

Eco-engineering

Een symbiose van  
harde en zachte systemen



Eco-engineering

Een symbiose van  
harde en zachte systemen

onder redactie van  
Hein van Bohemen

met bijdragen van

Rob van den Boomen, Ellen van Bueren, Aad van den Burg,  
Theo Claassen, Juri Czabanowski, Harry Geerlings,  
Paul de Graaf, Stef Janssen, Ruud Kampf, Marc Ottelé,  
Wim van der Putten, Robbert Snep, Jaap Spoelstra,  
Geert Truijen, Huub de Vriend, Mindert de Vries, Theo Vulink,  
Jeroen van Westen, Mieke Weterings, ZUS-architecten

© VSSD

Eerste druk 2012

Uitgegeven door de 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/f047.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, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the publisher.*

Gedrukte versie: ISBN 978-90-6562-291-4 eBoek ISBN 978-90-6562-298-3

NUR 943

*Trefwoorden:* eco-engineering.

## Voorwoord

In dit boek wordt een overzicht gegeven van eco-engineering. Eco-engineering is de verzamelnaam van de verschillende vakgebieden die bijdragen willen leveren aan een ecologisch verantwoorde toekomst, zowel voor mensen als voor planten en dieren. Ook het beter over de continenten verdelen van de opbrengsten van werk en natuur behoort daartoe.

De term ecological engineering is afkomstig van H.T. Odum. Hij definieerde ecological engineering in eerste instantie als het toevoegen van een kleine hoeveelheid energie die voldoende is om een groot effect op resulterende patronen en processen te hebben (Odum, 1962). Later legde hij het accent op het realiseren van nieuwe, voornamelijk zelforganiserende ecosystemen.

Problemen waaraan mede met eco-engineering oplossingen voor gevonden kunnen worden zijn er te over. Denk bijvoorbeeld aan de teloorgang van biodiversiteit (diversiteit van planten en dieren en van diversiteit aan landschappen), de verminderende rijkdom en veerkracht van ecosystemen (via duurzaam gebruik van ecosysteemdiensten en –goederen), beperkte beschikbaarheid van bepaalde niet hernieuwbare grondstoffen, verspreiding van persistente giftige stoffen, klimaatverandering met o.a. vergrote warmte-eilandeffecten in steden, meer zware neerslag, kans op toename van droogte en zeespiegelstijging, verzuring van de oceanen, beschikbaarheid en wijze van gebruik van zoet water en de mondiale hydrologische kringloop, intensivering van landgebruik, de gevolgen van uitstoot van stikstof en fosfaat in de biosfeer en de oceanen, toename van schadelijke aerosolen.

Om er voor Nederland een voorbeeldje uit te lichten: de achteruitgang van de vlinderstand vertoont een sterke samenhang met de intensivering van het landgebruik. Hierdoor verdwijnen de waardplanten voor de rupsen, maar ook de nectarplanten. Binnen en buiten natuurgebieden heeft verder een algehele afname van bloemrijke vegetaties plaatsgevonden, waardoor dagvlinders, honingbijen, wilde bijen, zweefvliegen en andere onmisbare bestuivers leefgebied verliezen; dat is niet alleen ten nadele van het overleven van die organismen zelf, maar ook van de planten die bestoven moeten worden.

Deze trend kan gekeerd worden door bronmaatregelen, zoals terugdringing van vermessing en andere emissies, en door op verschraling gericht en bovendien gefaseerd beheer van vegetaties. Maar daarnaast kan ook eco-engineering een rol spelen, nl. door bloemrijke vegetaties mogelijk te maken op plaatsen waar voorheen niets ‘mocht’ groeien.

Bij ecologisch verantwoorde aanpak van bouwprojecten, milieukwaliteitsproblemen e.d. gaat het erom ecosystemen in tact te laten of nieuwe waarde-

volle ecosystemen te laten ontstaan. Dat kan grote sociale veranderingen met zich mee brengen. Om werkelijk duurzame ontwikkeling mogelijk te maken is het daarom nodig om op *sociaal-ecologische* verandering aan te sturen. Ook die sociale kant kan worden gezien als een aspect van eco-engineering.

Eco-engineering is gebaseerd op het ecosysteemconcept. Het gebruik maken van de ecosysteemgoederen en -diensten door mens en maatschappij zou moeten gebeuren zonder de ecosystemen aan te tasten. Eco-engineering beoogt die mogelijkheden te ontwikkelen door de verstoringen en aantasting van de natuur te herstellen en een duurzaam gebruik van de biosfeer, van mondiaal tot plaatselijk, mogelijk te maken. Naast eco-engineering zijn overigens ook C2C (cradle-to-cradle), permacultuur en biomimicry belangrijke ontwikkelingen om tot duurzaamheid te komen. C2C is het bevorderen van o.m. hergebruik van materialen waarbij niet van de wieg tot het graf, maar van wieg tot wieg wordt gedacht en gehandeld. Permacultuur is een vorm van land- en tuinbouw waarbij de productie zoveel mogelijk met natuurfuncties wordt geïntegreerd. Bij biomimicry is het bewust nabootsen van materialen en processen uit de natuur uitgangspunt.

Voorbeelden van eco-engineering die in dit boek verder worden uitgewerkt zijn:

- Een ecosysteembenadering van ons afvalwater door middel van onder meer het toepassen van kleinschalige waterzuiveringssystemen.
- Stedelijke landbouw of stadslandbouw: hoe kan stedelijke landbouw en tuinbouw (inclusief moestuinen en volkstuinten) een rol spelen in het verduurzamen van onze samenleving.
- Groene infrastructuur en weginfrastructuur in het landschap.
- Stedelijke ecologie: de betekenis van planten en dieren in een stedelijke omgeving, w.o. bedrijventerreinen en de rol van natuurrijke parken en tuinen in de gebouwde omgeving.
- Het begroenen van de gebouwde omgeving, w.o. het toepassen van groene daken en groene gevels met als voordelen: waterretentie en waterverdamping met minder afstromend water, isolerende werking en vermindering van het hitte-eilandeffect in stedelijke gebieden en vergroting van de ecologische waarde en beleefbaarheid van planten en dieren door mensen.
- Bouwen met de natuur: toepassing van eco-engineering in de natte waterbouw.
- Herstel van ecosystemen waarbij een kleine ingreep tot herstel leidt (bijvoorbeeld planten van houtwallen en houtsingels langs perceelsgrenzen en langs waterlopen in intensief gebruikte landschappen; het realiseren van natuurvriendelijke oevers van landbouwsloten, berm-sloten van wegen, beken, kanalen en rivieren).

- Raamwerk voor ruimte; kwaliteit als uitgangspunt. Ruimtelijke ontwikkeling met behulp van een robuust ruimtelijk raamwerk gebaseerd op duurzaamheid en kwaliteit.

Verder komen in dit boek aan de orde:

- Hernieuwbare bouwmaterialen;
- Bodemleven, organische stof en composteren;
- Beleid, bestuur en governance;
- Kunst en ecologie.

Wereldwijd zijn toepassingen van ecological engineering te vinden. De laatste decennia kreeg ecological engineering bovendien gestalte in de vorm van organisaties, zoals de International Ecological Engineering Society (IEES) en de American Ecological Engineering Society (AEES). Verder kwam er een peer reviewed tijdschrift: Ecological Engineering.

Zelf vond ik inspiratie bij een aantal boeken op het terrein van ecological engineering, wat o.m. heeft geleid tot het boek *Ecological Engineering: Bridging between ecology and civil engineering* (Bohemen et al., 2005) waaraan 15 auteurs meewerkten. Het boek is niet meer in de handel. Dit boek is te beschouwen als de voortzetting en actualisering van dat boek. Ik hoop dat onderwijsinstellingen, medewerkers van adviesbureaus, ontwerpers en bouwers in brede zin (zie bijvoorbeeld: [www.ecoengineering.nl](http://www.ecoengineering.nl) dan wel [www.groenweb.nl](http://www.groenweb.nl)) er een vruchtbaar gebruik van kunnen maken.

Schipluiden, maart 2012

dr. Hein van Bohemen





# Inhoudsopgave

Voorwoord	v
<b>1 OVERZICHT</b>	<b>1</b>
1.1 Eco-engineering verbindt techniek met natuur	1
1.1.1 Wat is eco-engineering?	1
1.1.2 Cyclisch denken	7
1.1.3 Opbrengsten van groen	11
1.1.4 Van grootschalig naar kleinschalig, maar wel op een grootschalige manier	11
<b>2 ECOSYSTEMEN ALS BASIS VOOR MENSELIJK BESTAAN</b>	<b>13</b>
2.1 Ecosysteemdenken: inleiding en kenmerken	13
2.1.1 Ecosysteembenaderingen	13
2.1.2 Algemene kenmerken van ecosysteemdenken	15
2.1.3 Belangrijke concepten en kenmerken van ecosystemen	23
2.2 Classificatie van ecosystemen op verschillende schaalniveaus	29
2.3 Stedelijke ecosysteembenaderingen	33
2.4 Ecosystemen, infrastructuur en verkeer: wegen als ecosystemen	37
<b>3 DE BETEKENIS VAN ECO-ENGINEERING</b>	<b>41</b>
3.1 Definities	41
3.2 Ontwikkeling van eco-engineering	41
3.3 Overzicht van principes van eco-engineering	43
3.4 Voorbeelden van eco-engineering	44
3.4.1 Actief herstel van ecosystemen	44
3.4.2 Duurzaam gebruik van ecosysteem goederen en ecosysteem diensten	44
3.4.3 Afvalverwerking (nabootsen van de natuurlijke cycli in ecosysteem)	45
3.4.4 Aanleg van 'geconstrueerde' ecosysteem in de gebouwde omgeving	45
3.4.5 Multifunctioneel gebruik van het zee-, zoetwater en terrestische milieus	45

<b>4</b>	<b>DE GROENE STAD: VAN VERSTEENDE STEDEN NAAR STEDELIJKE NATUUR EN STADSNATUURLANDSCHAPPEN</b>	<b>47</b>
4.1	De stad als landschap voor plant en dier	47
4.1.1	Inleiding	47
4.1.2	Aanpassingen aan de stad	47
4.1.3	De invloed van verstoring	48
4.1.4	Overgang stad en land	49
4.1.5	Van industrieterrein naar ecologische werklandschappen	50
4.1.6	Groene daken	51
4.1.7	Groene gevels	51
4.1.8	Natuurvriendelijk bouwen	52
4.2	Groene daken en groene gevels: inleiding	53
4.2.1	Inleiding: van groene gevels en groene daken naar dak- en gevellandschappen	53
4.3	Groene gevels	61
4.3.1	Groene gevels en verticaal groen	61
4.4	Daklandschappen: integratie van natuur en techniek	67
4.4.1	Inleiding	67
4.4.2	Uit je dak	67
4.4.3	Dakvergroening als duurzame business case	68
4.5	Groene daken en groene gevels in relatie met het onderwijs	75
4.5.1	Inleiding	75
4.5.2	Gebouw en omgeving zien als landschap	75
4.5.3	Relatie tussen de ruimte 'binnen' als direct 'buiten' het gebouw	76
4.6	Natuurrijke parken en tuinen	80
4.6.1	Van gazons naar bloemenweiden	81
<b>5</b>	<b>WATER, BODEM EN LUCHT IN DE RUIMSTE ZIN VAN HET WOORD: VAN GEBRUIK TOT BEHEER</b>	<b>83</b>
5.1	Een ecosysteembenadering van ons afvalwater	83
5.1.1	Inleiding	83
5.1.2	De uitdaging	83
5.1.3	De toekomst van de waterzuivering (positiebepaling)	85
5.1.4	De brede RWZI	87
5.2	Kleinschalige waterzuivering	89
5.2.1	Inleiding	89
5.2.2	Situering groene waterzuivering in de watercyclus	89

---

5.2.3	Keuze technische (grijze) versus groene waterzuivering	93
5.2.4	Geschiedenis van de groene waterzuivering	94
5.2.5	Groene zuiveringssystemen gekoppeld aan (afval)waterstromen	96
5.3	Waterharmonica, de natuurlijke overgang van waterketen naar watersysteem	99
5.3.1	Inleiding	99
5.3.2	De waterharmonica algemeen	100
5.3.3	Waterharmonica's in Nederland	101
5.3.4	Het nut van een waterharmonica	102
5.3.5	Nieuwe waterharmonica's in Nederland	105
5.3.6	Conclusies	106
5.4	Living machine	106
5.4.1	Inleiding	106
5.4.2	Technische beschrijving	106
5.5	Bouw een eigen educatief afvalwaterzuivingsstelsel	111
5.6	Bodemleven, organische stof en eco-engineering	112
5.6.1	Inleiding	112
5.6.2	Bodemleven	112
5.6.3	De rol van organische stof voor bodemleven	115
5.6.4	Bodemleven en eco-engineering	115
5.6.5	Conclusies	117
5.7	Composteren	117
5.7.1	Nut en noodzaak	117
5.8	Hernieuwbare grondstoffen in de bouw en de GWW- sector	120
5.8.1	Inleiding	120
5.8.2	Hout en andere bouwgrondstoffen	120
5.8.3	Kansrijke bouw-product-markt combinaties met hernieuwbare grondstoffen	121
5.8.4	Leverbare hernieuwbare grondstoffen en producten voor de bouw	122
5.8.5	Toepassing hout in de GWW-sector	135
5.8.6	Toekomstperspectief	140
5.9	Ruimte voor stadslandbouw in Rotterdam	141
5.9.1	Inleiding	141
5.9.2	Kansen voor Rotterdam	142
5.9.3	Regionaal voedselsysteem	142
5.9.4	Landbouw in de stad	143
5.9.5	Landbouw ten dienste van de stad	143
5.9.6	Kansrijke typen	143

5.9.7	Habitat	145
5.9.8	Kansenkaart stadslandbouw Rotterdam	145
5.10	Baggerstort en biodiversiteit – opslag van bagger leidt tot natuurwaarden	147
5.11	Luchtkwaliteit en groen	148
<b>6</b>	<b>ECO-ENGINEERING IN DE NATTE WATERBOUW</b>	<b>150</b>
6.1	Bouwen <u>met</u> de natuur	150
6.1.1	Nut en noodzaak	150
6.1.2	Verschillende perspectieven	151
6.1.3	Voorbeeld: de Delflandse Zandmotor	152
6.1.4	Voorbeeld: oeverdijken langs het Markermeer	155
6.2	Harde waterveiligheid op zachte gradiënten	158
6.2.1	Inleiding	158
6.2.2	Eco-engineering in de praktijk van waterkeren	159
6.2.3	Rijke dijken	159
6.2.4	Rijke-dijktoepassingen	160
6.2.5	Rijke berm Zeeland	160
6.2.6	Onderwaterlandschap Oosterschelde	162
6.2.7	Biobouwers	162
6.2.8	Oesterrif- en mosselrifbanken in estuaria	163
6.2.9	Groene golfremmende dijk in het rivierengebied	163
6.2.10	Voorlanden langs meren	164
<b>7</b>	<b>GEZONDHEIDSWINST DOOR ECO-ENGINEERING</b>	<b>168</b>
7.1	Gezondheid	168
7.2	De invloed van de fysieke omgeving op gezondheid	169
7.2.1	Omgeving is een aanwijsbare gezondheidsfactor	169
7.2.2	Vermindering van gezondheidsproblemen	169
7.3	De betekenis van groen voor gezondheid	170
7.3.1	Zicht op groen ontspant	170
7.3.2	Herstellende en stimulerende kracht	171
7.3.3	Een groene omgeving is als Haarlemmer olie	171
7.3.4	Groen als domein van gezondheidsbevordering	171
7.4	Voorbeelden	172
7.4.1	Pollenarm groenplan	172
7.4.2	Healing Environment	173
7.4.3	Speelnatuur in de stad	175
7.4.4	Gezonde biodiverse stad	176
7.4.5	De wijk als volkstuin, camping en speelplaats	177
7.5	Epiloog	178

<b>8</b>	<b>GOVERNANCE, EEN BEKNOPTE ECOLOGIE VAN BELEID EN BESTUUR VAN DE STAD</b>	<b>179</b>
8.1	De stad: een samenstel van sociale en fysieke systemen	179
8.1.1	‘Governance’ van stedelijke systemen	180
8.1.2	Traditionele sturingsinstrumenten volstaan niet langer	180
8.1.3	Nieuwe generaties van sturingsinstrumenten	181
8.1.4	Mitigatie, adaptatie en resilience	182
8.1.5	Stimuleren van variëteit aan initiatieven	183
8.2	Duurzame (woningbouw) ontwikkelingen in een toekomstgerichte en -gerechte kosmopolitische maatschappij en de rol van het DUBO+ model	183
8.2.1	Fiets- of stuurwiel als metafoor	184
8.2.2	Oriënteren: (visionaire) richting bepalen	185
8.2.3	Feng Shui en holisme	185
8.3	Milieuwaarderingsystemen voor de bouw	186
8.3.1	Milieuwaarderingsystemen	186
	Kwaliteit van de openbare en particuliere ruimte; dilemma’s tussen denken en doen aan de hand van een aantal beelden	191
<b>9</b>	<b>RAAMWERK VOOR RUIMTE; INTEGRATIE</b>	<b>194</b>
9.1	Ruimtelijke raamwerken: watersystemen, natuursystemen en infrastructuursystemen; mobiliteitsontwikkeling binnen robuuste raamwerken	194
9.1.1	Inleiding	194
9.1.2	De steeds complexere werkelijkheid	195
9.1.3	De nieuwe uitdaging	196
9.1.4	Naar een robuust duurzaamheidsraamwerk	198
9.1.5	Tot besluit	199
9.2	Verkeersgroen (van mitigatie tot integratie) en eco-design van weg- en straatmeubilair	200
9.2.1	Van mitigatie tot integratie van de weg in de omgeving	200
9.2.2	Eruit gelicht: de Natuurbrug in ‘t Gooi	209
9.3	Luchtsingel: een houten voetgangersbrug in Rotterdam	212
9.3.1	Inleiding	212
9.3.2	Auto’s en voetgangers	212
9.3.3	Het gebied	212
9.3.4	Crisis en crowdfunding	213
9.3.5	Luchtsingel	214
<b>10</b>	<b>TOEKOMSTPERSPECTIEF</b>	<b>216</b>
10.1	Kunst, ecologie en omgevingskwaliteit	216

10.1.1	Inleiding	216
10.1.2	De uitnodiging	216
10.1.3	Spontane en door de mens bepaalde natuur	217
10.1.4	Het cultuurbepaalde landschap	218
10.1.5	Cultuur en natuur	219
10.1.6	Positie van natuur in de kunst	219
10.1.7	Opportunisme, uitwijken, aanpassen, terugtrekken	220
10.1.8	De kunst, natuur en landschap in onze samenleving	221
10.1.9	Van idee naar resultaat	222
10.1.10	Internationaal	231
10.2	Voorbeelden van integrale oplossingen ter inspiratie	232
10.2.1	Vergeet de mens niet	232
10.2.2	Integrale vormen van land- en tuinbouw	234
10.3	Integratie van ecologie in stedelijke ontwikkeling: van ambitie naar uitvoering	243
	<b>AUTEURS</b>	<b>245</b>
	<b>REFERENTIES</b>	<b>247</b>
	<b>TREFWOORDEN</b>	<b>254</b>

# 1 Overzicht

Hein van Bohemen

## 1.1 Eco-engineering verbindt techniek met natuur

### 1.1.1 Wat is eco-engineering?

Eco-engineering is de benutting van planten, dieren en ecologische processen om functies met betrekking tot milieu en leefbaarheid te vervullen ten voordele zowel voor de mens als de natuur. Het gaat om het optimaal gebruik maken van de natuurlijke (abiotische en biotische) omgeving en de daarin aanwezige krachten. Om dit te bereiken, worden combinaties gemaakt van technische maatregelen op basis van ecologische principes.

*Kleinschalige ecologische waterzuivering, nazuiveringsmoerassen, ecoducten, groene daken, begroeid beton, bouwen met de natuur zijn voorbeelden waarbij techniek en natuur een verbond vormen. Eco-engineering heet het vakgebied dat zich daarop toelegt. Het is een integrale benadering van ecosysteem en civiele techniek waarbij zowel de mens als de natuur beide voordelen hebben.*

Natuur en techniek worden vaak als tegengestelde domeinen beschouwd, maar ze kunnen heel goed samengaan en win-win situaties opleveren. Eco-engineering (of eco-technologie of ecological engineering) biedt ecosysteemoplossingen voor allerlei door de mens veroorzaakte milieuproblemen.

### Voorbeelden van eco-engineering

Een voorbeeld van eco-engineering is een helofytenfilter. Dit is een moeras-systeem met water- en moerasplanten waar (vervuild water) langzaam door heen stroomt. In een helofytenfilter wordt zuiveringscapaciteit geleverd door de bacteriën die zich in het water en vooral in de wortelzone van de planten bevinden. Deze bacteriën zetten afvalstoffen uit het water om in voedingsstoffen voor zichzelf en voor de planten. De planten zorgen op hun beurt weer voor voldoende zuurstof in het water zodat de bacteriën kunnen overleven. Naast de zuurstofminnende bacteriën zijn er ook grote kolonies bacteriën die zonder zuurstof leven, zij leven van de afvalstoffen van de zuurstofminnende bacteriën. Er ontstaat dus een systeem waarin vervuild water door een combinatie van groen en bacteriën op een natuurlijke manier gezuiverd wordt zonder chemische toevoegingen. Dergelijke moerassystemen kunnen worden aangelegd en gebruikt voor nazuivering van effluent van een rioolwater-

zuiveringsinstallatie. Ook kunnen moerassystemen een rol spelen bij het verbeteren van de kwaliteit van inlaatwater in een natuurgebied. Tevens worden daarbij vaak ook andere functies bediend, zoals recreatie, waterberging, verdrogingsbestrijding, productie van biomassa.



Figuur 1-1  
Watertanks met  
waterplanten (Nova  
Scotia) (Foto H. van  
Bohemen).

Een ander voorbeeld op het gebied van integrale waterzuivering betreft de zgn. levende machine, een ecologisch systeem van afvalwaterzuivering waarbij naast het zuiveren van het afvalwater met behulp van micro-organismen, planten, slakken en andere dieren tevens voor de mens interessante producten gekweekt worden, bijvoorbeeld vis, eetbare gewassen en siergewassen. In dit proces maakt de mens gebruik van de eigenschappen van de natuur. Zowel mens als natuur hebben er baat bij: schoon water en de productie van nuttige stoffen voor de mens en ruimte voor planten en dieren. In de laatste fase kunnen met de overgebleven voedingsstoffen bloeiende planten worden gekweekt, zoals dat gebeurt in een levende machine in Nova Scotia (Canada). Bewoners krijgen regelmatig een bloemetje van eigen feces in huis. Dat is een mooie illustratie van cyclisch denken, waarbij één oplossing een aantal problemen verhelpt. Bovendien is het vaak goedkoper dan oplossingen met alleen technische maatregelen. Op drie plekken in Nederland werken dergelijke levende-machinesystemen.

In Nederland is het *waterharmonica*-concept ontwikkeld, eveneens een mooi en toepasbaar voorbeeld van eco-engineering. Hierbij wordt water uit een rioolwaterzuiveringsinstallatie nagezuiverd voordat dit water het oppervlaktewater instroomt. Deze tussenfase bestaat uit een aangelegd moerasgebied; er zijn de laatste jaren meer dan 15 van dergelijke kunstmatige moerassystemen bij rioolwaterzuiveringsinstallaties in Nederland met succes aangelegd.

Ook kan worden overgegaan op eco-engineering vanuit ideële (maatschappelijke) doelstellingen. Een voorbeeld is het aanleggen van een ecoduct, een viaduct speciaal ingericht voor passage van dieren, zodat zij wegen die



natuurgebieden doorkruisen veilig kunnen oversteken. Ecoducten worden gebouwd als onderdeel van de Ecologische Hoofdstructuur, die is bedoeld om de versnippering van natuur en daarmee de afname van de biodiversiteit af te remmen. De barrière (bijvoorbeeld een weg) wordt weggenomen zonder dat we er als mens last van hebben. We hebben er zelfs baat bij vanwege het verminderen van de kans op aanrijdingen met dieren. Ook dassentunnels en andere vormen van onderdoorgangen zijn voorbeelden van maatregelen om het voor dieren mogelijk te maken barrières te nemen. In 2011 en 2012 wordt gelijktijdig gewerkt aan de aanleg van een 9-tal ecoducten op en rond de Veluwe. Het is een voorbeeld van grootschalige toepassing van eco-engineering. Jaren geleden aarzelend begonnen als mitigerende maatregel, nu een algemeen geaccepteerde oplossing.



Figuur 1-2 Het groene dak van de bibliotheek van de TUD Delft (foto H. van Bohemen).

Groene daken en groene gevels zijn eveneens voorbeelden van eco-engineering. Een groen dak is een uitstekende dakbedekking. Regenwater wordt veel beter verwerkt, 60 tot 80 procent verdampt en verdwijnt dus niet in het riool. Een groen dak hoeft niet na 15 jaar vervangen te worden, zoals bitumen, en oogt nog fraaier ook. Duurder is het ook niet, al is daar wel geduld voor nodig. De terugverdientijd is ca. 40 jaar. Mensen en bedrijven denken evenwel op de korte termijn. Voorts hebben anderen er eveneens voordeel van en die betalen niet mee. Dat is de reden dat veel gemeenten thans subsidieregelingen hebben; er wordt daarbij 25-30 Euro/m<sup>2</sup> subsidie verleend.

Ook gevels kunnen begroend worden. Een begroeiende wand vangt fijn stof op, beschermt de gevel, heeft isolerende eigenschappen, is ecologisch gezien interessant en veraangenaamt de woonomgeving.



Figuur 1-3 De voordelen van groene gevels (figuur uit Thönnessen, 2002)

De begroeiing kan heel simpel aangebracht worden door klimop of wilde wingerd langs de muur te laten groeien. Daarnaast bestaan er allerlei grond- en niet grondgebonden systemen. In Wenen heeft de architect Hundertwasser in de gevel van een gebouw bakken met grond aangebracht, waarin grote struiken kunnen groeien.

In Kuala Lumpur staat zelfs een flatgebouw dat tot en met de 40e verdieping groene tuinen en wanden heeft. Dat biedt een totaal ander aanzicht, maar ook meer groene beleving door de bewoners en gebruikers van de aangrenzende ruimten.

In de Botanische Tuin van de Technische Universiteit van Delft staan tien betonnen platen van 1 bij 1 meter te vergroenen. Het beton is voorzien van een laagje lavasteen. Dit is nog een experiment, maar het is een mooie manier techniek en natuur te verenigen en de biodiversiteit te bevorderen. Zeker in stedelijk milieus is dat zeer welkom.

In Reykjavik zijn betonnen wanden van het gemeentehuis met een laagje lavasteen voorzien en succesvol bemest.



Figuur 1-4 Een beplante gevel (Hundertwasserflat in Wenen).



Figuur 1-5 Begroeiide betonnen plaat voorzien van lavastenen (foto H. van Bohemen).



Figuur 1-6  
a. Bemoste wanden  
b. met detail van het  
gemeentehuis in  
Reykjavik (foto's H.  
van Bohemen).



In de Oosterschelde is in de natte waterbouw een dergelijke aanpak al realiteit. Daar zijn de massieve betonnen blokken onderaan de dijk voorzien van een reliëf, zodat wieren een beter houvast hebben en organismen een schuilplaats vinden. Zo ontstaat een veel rijker biologisch leven.

## 1.1.2 Cyclisch denken

In de weg- en waterbouw zijn er veel meer combinaties met de *ecologie* te vormen. Ecotunnels en ecoducten en groene geluidwerende voorzieningen zijn daarvan voorbeelden. Aan geluidwerende voorzieningen kunnen naast de geluidwerende functie luchtzuiverende voorzieningen en ecologische waarden gekoppeld worden. Eco-engineering kan ook toegepast worden om de *cradle-to-cradle*-gedachte vorm te geven. Bijvoorbeeld door scheiden van feces en urine. Op het terrein van de industriële productie vinden eveneens toepassingen van eco-engineering en biomimicry plaats. Bij biomimicry, dat ook een snelle ontwikkeling doormaakt, gaat het om bewust nabootsen van materialen en processen uit de natuur.

Milieubeleid door regelgeving kan eco-engineering bevorderen en doet dat ook vaak. Een voorbeeld is de zgn. MIA/Vamil-regeling die stimuleert bedrijven eco-engineering in de praktijk te brengen. Op de milieulijst staan maatregelen, die bedrijven (niet alleen BV's, maar ook zzp'ers) goed kunnen toepassen en waarvan de kosten van de winst afgetrokken mogen worden, zoals groene daken of groene gevels, kleinschalige waterzuivering, en ook helofyten-filtersystemen. Die systemen kunnen bijvoorbeeld worden ingezet om het afstromend wegwater op (grote) parkeerterreinen op te vangen in een strook die is voorzien van vaste planten, struiken en bomen. Het systeem zorgt dat afvalstoffen van auto's eruit worden gefilterd, terwijl boven de grond de begroeiing de inrichting van de veelal saaie parkeerterreinen veel aantrekkelijker maakt. Er zijn nog vele troosteloze parkeerterreinen die op deze manier aantrekkelijker gemaakt kunnen worden.

Andere voorbeelden zijn:

- bestrijding van bodemerosie door gebruikmaken van planten,
- reiniging van vervuilde bodems,
- toepassen van ecologische architectuur en
- permacultuur, een vorm van duurzame landbouw waarbij productie en natuurfuncties geïntegreerd worden.

Eco-engineering in de waterbouw omvat o.m. zandsuppleties, oesterfiltertuinen, golfdempende wilgenbossen, natuurvriendelijke oevers.

In dit boek wordt ook aandacht besteed aan de ontwikkeling en betekenis van goed aangelegd en onderhouden groen, verschillende toepassingen van natuurtechniek, mede in relatie tot klimaatbeheersing en luchtverontreiniging in de stedelijke omgeving. Hoe gazons tot bloemenweiden kunnen worden omgevormd met een hoge biodiversiteit (zie kader) en verschillende ecologische diensten, hoe platte daken en gevels niet alleen met vegetatie bedekt kunnen worden, maar bovendien veel breder uit kunnen groeien tot stedelijke dak- en gevellandschappen die tal van voordelen samenbrengen.

## Wat is biodiversiteit?

Onder biodiversiteit wordt verstaan de verscheidenheid aan soorten planten, dieren en micro-organismen, de genetische variatie binnen de soorten, maar ook de variatie aan ecosystemen, zoals bossen, graslanden, vennen, heiden, enz. Er is dus sprake van verscheidenheid op verschillende schaalniveaus. Belangrijk is te erkennen dat wij als mensen volledig afhankelijk zijn van biodiversiteit door het gebruikmaken van de ecosysteemgoederen (grondstoffen, voedsel) en -diensten (CO<sub>2</sub>-opname, O<sub>2</sub>-leverantie, bestuiving door insecten, vasthouden van water, bescherming tegen erosie, regulatie van het (micro-)klimaat), naast de functionele betekenis van ecosystemen op zich.

Uit onderzoek inventarisaties van de levende natuur blijkt dat er sprake is van een afname van soorten planten en dieren, zowel in Nederland als wereldwijd. Er is sprake van verstoring van het functioneren van ecosystemen. Menselijk handelen speelt daarbij een belangrijke rol: aantasting door grondbeslag voor bebouwing, aanleg en gebruik van infrastructuur, intensivering van de landbouw en allerlei milieueffecten (vervuiling, versnippering, e.d.).

Essentieel is gelijktijdig rekening te houden met alle schaalniveaus en de verscheidenheid aan soorten die via allerlei netwerken met elkaar verbonden zijn (voedselwebben). Niet alleen alertheid op aalbare soorten, maar het gaat ook om behoud van insecten, schimmels en micro-organismen, zowel in, op, als boven de bodem.

Op veel plaatsen kan spontane ontwikkeling van begroeiing geaccepteerd en bevorderd worden. Soms ondersteund met inzaai, soms via (geleide) spontane opslag. Van overhoekjes, voormalige vuilstort tot waterwingebieden en gronden die tijdelijk een natuurfunctie hebben gekregen. Ook de in opkomst zijnde natuurlijke speelplekken voor kinderen bieden mogelijkheden voor planten en dieren en brengen kinderen reeds vroeg in contact met de natuur.

*Overzicht van definities van de biodiversiteit (naar een tabel van Peck 1998)*

**1982** B.A. Wilcox: Biodiversiteit is de verscheidenheid van levensvormen, de ecologische rol die ze spelen en de genetische diversiteit die ze bevatten.

**1991** Keystone Centrum Biodiversiteit: Biodiversiteit is de verscheidenheid van het leven en zijn processen.

**1992** Global Biodiversity Strategy Biodiversiteit: Biodiversiteit is de gevarieerdheid van levende organismen van allerlei bronnen, waaronder terrestrische, mariene en andere aquatische ecosystemen en de ecologische complexen waarvan zij deel uitmaken; dit omvat mede de diversiteit van:

$\alpha$ -of genetische diversiteit (variatie van genen binnen een soort);

$\beta$ -of soorten diversiteit (variatie van soorten binnen een regio);

$\gamma$ -of ecosysteem diversiteit verwijst naar het aantal soorten op een locatie, de ecologische functies van de soorten, de wijze waarop de compositie van de

soorten verschilt in een gebied, de samenleving van soorten op een locatie, en de processen binnen en tussen deze eco-systemen.

2006 J. Ahern, E. Leduc en M.L. York: Biodiversiteit is de totaliteit, in de tijd gezien, van genen, soorten en ecosystemen in een ecosysteem of regio, inclusief de ecosysteem structuur, de functie die het leven ondersteunt en onderhoudt.

De biodiversiteit kan dus op verschillende manieren beschreven worden, van eenvoudig tot meer complex. De beschrijvingen betreffen allemaal soorten en processen. Ook het schaalniveau waarop beschouwd wordt (genetische, populatie, gemeenschap, landschap, biome, wereld), de tijdstermijn en soms de evolutionaire aspecten zijn belangrijk (Peck, 1998).

Er zijn veel (hand)boeken over biodiversiteit. Een praktische handleiding is ontwikkeld door de provincie Brabant; zie <http://handleidingbiodiversiteit.brabant.nl>).



Figuur 1-7 Spontane opslag van de Gele helmblom (foto H. van Bohemen).

Vaak worden planten als onkruid bestempeld, d.w.z. planten die zich op door de mens ongewenste groeiplaatsen hebben gevestigd. De situatie van Figuur 1-7 is eerder een verrijking dan een verarming voor het straatbeeld en nuttig voor bijen en andere bloembezoekende insecten. “Onkruiden” worden daarmee wilde planten van waarde. Door een gericht beleid en beheer kunnen tal van voordelen ontstaan, zoals het toelaten en stimuleren van planten in boomspiegels of het aanbrengen van smalle zgn. regenwatertuinen, parallel aan wegen in de vorm van met kruidachtige planten, struiken en bomen voorziene elementen voor de opvang van regenwater.

Luchtverontreiniging is ondanks de vermindering van de uitstoot van vervuulende stoffen nog steeds een probleem. Nederland is volgens het Milieu- en Natuurplanbureau zelfs een netto exporteur van fijn stof en stikstofoxiden. Op hoe toepassing van groen bij kan dragen aan verlaging van het fijnstofgehalte in de lucht wordt in dit boek nader ingegaan.

De betekenis van groen in en om de stad in de ruimtelijke planning blijft in de praktijk nog steeds onderbelicht. In het woningbouwbeleid, verkeer- en vervoerbeleid en milieubeleid wordt natuur nog steeds te weinig integraal meegenomen; in modellen waarmee luchtverontreiniging voorspeld kan worden blijkt groen negatief te werken en dat is lang niet altijd in overeenstemming met wetenschappelijke inzichten. En last but not least zal de veelgehoorde mening: “Het planten en onderhouden van groen is allemaal te duur” weersproken worden. De Groene Stad kost uiteindelijk geen geld, maar levert juist geld op: zowel economisch, ecologisch, maatschappelijk als sociaal. Natuurlijk zijn investeringen nodig, maar die verdienen zich op termijn terug.

### Ecosysteembenadering en natuurtechniek

Ter illustratie wordt hier ingegaan op de betekenis van bomen in de gebouwde omgeving. Natuur en bomen in de stad dient een grote betekenis toegekend te worden:

- vergroting van het aantal habitats voor planten en dieren,
- bevordering van de menselijke gezondheid,
- bevordering van de sociale cohesie tussen mensen,
- positieve bijdrage aan het (micro)klimaat,
- verbetering door de luchtzuiverende werking,
- meer mogelijkheden voor mensen om de natuur te beleven,
- vormt een inspiratiebron voor veel mensen,
- verhoging van de verkoopwaarde van woningen.

Om natuur een geëigende plek in de stad te geven worden hierna aspecten behandeld die samenhangen met natuurtechniek in brede zin: zelfontwerpend vermogen van de natuur, van keten- naar cyclisch denken, betekenis van verschillende schaalniveaus en kunst en kunstenaars als facilitator. In de relatie tussen beplanting en gebouwen dient men rekening te houden met de mogelijke accenten die bestuurders, planners, ontwerpers van gebouwen leggen. Tabel 1-1 vat dit samen.

technosfeer			biosfeer
Voldoet aan de minimale wettelijke eisen	Aandacht gericht op energie besparing	Duurzaam bouwen	Ecologisch en/of biologisch bouwen
Toepassing van beton, baksteen, glas, aluminium, koper, eps	Isoleren, zonneboilers	Gebruik van duurzame materialen; Isoleren; recycling	Biobased materiaalgebruik, leem, stro, hout

Tabel 1-1 Accenten van verschillende vormen van bouwen op basis van de extremen: technische en biologische kringlopen



### 1.1.3 Opbrengsten van groen

Vreke et al. onderscheidde in 2006 drie sporen waarlangs opbrengsten van stedelijk groen tot stand kunnen komen (zie Tabel 1-2).

Spoor	Specificatie	Voorbeeld opbrengst
Gebruik van groen	Actief (sporten, picknicken)	Bevrediging behoefte, bevorderen van gezondheid
	Passief (uitzicht)	Gezondheid (reductie stress)
Aanwezigheid van groen	Uitstraling	Imago, toename waarde onroerend goed
	Klimaat	Berging van water, hittestregulatie
	'milieu' (reinigen, filteren)	Verbeteren kwaliteit bodem, water, lucht
Doorwerking	Invloed gevoelens/emoties	Sociale veiligheid, sociale cohesie
	Invloed op vestigingsklimaat voor bewoners en bedrijven	Vestiging bedrijven, samenstelling bevolking

Tabel 1-2  
Voorbeelden van sporen voor het bepalen van de opbrengsten van stedelijk groen (bron: Vreke et al., 2006)

De komende jaren zullen ongetwijfeld meer onderzoeksgegevens beschikbaar komen waarin de relaties tussen verschillende vormen van groen en de baten op het gebied van leefbaarheid en de kosten helder gemaakt worden.

### 1.1.4 Van grootschalig naar kleinschalig, maar wel op een grootschalige manier

Decentrale oplossingen voor milieuproblemen zijn doorgaans goede voorbeelden van omslag in denken.

- Decentrale energieopwekking: De stad als zonnestroomcentrale. Door gebruik te maken van zonneënergie kan een grotere effectiviteit bereikt worden doordat aanzienlijk bespaard kan worden op energie, wegens de vermijding van uitgebreide distributienetwerken van de energiecentrale naar de verbruiksplaats. Voorts worden we minder afhankelijk van fossiele brandstoffen.
- Decentrale watervoorziening. Door opvang van regenwater en een doordacht systeem van meervoudig gebruik op lokale schaal kan waterwinning en watergebruik effectiever plaatsvinden.
- Decentrale waterzuivering.
- Decentrale voedselproductie.
- Decentrale transportsystemen ("toegankelijkheid door nabijheid").

De genoemde voorbeelden zullen in het boek verder worden uitgewerkt.

We kunnen ecological engineering plaatsen tussen het centraal stellen van de mens (natuur is er voor de mens – antropocentrische benadering) en het centraal stellen van de natuur (eco- of biocentrisme – natuur heeft intrinsieke waarde). De kunst is nu om een juiste balans te vinden; de vraag is daarbij wie in feite beslist wat de balans dient te zijn. Het is voor velen duidelijk, dat bij toename van de bevolking, economische groei, armoedebestrijding, groei van de welvaart, verbetering van de leefbaarheid en gelijkwaardigheden tussen de generaties, een beter afgewogen relatie tussen mens en natuur nodig is. Wij zijn voor onze overleving afhankelijk van het ons omringende milieu in brede zin (wereldsituatie) maar ook in engere zin, d.w.z. van het ons omringende lokale milieu.