

**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**

© Delft Academic Press
Eerste druk 2003, herdruk 2013
Delft Academic Press (VSSD Uitgeverij)
Vereniging voor Studie- en Studentenbelangen te Delft
Leeghwaterstraat 42, 2628 CA Delft, The Netherlands
tel. +31 15 27 82124, e-mail: hlf@vssd.nl
internet: <http://www.vssd.nl/hlf>
<http://www.vssd.nl/hlf/b002.htm>

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, photo-copying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

Printed in the Netherlands
NUGI 841, 849
Trefw.: levenscyclusanalyse.
ISBN 97890-4072-385-8

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 productstudies. 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 ver-

dieping 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 ingenieurs-opleidingen.

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 voorname 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 ingenieurs-activiteit 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 recyclen 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 afzonder-

lijk 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	3
VOORWOORD	5
Aanwijzingen voor de zelfstudie	7
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	26
2.2.1 Bepaling van doeleinde en maatschappelijke context	27
2.2.2 Bepaling van de vergelijkingsbasis: functionele eenheid, referentiestroom en oplossingsruimte	28
2.2.3 Eenheidsproces en reikwijdte: formulering van de operationele LCA-vraag	31
2.3 Inventarisatie	34
2.3.1 Procesboom	35
2.3.2 Verzameling van gegevens voor de eenheidsprocessen uit de procesboom	36

2.3.3	Bepaling van de ingreep tabel; toerekening door substitutie of verdeling	42
2.3.4	Model, keuzen en interpretaties	46
2.4	Effectbeoordeling	48
2.4.1	Indeling van de milieu-effecten: selectie van effectcategorieën en karakteriseringsmodellen	49
2.4.2	Grootte van de milieu-effecten: karakterisering, normalisatie en weging	52
2.5	Interpretatie	58
2.5.1	Analyse	58
2.5.2	Conclusies en evaluaties	62
2.5.3	Een praktijkvoorbeeld: buitenrioleringen van PVC, beton of gres	63
3	LEVENSCYCLUSANALYSE IN MAATSCHAPPELIJKE UITVOERING	68
3.1	Inleiding: besluitvormingssituaties	68
3.2	Typen besluitvorming en de rol van LCA-studies	73
3.3	Opzet van een participatief studieproces en gezamenlijke vaststelling van doel en reikwijdte	81
3.3.1	Over de procesmatige aspecten van de opzet van een LCA	81
3.3.2	Over de formulering van de onderzoeksvraag	87
3.4	Maatschappelijke actoren en inventarisatie	92
3.5	Effectbeoordeling door maatschappelijke actoren	98
3.5.1	Inleiding	98
3.5.2	Over de positiebepaling van maatschappelijke actoren	100
3.5.3	Over de beslispunten bij de effectbeoordeling	104
3.6	Maatschappelijke actoren en interpretatie	108
4	LEVENSCYCLUSANALYSE EN HET ONTWERPEN door J.A.M. Remmerswaal en P. van Mourik	111
4.1	Inleiding: productontwikkeling en LCA	111
4.2	Ontwerpen	116
4.3	Ontwerpstrategieën	122
4.4	Productontwikkeling, LCA en PvE	128
4.5	Problemen met LCAs bij het ontwerpen	135
5	VIER LCA-PRAKTIJKVOORBEELDEN	138

5.1	Inleiding	138
5.2	LCA van linoleum	140
5.3	LCAs in het publieke debat: het voorbeeld van PVC en chloor	143
5.3.1	Inleiding en het ontstaan van een publiek debat over PVC	143
5.3.2	De posities van maatschappelijke actoren in het PVC-debat	145
5.3.3	LCAs van PVC-producten en de chloorbalans	148
5.3.4	Gebruik van LCA-argumenten in het publieke debat	152
5.4	LCA als ondersteuning van besluiten: oud papier, verbranden of recycleren	153
5.5	LCA van DutchEVO, een lichtgewicht auto door J.A.M. Remmerswaal en P. van Mourik	158
5.5.1	LCA-uitkomsten voor een gemiddelde Nederlandse auto	159
5.5.2	Overwegingen voor het DutchEVO-ontwerp	160
5.5.3	LCA van de ultralichtgewicht auto DutchEVO	161
5.5.4	Vergelijking van DutchEVO met de huidige gemiddelde Nederlandse auto	165
	APPENDIX 1 DEFINITIES VAN BEGRIPPEN	167
	APPENDIX 2 BEREKENINGEN IN DE INVENTARISATIE	169
	A2.1 Matrixrekening	169
	A2.2 De keuze van software	173
	APPENDIX 3 MATERIAALKEUZE EN LCA	175
	A3.1 Inleiding	175
	A3.2 Over LCA-materiaalkeuze	176
	A3.3 Verrijging van materialen	178
	A3.4 Beperkte voorraden en materiaalkeuze	180
	A3.5 LCA en de materiaalkeuze voor een automobieleronderdeel	182
	APPENDIX 4 TECHNOLOGISCHE ONTWIKKELING	188
	A4.1 Inleiding	188
	A4.2 Condities en wisselwerking	189
	A4.3 Innovatie	192
	APPENDIX 5 ANTWOORDEN OP STUDIEVRAGEN	197
	APPENDIX 6 STUDIE-OPDRACHTEN	206

REFERENTIES	208
BIBLIOGRAFIE	212
TREFWOORDEN	216
Over de auteurs	220

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 kwantitief 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 principieel 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

2 Levenscyclusanalyse, aanpak, kenmerken en beperkingen

LCA vereist een bepaalde aanpak, heeft bepaalde kenmerken en kent uiteraard beperkingen. De methode heeft, ook internationaal gestandaardiseerd, enkele onderdelen die in beginsel bij elke LCA voorkomen: vaststelling van doel en reikwijdte, inventarisatie, effectbeoordeling en interpretatie. LCA als proces is een in de tijd en in maatschappelijke context uitgevoerde reeks van werkzaamheden waarin iteratie en terugkoppeling belangrijke elementen zijn. Daarbij is het van groot belang steeds te onderkennen welke maatschappelijke actoren in dit proces betrokken zijn. Dit aspect wordt in § 2.1 kort aangegeven. De methodische onderdelen komen in de daaropvolgende paragrafen achtereenvolgens aan de orde. In samenhang daarmee komen de beperkingen eveneens voor het voetlicht. Na bestudering van Hoofdstuk 2 resulteert inzicht in de methodische opbouw van LCA. De formuleringen in dit hoofdstuk en in de rest van dit boek zijn zoveel mogelijk in overeenstemming met de in Nederland geldende normen (zie Appendix 1).

2.1 Inleiding

LCA is het analysegereedschap om het totaal van milieu-effecten verbonden met een bepaald product in kaart te brengen. Dit analysegereedschap wordt in een maatschappelijke context gebruikt. De maatschappelijke context bepaalt voor welke analyse dit gereedschap gebruikt gaat worden. De analyse moet goed zijn in relatie tot de beoogde toepassing. Voor een goede analyse is een goede vraagstelling vereist. Er dient dus veel aandacht te worden gegeven aan het onderdeel “vaststelling van doel en reikwijdte” van de LCA in wording (zie § 2.2). Immers, zonder een goede vraag is een goed antwoord niet mogelijk. Verder moet de maatschappelijke context zo scherp mogelijk bepaald worden. De maatschappelijke context zijn alle bij een LCA betrokken maatschappelijke actoren, zowel tijdens als na het opstellen ervan. Te denken valt aan overheid, bedrijfsleven, consumenten en milieu-organisaties met elk

3 Levenscyclusanalyse in maatschappelijke uitvoering

LCA als “werk in maatschappelijke uitvoering” is mogelijk dankzij de methodische opzet zoals beschreven in Hoofdstuk 2. Deze uitvoering vooronderstelt antwoorden op vragen als “hoe worden de maatschappelijke actoren rond een LCA georganiseerd?”, “hoe verlopen de te maken keuzen voorafgaand en tijdens de uitvoering van de LCA?”, “hoe verhouden normen en waarden van de actoren zich tot de vaststelling van de effecten in de fase van de effectbeoordeling?”, “hoe worden conclusies en aanbevelingen geformuleerd als de betrokken maatschappelijke actoren geen consensus kunnen vinden?” en “hoe worden de resultaten gepresenteerd?”. De maatschappelijke actoren kunnen zich in zeer verschillende besluitvormingssituaties bevinden. De positie van een ministerie is nu eenmaal totaal verschillend van die van een individueel bedrijf dat een product op de markt brengt of wil brengen. Deze verschillende posities hebben grote invloed op de rol van de verschillende actoren in de uitvoering en het gebruik van LCAs. Daarom geeft de inleidende paragraaf een schets van deze besluitvormingsposities. Omdat het publieke domein voor veel LCAs het milieu is waarin zij besproken en gebruikt worden, geeft § 3.2 modellen van twee ideaaltypen besluitvorming. In elk van deze modellen wordt een rol voor studies zoals LCA gedefinieerd. In de vervolparagrafen komt de maatschappelijke context van de verschillende LCA-onderdelen aan de orde.

3.1 Inleiding: besluitvormingssituaties

Over producten worden in het algemeen in drie maatschappelijke kringen besluiten genomen: consumenten, overheid en bedrijfsleven. Consumenten beslissen door aankoop of juist non-aankoop over de aantrekkelijkheid van producten. Sommige producten worden door de overheid als zo belangrijk gezien dat de voorziening in deze producten onderwerp is van politieke besluitvorming, te denken valt aan inentingen of kaartjes voor concert en schouwburg. De overheid treedt dan op als hoedster van het algemeen belang. In deze rol kan de overheid ook algemene regels