische versie 2007

Uitgegeven door:

VSSD

Leeghwaterstraat 42, 2628 CA Delft, The Netherlands

tel. +31 15 27 82124, telefax +31 15 27 87585, e-mail: [hlf@vssd.nl](mailto:hlf@vssd.nl)

internet: <http://www.vssd.nl/hlf>

URL over dit boek: <http://www.vssd.nl/hlf/b002.htm>

De verzameling illustraties in dit boek is desgewenst voor docenten in digitale vorm beschikbaar. Een verzoek tot levering kan worden gericht aan e-mail [hlf@vssd.nl](mailto:hlf@vssd.nl).

*All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the publisher.*

NUR 973

Trefw.: levenscyclusanalyse.

Gedrukte editie:

ISBN 978-90-407-2385-8

Elektronische versie:

ISBN 978-90-6562-103-0

# Ten geleide

Nadat de aandacht in milieubeleid en milieutechnologie aanvankelijk beperkt was tot individuele fabrieken en activiteiten, verschoof eind jaren tachtig van de vorige eeuw de aandacht in de richting van *ketens* van fabrieken en activiteiten. Eerst ging het daarbij vooral om verpakkingen (denk hierbij aan de afweging tussen melkflessen en melkpakken), maar gaandeweg werd de analyse verbreed tot voedingsproducten, vervoersmiddelen, energiesystemen en de bouw. De termen levenscyclusanalyse en LCA werden omstreeks 1990 geïntroduceerd voor dit type vergelijkende product-studies. Het vakgebied LCA vormt daarmee de basis voor een wetenschappelijke beoordeling van de milieuverdiensten van producten. Daarmee is het een noodzakelijk instrument voor beleidsmakers, product-ontwerpers en ketenmanagers.

Met het verbreden van de mogelijkheden groeide de behoefte aan een eenduidige methode, met een uniforme terminologie. Dit heeft geleid tot de ontwikkeling van methodische richtlijnen voor het uitvoeren van LCA, en tot een standaardisatieproces binnen de 14040-serie van de ISO in de tweede helft van de jaren 90. Daarnaast is de toepasbaarheid van LCA snel toegenomen door de beschikbaarheid van een ruime keus aan programmatuur en gegevensbestanden. Een andere belangrijke ontwikkeling betreft die van het milieukunde- en duurzaamheidsonderwijs aan universiteiten en hogescholen. Ook het zogeheten vergroenen van traditionele curricula, heeft geleid tot de opname van LCA als vak binnen diverse studierichtingen, van chemie tot technische bestuurskunde en van industrieel ontwerpen in de vorm van eco-design tot biologie.

Het is een goede zaak dat deze nieuwe en veel omvattende publicatie met de laatste inzichten over LCA tot stand gekomen is. De combinatie van een beschrijving van LCA als methode en van LCA als maatschappelijk proces is zeer wenselijk. Immers, gebruik van LCA vereist een evenwichtige analyse, waarbij gebruik gemaakt wordt van een wetenschappelijk verantwoorde methode en er tegelijkertijd oog is voor het benodigde draagvlak. Het boek is niet alleen belangrijk voor wetenschappelijke verdieping voor medewerkers en studenten van universiteiten en andere kennisinstellingen. Maar het is ook van groot belang voor ontwerpers in bedrijven, alsmede de ontwerpers van onze toekomst, die zich steeds meer niet alleen richten op

– fysieke – producten maar ook op – gedematerialiseerde – diensten en product-systemen. De keuze om de rol van LCA binnen productontwerp en -ontwikkeling apart te beschouwen maakt het boek zeer bruikbaar voor bedrijven en ingenieursopleidingen.

Wij hopen dat veel studenten met dit boek op het spoor van LCA worden gezet, en er hun voordeel mee doen in de totstandkoming van een duurzame productie en consumptie, hetzij vanuit productontwikkeling, hetzij vanuit beleidsontwikkeling.

Delft/Leiden, maart 2003

Prof. dr. ir. J.C. Brezet,  
Technische Universiteit Delft,  
Faculteit Industrieel Ontwerpen, Sectie Design for Sustainability

Prof. dr. H.A. Udo de Haes,  
Universiteit Leiden  
Centrum voor Milieukunde

# Voorwoord

Levenscyclusanalyse (LCA) is een belangrijk hulpmiddel om de gevolgen van de door de mens veroorzaakte milieubelasting in kaart te brengen. Vanuit Nederland zijn belangrijke bijdragen geleverd aan de ontwikkeling van dit nog jonge vakgebied. Het Centrum voor Milieukunde van de Universiteit Leiden heeft hierin een voornamelijk en voortrekkende rol gespeeld. Reeds in 1992 werd in Nederland een praktische handleiding voor het uitvoeren van een LCA gepubliceerd die onlangs (2002) met steun van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) uitgebreid en aangepast aan de recente ontwikkelingen, een herdruk mocht beleven. Eén van de auteurs (R. Heijungs) was bij beide publicaties nauw betrokken. Het vakgebied heeft talrijke raakvlakken met al langer gevestigde disciplines. In communicatie met deze disciplines en bij de opleiding van een nieuwe generatie ontwerpers, beleidsmakers en natuurwetenschappers ontbrak een adequaat studieboek. Dit manco werd uiteraard sterk gevoeld bij diegenen die de taak hebben de nieuwe generatie studenten vertrouwd te maken met de elementaire uitgangspunten en uitvoeringspraktijken van LCA. Dat zijn zij die de colleges aan Nederlandse universiteiten en hogescholen verzorgen voor studenten uit een breed scala van studierichtingen die hetzij tijdens hun studie, hetzij in hun latere beroepspraktijk als ontwerper, ingenieur of beleidsmaker met allerlei aspecten van LCA in aanraking komen.

Daarom nam één van de auteurs (R.M. Bras-Klapwijk) het initiatief tot het schrijven van een studieboek, primair bestemd voor Nederlandse universiteiten en hogescholen, dat de genoemde elementaire uitgangspunten en uitvoeringspraktijken beknopt, maar met perspectief op, met name, het ontwerpen zou presenteren. Concreet uitgewerkt betekende dit uitgangspunt dat het boek zich zou dienen te richten op het niveau van het tweede jaar van de universiteit of hogeschool. Gelukkig vond dit uitgangspunt een gunstig onthaal bij het Ministerie van VROM, dat een aanmerkelijke financiële ondersteuning bood. De Faculteit Techniek, Bestuur en Management van de Technische Universiteit Delft en het Centrum voor Milieukunde boden een gunstige intellectuele thuisbasis voor dit boek.

Halverwege de uitvoering van dit initiatief werden de eerste twee hoofdstukken gepresenteerd aan enkele actieve docenten van dit vak in Nederland. Hun terugkoppeling bleek waardevol te zijn en is verwerkt in de thans voor u liggende tekst. Met name wordt hier de bijdrage genoemd van dr. E. Nieuwlaar (Universiteit Utrecht). Actieve ondersteuning en waardevolle discussiebijdragen zijn afkomstig van prof. dr. H.A. Udo de Haes (Centrum voor Milieukunde van de Universiteit Leiden), prof. dr. H. Brezet en dr.ir. K.F. Mulder (beiden verbonden aan Faculteit voor Techniek, Bestuur en Management van de Technische Universiteit Delft). Tijdens het schrijven van dit boek genoot een van de auteurs (P. van Mourik) gastvrijheid bij de Sectie Polymeerkunde van de Faculteit Technische Natuurwetenschappen van de TU Delft.

Het thans voorliggende boek is het resultaat van een gelukkige samenwerking tussen “Delft” en “Leiden”, tussen een “technische” en een “algemene” universiteit. Wij houden ons aanbevolen voor opbouwende kritiek. Hierbij denken we vooral aan hen voor wie dit boek bestemd is: studenten van velerlei richtingen uit velerlei instellingen van tertiair onderwijs.

Delft/Leiden, voorjaar 2003

R.M. Bras-Klapwijk, R. Heijungs & P. van Mourik



# Aanwijzingen voor zelfstudie

De stof uit dit boek is in een reeks van jaren gedoceerd aan studenten uit verschillende studierichtingen. Academische studie vooronderstelt grote zelfstandigheid. Daarom is getracht de stof in dit boek zodanig te presenteren dat deze in zelfstudie bestudeerd kan worden. In Hoofdstuk 1 komen enkele elementaire begrippen uit de LCA in relatie tot de keuzen die consumenten, producenten, overheden en bedrijven dag aan dag maken. Met deze begrippen wordt in Hoofdstuk 2 de methode van LCA stapsgewijs op zoveel mogelijk principiële grondslag gepresenteerd, systematisch en gelardeerd met praktische voorbeelden. In Hoofdstuk 3 komt de rol die de maatschappelijke actoren spelen in relatie tot de uitvoering van een LCA aan de orde. Met andere woorden, in Hoofdstuk 3 wordt de maatschappelijke context, zowel van organisaties als van beleid, van een LCA in uitvoering geschetst. Hoofdstuk 4 geeft het verband tussen LCA en het industrieel ontwerpen als een ingenieursactiviteit weer. Hoofdstuk 5 behandelt enkele praktijkvoorbeelden, van concrete LCA-studies tot beleidsprocessen waarin LCA een rol speelde. In elk hoofdstuk zijn studievragen verwerkt, waarvan de antwoorden af te leiden zijn uit de teksten die in de onmiddellijke nabijheid staan van deze vragen. De antwoorden op deze vragen zijn ten behoeve van zelfstudie verzameld in de Appendix Antwoorden op Studievragen.

Zoals hierboven al is aangegeven, geven de verschillende onderdelen van dit boek verschillende aspecten van de LCA-methode. Wie eerst een overzicht van de LCA-methode wil hebben kan het beste met Hoofdstuk 2 beginnen en in aansluiting hierop § 5.2 LCA van linoleum en § 5.4 LCA als ondersteuning van besluiten: oud papier, verbranden of recycleren bestuderen. Wie vooral in de beleidsmatige kant van LCA is geïnteresseerd, legt de nadruk op Hoofdstuk 3, dat overigens Hoofdstuk 2 als globale voorkennis heeft. Bij hoofdstuk 3 sluiten aan § 5.3 LCAs in het publieke debat: het voorbeeld van PVC en chloor en de al genoemde § 5.4. Wie geïnteresseerd is in het toepassen van LCA in ontwerpprocessen raden we aan de Hoofdstukken 2 en 4 te lezen en § 5.5 LCA van DutchEVO, een lichtgewicht auto.

Het boek heeft zes appendices. De Appendix Begrippen verzamelt enkele LCA-kernbegrippen. De Appendix Berekeningen geeft inzicht in de opzet van matrixrekening zoals toegepast bij de Inventarisatie. De Appendix Materiaalkeuze en LCA laat het verband zien tussen LCA en materiaalkunde. Enig inzicht in de historie en de aard van de technologische ontwikkeling wordt geboden in een afzonderlijk Appendix. De Appendix Studie-opdrachten verzamelt enkele opdrachten zonder antwoorden die in zelfstudie beantwoord kunnen worden.

Het boek is speciaal geschreven voor zelfstudie. Het biedt de lezer de volgende hulpmiddelen hiervoor:

- De gedetailleerde inhoudsopgave laat in één oogopslag zien het verband tussen de verschillende onderdelen van de stof.
- Elk hoofdstuk begint met een cursief gedrukte samenvatting van de inhoud van dat hoofdstuk.
- De tekst is zo compact mogelijk geschreven, in samenhang met de figuren.
- Terugzoeken is mogelijk via de Index en de Inhoudsopgave.
- De studievragen in de tekst noden uit tot nadenken; voor de noodzakelijke terugkoppeling zorgt de Appendix Antwoorden op Studievragen.
- De gehanteerde begrippen zijn verzameld in een afzonderlijke Appendix.

De schrijvers van dit boek zijn uiteraard van mening dat de hier gepresenteerde stof van belang is voor een elementaire kennismaking met een vakgebied dat zowel relevant is voor de latere beroepsuitoefening van studenten als voor hun academische vorming. Voor een blijvende verwerving van kennis en inzichten is naar hun oordeel zelfstudie een noodzakelijke voorwaarde.

# Inhoud

|   |    |
|---|----|
| TEN GELEIDE   | 5  |
| VOORWOORD   | 7  |
| Aanwijzingen voor de zelfstudie   | 9  |
| 1 MILIEUBEWUSTE PRODUCTKEUZEN   | 13 |
| 1.1 LCAs als ondersteuning van productkeuzen  | 13 |
| 1.2 Produceren en duurzame ontwikkeling   | 15 |
| 1.3 Kenmerken van LCA   | 17 |
| 1.4 Historische en internationale context   | 21 |
| 2 LEVENSCYCLUSANALYSE, AANPAK, KENMERKEN EN BEPERKINGEN   | 23 |
| 2.1 Inleiding   | 23 |
| 2.2 Vaststelling van Doel en Reikwijdte   | 25 |
| 2.2.1 Bepaling van doeleinde en maatschappelijke context  | 26 |
| 2.2.2 Bepaling van de vergelijkingsbasis: functionele eenheid, referentiestroom en oplossingsruimte | 27 |
| 2.2.3 Eenheidsproces en reikwijdte: formulering van de operationele LCA-vraag                       | 30 |
| 2.3 Inventarisatie  | 33 |
| 2.3.1 Procesboom  | 34 |
| 2.3.2 Verzameling van gegevens voor de eenheidsprocessen uit de procesboom                          | 35 |
| 2.3.3 Bepaling van de ingreep tabel; toerekening door substitutie of verdeling                      | 40 |
| 2.3.4 Model, keuzen en interpretaties   | 44 |

---

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 2.4   | Effectbeoordeling  | 45  |
| 2.4.1 | Indeling van de milieu-effecten: selectie van effectcategorieën en karakteriseringsmodellen  | 46  |
| 2.4.2 | Grootte van de milieu-effecten: karakterisering, normalisatie en weging                      | 49  |
| 2.5   | Interpretatie  | 54  |
| 2.5.1 | Analyse  | 54  |
| 2.5.2 | Conclusies en evaluaties   | 57  |
| 2.5.3 | Een praktijkvoorbeeld: buitenrioleringen van PVC, beton of gres                              | 58  |
| 3     | LEVENSCYCLUSANALYSE IN MAATSCHAPPELIJKE UITVOERING   | 62  |
| 3.1   | Inleiding: besluitvormingssituaties  | 62  |
| 3.2   | Typen besluitvorming en de rol van LCA-studies   | 67  |
| 3.3   | Opzet van een participatief studieproces en gezamenlijke vaststelling van doel en reikwijdte | 74  |
| 3.3.1 | Over de procesmatige aspecten van de opzet van een LCA                                       | 74  |
| 3.3.2 | Over de formulering van de onderzoeksvraag   | 79  |
| 3.4   | Maatschappelijke actoren en inventarisatie   | 84  |
| 3.5   | Effectbeoordeling door maatschappelijke actoren  | 90  |
| 3.5.1 | Inleiding  | 90  |
| 3.5.2 | Over de positiebepaling van maatschappelijke actoren   | 91  |
| 3.5.3 | Over de beslispunten bij de effectbeoordeling  | 95  |
| 3.6   | Maatschappelijke actoren en interpretatie  | 99  |
| 4     | LEVENSCYCLUSANALYSE EN HET ONTWERPEN<br>door J.A.M. Remmerswaal en P. van Mourik             | 102 |
| 4.1   | Inleiding: productontwikkeling en LCA  | 102 |
| 4.2   | Ontwerpen  | 107 |
| 4.3   | Ontwerpstrategieën   | 112 |
| 4.4   | Productontwikkeling, LCA en PvE  | 118 |
| 4.5   | Problemen met LCAs bij het ontwerpen   | 123 |
| 5     | VIER LCA-PRAKTIJKVOORBEELDEN   | 127 |
| 5.1   | Inleiding  | 127 |
| 5.2   | LCA van linoleum   | 129 |
| 5.3   | LCAs in het publieke debat: het voorbeeld van PVC en chloor                                  | 132 |
| 5.3.1 | Inleiding en het ontstaan van een publiek debat over PVC                                     | 132 |
| 5.3.2 | De posities van maatschappelijke actoren in het PVC-debat                                    | 134 |

|  |     |
|--|-----|
| 5.3.3 LCAs van PVC-producten en de chloorbalans                                      | 136 |
| 5.3.4 Gebruik van LCA-argumenten in het publieke debat                               | 140 |
| 5.4 LCA als ondersteuning van besluiten: oud papier, verbranden of recycleren        | 141 |
| 5.5 LCA van DutchEVO, een lichtgewicht auto door J.A.M. Remmerswaal en P. van Mourik | 146 |
| 5.5.1 LCA-uitkomsten voor een gemiddelde Nederlandse auto                            | 147 |
| 5.5.2 Overwegingen voor het DutchEVO-ontwerp   | 148 |
| 5.5.3 LCA van de ultralichtgewicht auto DutchEVO                                     | 149 |
| 5.5.4 Vergelijking van DutchEVO met de huidige gemiddelde Nederlandse auto           | 152 |
| APPENDIX 1 DEFINITIES VAN BEGRIPPEN  | 155 |
| APPENDIX 2 BEREKENINGEN IN DE INVENTARISATIE   | 157 |
| A2.1 Matrixrekening  | 157 |
| A2.2 De keuze van software   | 161 |
| APPENDIX 3 MATERIAALKEUZE EN LCA   | 163 |
| A3.1 Inleiding   | 163 |
| A3.2 Over LCA-materiaalkeuze   | 164 |
| A3.3 Verkrijging van materialen  | 166 |
| A3.4 Beperkte voorraden en materiaalkeuze  | 168 |
| A3.5 LCA en de materiaalkeuze voor een automobieleronderdeel                         | 170 |
| APPENDIX 4 TECHNOLOGISCHE ONTWIKKELING   | 174 |
| A4.1 Inleiding   | 174 |
| A4.2 Conditie en wisselwerking   | 175 |
| A4.3 Innovatie   | 178 |
| APPENDIX 5 ANTWOORDEN OP STUDIEVRAGEN  | 182 |
| APPENDIX 6 STUDIE-OPDRACHTEN   | 190 |
| REFERENTIES  | 192 |
| BIBLIOGRAFIE   | 196 |
| TREFWOORDEN  | 200 |
| Over de auteurs  | 203 |

# 1 Milieubewuste productkeuzen

Een integrale vergelijking van milieu-invloeden veroorzaakt door produceren en consumeren van goederen en diensten, is noodzakelijk voor de keuzen die iedereen, producent, consument en overheid dag aan dag moet maken. Voor talrijke producten in talrijke situaties is dat niet doenlijk. De kruidenier op de hoek, of fietsen of autorijden worden in het algemeen niet gekozen op een daadwerkelijk kwantitatief inzicht in de gevolgen van deze keuzen voor het milieu. Voor producenten, consumenten en overheden zijn keuzen op grond van kwantitatieve inzichten pas mogelijk geworden door de ontwikkeling van de levenscyclusanalyse (LCA). In Hoofdstuk I wordt LCA als principiële concept geïntroduceerd, wordt de functie van LCA kort aangegeven en komen de principiële elementen van LCA als rekenmethode voor het voetlicht.

## 1.1 LCAs als ondersteuning van productkeuzen

Iedereen maakt elke dag keuzen die maatschappelijke gevolgen hebben. Men kiest voor de kruidenier op de hoek of voor de supermarkt in het winkelcentrum. Consumenten kiezen uit verschillende producten, bijvoorbeeld uit verschillende middelen om de afwas te doen. Zeep en afwasteiltje hebben andere maatschappelijke implicaties dan vaatwasmachine en waterontharder. Bedrijven kiezen voor bepaalde middelen en locaties om hun productie van goederen mogelijk te maken. Voor ontwerpers is het maken van een verantwoorde materiaalkeuze een integraal onderdeel van het ontwerpproces. Bij het kiezen van een product spelen uiteenlopende criteria zoals kosten, veiligheid, vormgeving, gebruiksgemak en imago een rol. Het product dat het beste voldoet aan de verwachtingen of eisen van de kiezer krijgt meestal de voorrang. Steeds meer nemen producenten en consumenten milieu-criteria mee in hun productkeuzen. In eerste instantie gebeurt dit vaak op intuïtieve wijze, bijvoorbeeld op basis van niet-geverifieerde inzichten, zoals 'een product dat gerecycleerd kan worden is beter voor het milieu' of 'natuurlijke kleurstoffen veroorzaken minder milieubelasting dan synthetische'. Sinds de jaren 1980 bestaat een methode om de milieu-effecten van producten systematisch te analyseren en te evalueren: de *levenscyclusanalyse* (LCA; Engels: LifeCycle Assessment). LCAs geven informatie

over de milieu-effecten van producten. De term product is hier breed genomen, dit kunnen zowel goederen als diensten zijn.

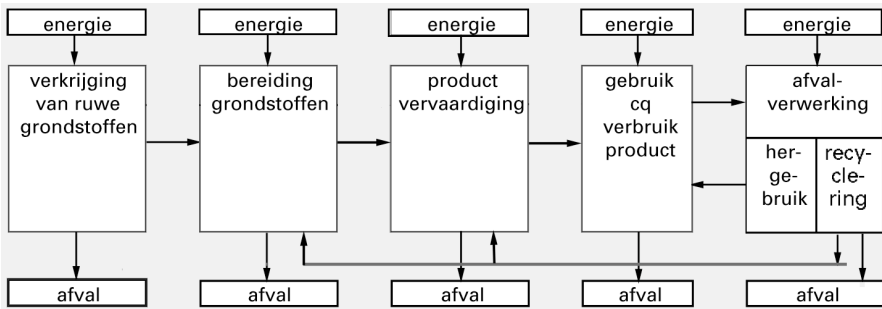
LCA draagt bij tot een integraal beeld van de milieu-effecten van een product. Het begrip milieu-effecten wordt in §1.3 gedefinieerd. Elk product is onderdeel van een keten van grondstof tot en met afdanking, hergebruik en recycleren. Indien voor productalternatieven LCAs beschikbaar zijn, dan kunnen keuzen van consumenten en producenten niet alleen intuïtief gemaakt worden, maar ook op basis van een integrale vergelijking van de milieu-effecten. Het integrale van deze vergelijking komt doordat in een LCA *alle relevante milieu-effecten* in de vergelijking worden betrokken. Daarbij kan gedacht worden aan het broeikaseffect, effecten voor de ozonlaag, verzuring en bodemverontreiniging. Het integrale volgt verder uit het betrekken van *alle schakels* van de keten van grondstof via productie, transport, consumptie tot en met afdanking, in de vergelijking. Kenmerkend voor een LCA is dus de gerichtheid op een verscheidenheid aan milieu-effecten en op de gehele keten of levenscyclus, zie Figuur 1.1 (Curran, 1996). Deze integrale benadering kan aantonen dat bij veranderingen in de keten problemen kunnen verschuiven. Bij het opstellen van LCAs spreekt men in zo'n geval van afwenteling. Het volgende is een voorbeeld.

Een wasmiddelenfabrikant ontwikkelt een nieuw waspoeder. Het verbruik van energie en grondstoffen voor de productie vermindert met een factor twee. Het poeder vereist echter voor de consument wassen bij sterk verhoogde temperatuur, waardoor er per wasbeurt meer energie wordt verbruikt. Bovendien, consumententoepassing van het nieuwe waspoeder geeft schadelijke emissies naar het oppervlaktewater. Geïntegreerd over de hele keten stijgt het energieverbruik.

LCAs informeren over de milieu-effecten van producten waardoor producenten en consumenten milieucriteria in hun vergelijkingen kunnen betrekken. LCA is het hoofdonderwerp van dit boek:

*Levenscyclusanalyse van een product is de berekening van milieu-effecten die dat product heeft op het milieu tijdens alle fasen van zijn levenscyclus: van productie, transport en consumptie tot aan het verwerken van het afval.*

De LCA-methode is gericht op het integraal berekenen van de milieu-effecten van een product. De bedrijfseconomie leert, dat een bedrijf een bepaald product voortbrengt op basis van een zo nauwkeurig mogelijke en integrale kostencalculatie, waarin de door het bedrijf gemaakte kosten aan dat product worden toegerekend. Een LCA is een soort kostprijsberekening, maar dan voor milieu-effecten. Alle milieu-effecten in de gehele keten worden toegerekend aan dat product.



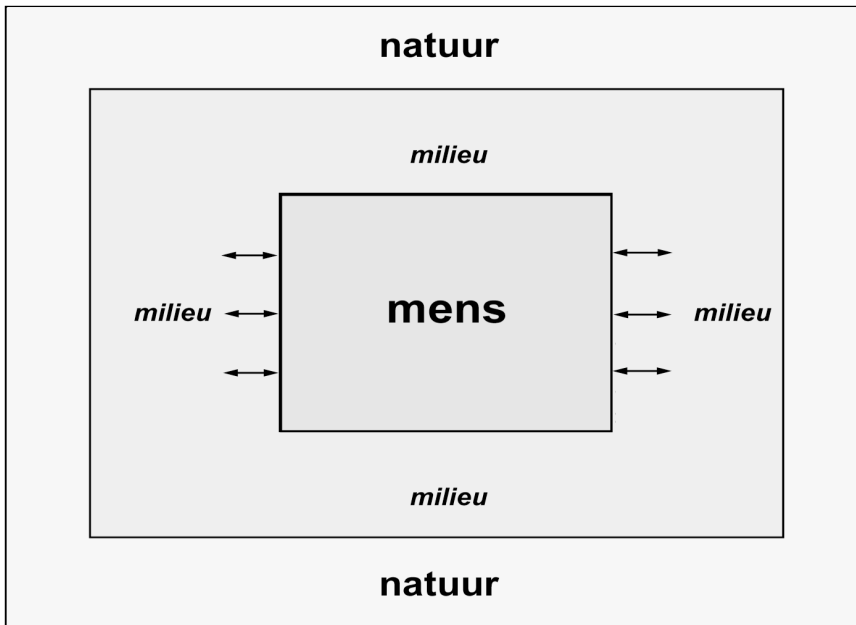
Figuur 1.1. Keten van grondstof tot afval (Curran, 1996).

## 1.2 Produceren en duurzame ontwikkeling

Iedereen consumeert en produceert. Dit zijn twee begrippen die onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn. Immers, productie is altijd gericht op consumptie, consumptie produceert onvermijdelijk afval, terwijl productie slechts mogelijk is door consumptie en dus altijd met afvalproductie gepaard gaat. Bedrijven en organisaties consumeren producten en brengen producten voort. Diensten zijn immaterieel, maar zij worden verkregen door materiële consumptie. Kenmerkend bij diensten is dat de voor de dienst gebruikte producten eigendom blijven van de dienstverlener. De kapper blijft eigenaar van zijn scharen, föhn en kapstoel. Niet-gewenste producten heten *afval*. Het geheel van gewenste en niet-gewenste producten vertoont in een land als Nederland een buitengewoon grote variatie en verandert voortdurend. Menselijke activiteiten, zoals produceren en consumeren, vinden niet plaats in een vacuum, maar staan in wisselwerking met het milieu. De keten in Figuur 1.1 heeft ingrepen op het milieu door onttrekken van grondstoffen, door emissies van stoffen naar lucht, water en bodem, door landschapsaantasting en door ruimtebeslag. Het *milieu* van de mens is een onderdeel van de natuur en laat zich definiëren als dat gedeelte van het heelal waarmee die menselijke activiteiten wisselwerking hebben. Bij milieu gaat het om de fysieke omgeving. De fysieke omgeving bevat niet-levende (abiotische) elementen zoals gesteente, bodem, water, lucht en levende (biotische) elementen zoals planten en dieren. De wisselwerking tussen mens en milieu is in Figuur 1.2 afgebeeld. De veranderingen in het milieu hebben op hun beurt effect op het menselijk handelen. Veranderingen in het landschap kunnen de afvoer van regenwater versnellen, waardoor uiteindelijk dijkverhoging noodzakelijk wordt.

Nog maar kort geleden werd het milieu niet als iets eindigs ervaren. Het verschijnen van het Rapport van de *Club van Rome* is het begin geweest van een wereldwijde verandering van gezichtspunt (Meadows et al., 1972). De Club van Rome, een internationale groep van vooraanstaande zakenmensen en wetenschappers, beschreef de vooruitzichten voor de groei van de wereldbevolking en de wereldeconomie. Er werden vragen gesteld als: wat zal er gebeuren indien de wereldbevolking onbelemmerd blijft groeien? Wat kunnen de gevolgen zijn voor het milieu bij voortgaande groei van de economie? Hoe kan de wereldeconomie de hele wereldbevolking van het nodige voorzien? Wat zijn de grenzen aan de groei? De resultaten

van de modelberekeningen in dit Rapport maakten velen bewust van de grenzen aan de groei. Er zijn minstens twee omstandigheden die deze verandering van gezichtspunt hebben bevorderd: de bevolkingsgroei en de voortgaande groei van productie en consumptie per persoon. Deze veroorzaken een intensivering van activiteiten op veel plaatsen in de wereld, zoals veehouderij, autoverkeer en petrochemische industrie. Hierdoor werden de menselijke ingrepen in het milieu steeds intensiever en grootschaliger. Op veel plaatsen in de wereld heeft dit geleid tot veranderingen in de natuur die onomkeerbaar zijn, en die tot blijvende schade leiden. Te denken valt aan het uitputten van grondstoffen en het uitsterven van dieren- en plantensoorten.



Figuur 1.2. Het milieu van de mens.

Menselijke behoeften lijken wel oneindig: iedereen wil lang en gezond leven. Het milieu blijkt eindig te zijn. Het Rapport van de Commissie Brundtland in opdracht van de Verenigde Naties (Brundtland, G.H. et al, 1987) tracht een uitweg uit dit dilemma te vinden via het begrip 'duurzame ontwikkeling'. Dat is het streven naar een behoeftevervulling van de huidige generaties zonder die van de toekomstige generaties nadelig te beïnvloeden. De preventie van blijvende milieu-effecten is op grond van deze definitie van duurzame ontwikkeling essentieel voor het maken van keuzen door producenten en consumenten. Het uitgangspunt van duurzame ontwikkeling is ook verwoord door de Nederlandse overheid (VROM en EZ, 1993). Het kiezen van producten die passen bij dit uitgangspunt, wordt daarmee belangrijk. Om na te gaan of en in hoeverre hiervan sprake is, kunnen LCAs een belangrijke rol spelen.

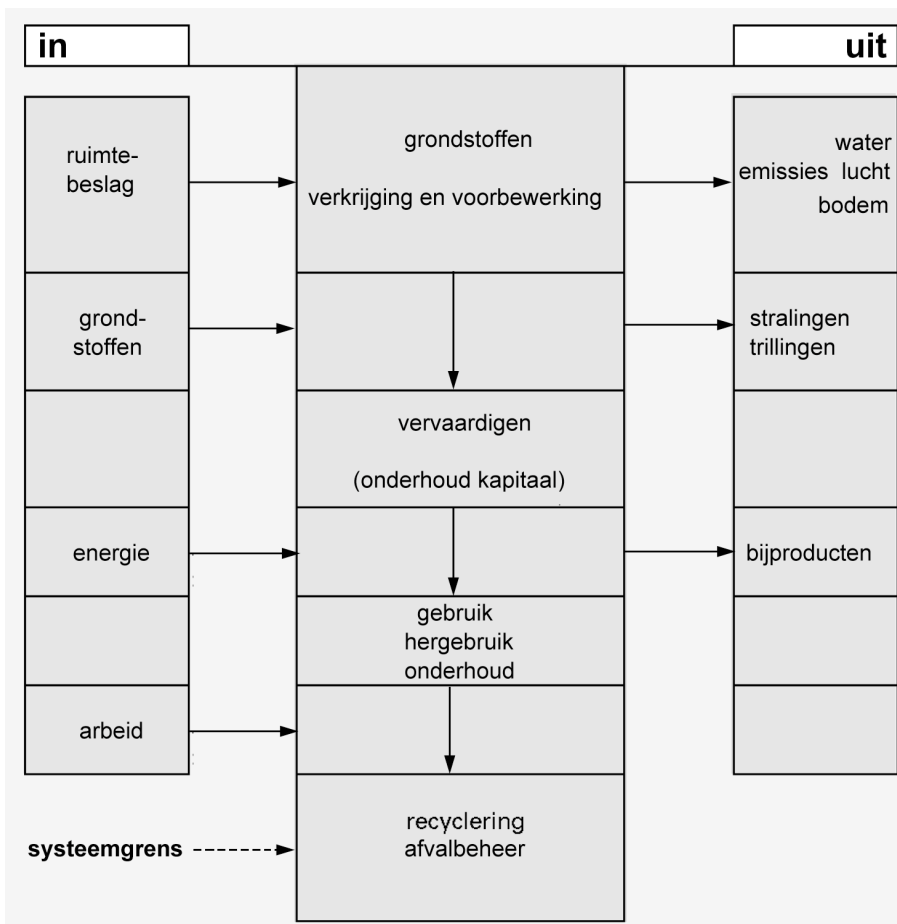


## 1.3 Kenmerken van LCA

Sinds de jaren 1980 zijn LCAs tot ontwikkeling gebracht. In de sindsdien gegroeide praktijk en gewoonten zijn LCAs enkele belangrijke kenmerken gaan vertonen. Enkele van deze kenmerken en van de met LCAs verbonden begrippen, waarvan er enkele reeds hiervoor genoemd werden, zullen hieronder worden aangegeven.

### Productstelsel

Een product wordt altijd voortgebracht door een geheel van productiefactoren: menselijke arbeid, kapitaal, grondstoffen, energie, ruimtebeslag. Het gedeelte van de maatschappij dat zich bezighoudt met de productie/consumptie en afvalverwerking van een bepaald product heet een *productstelsel*. Het productstelsel omvat van de wieg-tot-het-graf het verkrijgen, de consumptie en het afdanken van het product. Het product verlaat dus niet het productstelsel. Elk stelsel heeft natuurlijk een *in*-kant en een *uit*-kant en elk productstelsel heeft een ruimtebeslag. Figuur 1.3 toont samenhangend de hier genoemde principiële elementen. Het productstelsel is via in-



Figuur 1.3. In & Uit en systeemgrenzen van een productstelsel.

en uitstromen verbonden met het milieu. Aan de in-kant zijn dit het ruimtebeslag en het onttrekken van grondstoffen, zoals olie en metalen. Aan de uit-kant zijn dit onder meer de emissies naar water, lucht en bodem, stralingen en trillingen.

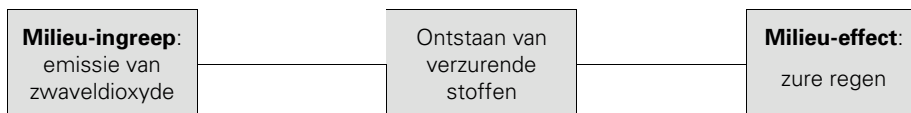
De grens van een productsysteem is in de praktijk vaak moeilijk te bepalen. Deze bepaling is dan ook een belangrijk onderdeel van een LCA. Afgedankte tuinstoelen worden vaak verwerkt tot bermpalen. Het zal duidelijk zijn dat de grens tussen de productsystemen van tuinstoelen en bermpalen niet eenvoudig te trekken is. De begrenzing moet niet alleen worden bepaald in de overgang van het zelfde materiaal voor verschillende producten (tuinstoelen of bermpalen), maar ook op het niveau van functievervulling. Immers, een industrieel ontwerper zal een product definiëren als dat wat een bepaalde functie vervult voor de mens. De functie verplaatsing kan vervuld worden door fietsen of door openbaar vervoer. Een LCA kan dus fietsen vergelijken met openbaar vervoer. Maar, een andere LCA kan voor fietsen als een gegeven product natuurlijk ook kunststoffen kettingkasten vergelijken met linnen kettingkasten. Ergo, LCAs kunnen op verschillende niveaus worden uitgevoerd: alternatieve producten of op het niveau van alternatieve productonderdelen.

**Vraag 1.1** Wat wordt verstaan onder kapitaal?

**Vraag 1.2** Het geheel van hulpmiddelen voor de vervaardiging van een product slijt. Geef in Figuur 1.3 aan waar deze slijtage in het productsysteem wordt ondergebracht.

### **Milieu-ingrepen en milieu-effecten**

*Milieu-ingrepen* zijn alle fysische onttrekkingen en toevoegingen aan het milieu die het gevolg zijn van de instandhouding van een productsysteem. Milieu-ingrepen kunnen zowel aan de in-kant als aan de uit-kant van een productsysteem liggen. Voorbeelden zijn onttrekking van grondstoffen en emissies naar water, bodem en lucht. *Milieu-effecten* zijn de gevolgen van milieu-ingrepen. Emissie van zwaveldioxyde als milieu-ingreep heeft zure regen als milieu-effect tot gevolg. De gedachtegang op basis van deze definities staat in Figuur 1.4. Met LCAs worden milieu-effecten van het productsysteem in kaart gebracht. Na de bepaling van de grenzen van het productsysteem, worden de milieu-ingrepen van dit systeem geïnventariseerd. Deze milieu-ingrepen worden vervolgens via de keten van Figuur 1.4 vertaald in milieu-effecten. Hoe deze vertaling tot stand komt, is het onderwerp van § 2.4. Uit de gegeven voorbeelden springt naar voren dat de definiëring van de systeemgrenzen en van de milieu-ingrepen zeer belangrijke onderdelen van een LCA zijn. Het opsporen van de milieu-ingrepen en van de milieu-effecten begint in het algemeen met het onderzoek van eigenschappen en samenstellingen van de hoofd- en bijproducten. Doordat elk product-systeem zich in ruimte en tijd afspeelt, kunnen de milieu-ingrepen en de milieu-effecten zich ook afspeelen verspreid over ruimte en tijd. De kunststoffen van de kettingkasten worden op verschillende tijdstippen en locaties vervaardigd, verwerkt tot kettingkasten en gemonteerd, terwijl tijd en plaats van gebruik en afdanking hiervan weer ver verwijderd zullen zijn.



Figuur 1.4. De keten van milieu-ingreep naar milieu-effect.

### Afwenteling

Het overzicht van de relevante milieu-effecten van de alternatieven vormt de basis voor de milieubeoordeling. Bij de bestudering van alternatieven zal in veel gevallen blijken dat vermindering van het ene milieu-effect een verhoging van een ander milieu-effect impliceert. Vervanging van de linnen kettingkast, betekent een vermindering van de emissie naar water door het achterwege blijven van het roten van het vlas. Maar de verkrijging van de kunststof voor de ABS-kettingkast (de toegepaste kunststof is ABS: acrylo-butadien-styreen) kent een eigen emissie naar water, bodem en lucht. Daarnaast heeft uiteraard de vlasverwerking een geheel ander ruimtebeslag dan de betrokken delen van de kunststof-industrie. De overgang van een linnen kettingkast naar een ABS-kettingkast zal een verandering van de ene milieu-ingreep (bijvoorbeeld emissie naar water) en een wijziging van een tweede milieu-ingreep te weeg brengen (bijvoorbeeld emissie naar lucht). Dit verschijnsel treedt steeds op bij overgang van het ene alternatief naar het andere. Het heet *afwenteling*: de ene ingreep met het ene effect wordt afgewenteld op de andere ingreep met het andere effect. LCA biedt nu de mogelijkheid door het bepalen van het totaal overzicht het totale effect van alle relevante ingrepen in kaart te brengen en zodoende de afwenteling inzichtelijk te maken.

### Dynamiek, onnauwkeurigheid en selectie

Vaak is de informatie over het productsysteem niet compleet. Bovendien, de vervaardiging van producten is niet een vaststaand gegeven: de productiemethoden van heden kunnen morgen verouderd zijn. Geen enkel product wordt verkregen in een maatschappelijk isolement. De maatschappelijke context verandert ook voortdurend. Zowel technologische als maatschappelijke ontwikkelingen hebben dus invloed op de keten van grondstof tot afvalverwerking en dus op het uitvoeren van een LCA in de maatschappelijke werkelijkheid. Daarom is er steeds een noodzaak tot het verbeteren van uitvoering en uitkomsten van LCAs. Op basis van uitgewerkte LCAs kunnen beargumenteerd verschillende alternatieven voor (onderdelen van) industriële systemen worden geselecteerd. De uitkomsten van LCAs kunnen wellicht bestaande emotionele voorkeuren ondergraven. Kunststoffen melkflessen kunnen per saldo kleinere milieu-effecten opleveren dan glazen melkflessen. Toch kan op basis van een normatief of politiek oordeel voor de wetgever of voor de consument één bepaald milieu-effect doorslaggevend zijn. Zo'n oordeel geven LCAs dus nooit. LCAs zijn slechts te beschouwen als de bouwstenen van een oordeel, maar nooit het oordeel zelf. Daarom dienen LCAs te berusten op toetsbare gegevens en een transparante analyse van relevante onderzoeksgegevens. Volgens de hier gegeven definitie is een LCA een operationele methode om milieu-effecten te bepalen. De ISO/NEN-norm geeft als

definitie (deze is in essentie niet afwijkend van de hiervoor gegeven definitie, zie ISO/NEN, 1998):

*LCA is een techniek voor de analyse van de milieu-aspecten en mogelijke effecten verbonden met een product.*

Essentieel voor LCA is de aanpak van de gehele keten. Deze holistische ketenaanpak van LCA (Engels: “cradle-to-grave”) kan verschillende doeleinden hebben:

- i. in het vizier krijgen van problemen met de oorsprong van het product,
- ii. vinden van verbetervarianten,
- iii. vergelijken van ontwerpvarianten, en
- iv. vinden van alternatieven voor het product in kwestie.

Deze doeleinden zijn alle verbonden met de productkeuze. Bij het nadenken over producten en product-alternatieven wordt wel een LCA-achtige denkwijze gehanteerd, vaak zonder enig rekenen. Schattenderwijze, vaak zelfs zuiver kwalitatief, worden alternatieven vergeleken. LCA biedt hiervoor een methodische en kwantitatieve aanpak.

Vele maatschappelijke actoren (overheid, bedrijfsleven, vakbonden, natuur- en milieu-organisaties, consumenten) spelen een rol op het terrein van de productie van goederen en diensten, elk met een eigen belangenbehartiging. LCA-resultaten kunnen een rol spelen in het maatschappelijk debat tussen al deze partijen. Deze verschillende vormen van LCA worden hier slechts genoemd om aan te geven dat LCA-resultaten op velerlei wijze gebruikt kunnen worden. Echter, het moet altijd duidelijk zijn dat LCA-uitkomsten als zodanig niet leiden tot oordelen over een bepaald product.

In het verlengde van het voorgaande merken we hier ook op dat LCAs slechts in verwijderd verband staan met het politiek bepaalde streven naar een vermindering van het totaal aan milieu-effecten door de gehele mensheid. Huidige generaties belasten het milieu op een bepaalde manier. Is deze milieulast groter dan de zogenaamde milieugebruiksruimte, dan verslechtert voor de mensheid als geheel de milieusituatie. Een duurzame ontwikkeling is mogelijk als de milieulast past bij de ter beschikking staande milieugebruiksruimte. Hoe groot de milieugebruiksruimte is, is voorwerp van voortgaand onderzoek. Daarbij speelt de definitie van duurzame ontwikkeling een belangrijke rol (zie § 1.2): de behoeftebevrediging van de huidige generaties mag die van de volgende generaties niet nadelig beïnvloeden. Een indicatie van de milieulast,  $I$ , wordt gegeven door de zogenaamde IPAT-formule (Graedel & Allenby, 1995):

$$I = P \times A \times T \quad (1.1)$$

Hierin is:  $P$  = grootte van de bevolking,  $A$  = omvang van de consumptie per hoofd per jaar en  $T$  = het totaal van milieu-effecten per eenheid van consumptie per hoofd (in deze formule wordt de eenheid van milieu-effecten, en dus van milieulast, ter nadere definiëring open gelaten).

**Vraag 1.3** Op welke van de termen uit de IPAT-formule hebben LCAs betrekking?

**Vraag 1.4** Bevatten LCAs uitspraken over lokale emissies?

## 1.4 Historische en internationale context

LCA-geschiedenis gaat terug tot begin jaren 70 van de 20ste eeuw. Toen zorgden het verschijnen van het Rapport van de Club van Rome (D. Meadows et al, 1972), de olieboycot van enkele Westerse landen en een wereldwijde erkenning van het bestaan van milieuproblemen (zie § 1.2), voor een vergrote aandacht voor de wisselwerking tussen industriële activiteiten annex consumptie en het milieu. Verschillende studies vloeiden voort uit deze vergrote aandacht (Ayres et al, 1969; Leontief, 1970; Victor, 1972). De aandacht voor de rol van energie in de economie nam toe, wat leidde tot het ontstaan van energie-analyse als een afzonderlijk onderzoeksonderwerp. Hierin komen de begrippen keten en afwenteling uitdrukkelijk aan de orde. Voor die energie-analyses stelde in 1974 de *International Federation of Institutes for Advanced Study, IFIAS*, relevante regels en afspraken op, om deze op een min of meer gestandaardiseerde wijze uit te voeren. De effecten op milieu en gezondheid leidden tot de oprichting van de *Society for Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC*. Voor het onderzoek van deze effecten stelde de SETAC, regels en afspraken op, cf. SETAC's *Code of Practice* uit 1993. In deze tijd vond ook de naam LCA steeds meer ingang. Voor een overzicht van de historische ontwikkeling van LCA in respectievelijk de Verenigde Staten van Amerika, Duitsland, Groot-Brittannië en Nederland zij hier verwezen naar Hunt et al, 1996, Oberflacher et al, 1996, Boustead, 1996 en Gabathuler, 1997. In sommige landen werden LCA-methoden beschreven die weliswaar niet als een wettelijk kader, maar vaak wel als een standaard golden, zoals in Nederland de Handleiding LCA uit 1992 (Heijungs et al, 1992). In Nederland werden in deze periode studies uitgevoerd naar de verwerking van bouwafval, later gevolgd door LCA-studies naar verpakkingen. Later in de jaren 90 van de 20ste eeuw werd deze benadering uitgebreid naar sectoren als de verpakkingindustrie, de bouw en de chemie. De ontwikkeling van LCA-studies vond dus plaats in voortdurende maatschappelijke wisselwerking (cf. Hoofdstuk 3 van dit boek).

Parallel aan deze ontwikkelingen initieerde de *International Organisation for Standardisation, ISO*, de totstandkoming van een internationaal aanvaarde norm: ISO-14040. Het *Nederlands Normalisatie Instituut* te Delft is voor Nederland stemhebbend lid van de ISO. De ISO-normen vertegenwoordigen een internationale consensus en laten als zodanig ruimte voor interpretaties en afwijkingen. Twee ISO-conforme studies over het zelfde onderwerp hoeven dus niet noodzakelijkerwijs de zelfde resultaten te vertonen. Niettemin kan gezegd worden dat de resultante van de hier geschetste ontwikkelingen is, dat er een op hoofdlijnen gestandaardiseerde LCA-methode bestaat, die in het volgende hoofdstuk verder voor het voetlicht komt. Momenteel is er een gebrek aan gestandaardiseerde en betrouwbare bestanden van gegevens. Initiatieven vanuit de Verenigde Naties en SETAC ontwikkelen voor diverse LCA-deelgebieden aanbevelingen voor een *Best Available Practice*,

waaronder het gebruik van gegevensbestanden. Daarnaast is er uiteraard volop wetenschappelijke discussie, want zonder discussie geen vooruitgang. Inmiddels is voor Nederland een herziening van de in 1992 gepubliceerde Handleiding verschenen (Guinée et al, 2002).