

SYLLABUS CT1121

INLEIDING MATERIAALKUNDE EN DUURZAME ONTWIKKELING

Delft, 22 juli 2008



Foto op de omslag van het boek van Prof.dr.ir. Ch.F. Hendriks. "The Building Cycle".

INHOUD

	Blz.
1	Inleiding 5
2	Context van het vak 11
	2.1 "Sustainability" en "Durability": Duurzaamheid 11
	2.2 Afval- en ketenbeheer 16
	2.3 Hoogwaardig hergebruik 20
	2.4 De context 21
3	Materiaalkunde 27
	3.1 Inleiding 27
	3.2 Mechanische, fysische en chemische aspecten 29
	3.2.1 Mechanische aspecten 29
	3.2.2 Grootheden en enige fysische aspecten 43
	3.2.3 Enige chemische aspecten 55
	3.3 Enige bouwmaterialen (van de wieg tot het graf) 59
	3.3.1 De materiaalketen. Van materiaal tot materiaal: Recycling 59
	3.3.2 Metaallegeringen 62
	3.3.3 Cement en beton 75
	3.3.4 Baksteen & metselwerk, kalkzandsteen, cellenbeton en gips 82
	3.3.5 Hout 104
	3.3.6 Bitumen en asfalt 112
	3.3.7 Kunststoffen 114
4	Milieukunde en Duurzame Ontwikkeling 119
	4.1 Inleiding 119
	4.2 Milieukunde 122
	4.2.1 Het milieu 122
	4.2.2 Milieuproblemen 125
	4.3 Milieu en Bouwen 143
5	Praktijkaspecten bij Duurzaam Bouwen 149
	5.1 Winning van materialen uit afvalstromen 149
	5.2 Rekenmodellen Levens Cyclus Analysen 152
	5.3 Energie 165
	5.4 Water 177
	5.5 Duurzame infrastructuur 185
6	Literatuur 195
	Bijlagen: 199
	- Lijst van symbolen 201
	- Wet- en Regelgeving 203
	- Artikel over zure neerslag 207
	- Winning van materialen uit afvalstromen 214
	- Voorbeeldtentamen 220
	- Register 223

VOORWOORD

Het werken aan onze bebouwde omgeving is onlosmakelijk gekoppeld aan het gebruik van bouwmaterialen, energie, water en lucht. Omstreeks de zestigerjaren van de vorige eeuw drong het besef door dat de mensheid niet meer ongelimiteerd gebruik kon maken van eindige energiebronnen en ruwe grondstoffen en niet meer ongelimiteerd de atmosfeer en het water kon vervuilen. Dit besef heeft geleid tot nieuwe grensoverschrijdende regelgeving in Europa en een groot aantal landen buiten Europa, maar een aantal belangrijke geïndustrialiseerde landen buiten Europa proberen hun eigen aanpak te ontwikkelen. Het proces van regelgeving en handhaving daarvan is dus nog in volle gang.

Voor wat betreft de civiele techniek geldt dat de huidige ingenieur bekend moet zijn met de nieuwste ontwikkelingen en eisen op milieugebied. Dat betekent dat bij het ontwerpen, berekenen en bouwen van constructies niet meer alleen naar aspecten zoals kosten, sterkte, stijfheid en duurzaamheid kan worden gekeken, maar dat ook naar milieukundige aspecten moet worden gekeken in de gehele levenscyclus van de bouwmaterialen.

De sectie Materiaalkunde en de Faculteit der Civiele Techniek zijn, de helaas te vroeg overleden, prof.dr.ir. Ch.F. Hendriks grote dank verschuldigd voor zijn inspanningen om de milieukundige aspecten bij het bouwen te implementeren in het vakgebied van de Materiaalkunde. Prof. Hendriks heeft zijn kennis en inzichten verwerkt in boeken die gebruikt kunnen worden als lesstof bij de vakken Materiaalkunde.

Dit dictaat is voor het grootste deel gebaseerd op het collegemateriaal dat prof. Hendriks de laatste jaren heeft ontwikkeld en is, gezien de doorgaande ontwikkelingen, aangepast daar waar dat nodig was.

Prof.dr.ir. K. van Breugel

dr.ir. A. Fraaij assoc.prof.

1 INLEIDING

De materiaalkunde

Wie naar constructies kijkt, onderkent gemakkelijk verschillende functies die materialen in constructies vervullen zoals de draagfunctie en de afsluitende functie. Bij materialen die gebruikt worden voor de afsluitende functies, spreekt men wel van afbouwmaterialen. Hier kan bijvoorbeeld lichtdoorlatendheid gewenst zijn (vensterglas).

Er zijn nog diverse andere functies van materialen te onderscheiden. Deze liggen wel vaak tegen de draag- en afsluitende functie aan.

Te noemen zijn bijvoorbeeld nog:

- de verbindende functie, onder andere lijmen en voegmaterialen;
- de scheidende functie, onder andere van wandmaterialen (gipsplaten) in gebouwen, als mede van folies en membranen in de bodem (scheiding bijvoorbeeld van verontreinigde en "schone" grond);
- de beschermende functie, onder andere van verven en coatings.

Tot de bouwmaterialen rekenen we o.a. glas, asfalt, kunststoffen, metalen, beton, gesteenten (natuurlijke en kunstmatige zoals keramische materialen), hout, kunststoffen. We onderscheiden vormgegeven producten en korrelmaterialen (niet vorm gegeven producten), zoals zand, grind, grond, slakken afkomstig uit de metaalproductie en vuilverbranding, en puingranulaat. Vaak combineert men materialen om een product te krijgen dat kan voldoen aan bepaalde eisen; men spreekt dan van composieten. Daarnaast heeft de ingenieur te maken met lucht met al zijn facetten (windkrachten, luchtvervuiling, geluid, fijn stof in de lucht), met water(problemen), zie fig. 1.1 "de waterhoogten bij de watersnoodramp in 1953", evenals met mogelijke ecologische aspecten.



Fig. 1.1 Hoe groot is de kans op deze gebeurtenis in de huidige klimatologische omstandigheden, nu en over 100 jaar?

De ingenieur dient kennis te hebben van de opbouw en uiterlijk van materialen en het gedrag (zoals sterkte, stijfheid, weerstand tegen het klimaat, enz.). Dit hoort tot het vakgebied van de materiaalkunde. Tevens moet de ingenieur nadenken over wat er kan gebeuren bij veranderende klimatologische omstandigheden.

Duurzame Ontwikkeling en Materialen

Civiltechnische constructies bestaan uit materialen, die zodanig zijn gerangschikt, dat de constructie de gestelde functies kan vervullen. Materialen en civiltechnische constructies zijn dus onlosmakelijk met elkaar verbonden. Het Van Dale woordenboek definieert een

materiaal als: "de ruwe stof tot enig werk". Dat geeft meteen aan wat van de civieltechnisch ingenieur verwacht wordt: "de ruwe stof tot enig werk omzetten". Daarvoor moet de civieltechnisch ingenieur weten met welke stof hij/zij te maken heeft, welke eigenschappen deze stof heeft en hoe die eigenschappen beïnvloed worden. Materiaalkunde is nu de leer die deze aspecten beschrijft.

Kennis van deze leer, die inzicht geeft in het materiaalgedrag, is een van de essentiële vaardigheden die de civieltechnisch ingenieur moet hebben om civieltechnische constructies te kunnen ontwerpen.

De club van Rome

Sinds de club van Rome is het besef tot de maatschappij doorgedrongen dat ons klimaat niet onveranderlijk en stabiel is, dat de grondstoffen en energiedragers niet oneindig zijn en dat we als mensheid interfereren met de natuurlijke klimatologische ontwikkelingen. Zie fig. 1.2. Dit noopt ons tot het kritisch analyseren van ons handelen. Een groot aantal staten heeft zich later via de Kyoto-akkoorden gecommitteerd aan de beperking van de uitstoot van broeikasgassen zoals CO₂ en dit heeft uiteindelijk geleid tot Europese wetgeving op dit gebied. Dit heeft zijn weerslag in het gebruik van bouwmaterialen en met name de energieconsumptie bij gebouwen tijdens de constructie, het gebruik en de sloop. In §:4.2.2 wordt hier verder op ingegaan.

Recessies behoorden tot het verleden, stelde de econoom en Nobelprijswinnaar Jan Tinbergen in 1969. Moderne economieën hadden de economie onder controle.

Nauwelijks was dit gezegd of de groei stakte in de jaren zeventig. De problemen werden verergerd door de oliecrisis. In de nasleep van de Yom Kippuroorlog van 1973 verhoogden de Arabische olieproducenten hun prijzen. Nederland werd extra gestraft vanwege zijn pro-Israëlische opstelling: de Arabische landen kondigden een olie-embargo af.

Oliecrisis

Premier Joop den Uyl geloofde dat Nederland zich moest aanpassen aan een structureel lagere toevoer van olie. Op 1 december 1973 sprak hij het volk toe op radio en tv: Wij moeten met elkaar beseffen dat wij niet kunnen voortgaan met het verbruik van beperkte voorraden brandstoffen en grondstoffen, zoals wij het laatste kwart eeuw gedaan hebben. Zo bezien keert de wereld van voor de oliecrisis niet terug. Wij zullen ons blijvend moeten instellen op een le-

vensgedrag met een zuiniger gebruik van grondstoffen en energie. Daardoor zal ons bestaan veranderen. Bepaalde uitzichten vallen weg. Maar ons bestaan hoeft er niet ongelukkiger op te worden.'

De befaamde autoloze zondagen boden een glimp van zo'n mooie groene toekomst. Lege snelwegen, overgenomen door wandelaars, fietsers en spelende kinderen. Maar al snel bleken de tanks in de Rotterdamse haven overvol. Het olie-embargo stelde niets voor.

Achteraf lijkt de reactie van Den Uyl dan ook nogal paniekerig, maar dat is schijn, zegt De Rooij. 'Den Uyl was intelligent genoeg om te beseffen dat het olie-embargo slechts een evenementje was.' De premier was echter hevig beïnvloed door het milieubewustzijn van die dagen. In 1972 had de Club van Rome zijn rapport *Grenzen aan de Groei* uitgebracht, dat volgens De Rooij nergens zo goed werd verkocht als in Nederland.

De boodschap was uitermate somber: bij ongewijzigd beleid kon de voorraad aan natuurlijk hulp-

bronnen al tegen het jaar 2000 uitgeput raken. Er bestond zelfs, voorspelde de Club met een merkwaardig soort exactheid, een kans van 1 op 40 dat de wereld in 2000 helemaal niet meer zou bestaan. Den Uyl greep de crisis aan om de bevolking bij te praten over de 'moderne wereld', stelt De Rooij.

Grote consumenten

Den Uyl kreeg ongelijk, althans op korte termijn. (Op lange termijn lijkt de schaarste aan energie wel een probleem, maar die kwestie wordt in het huidige mondialiseringdebat ondergesneeuwd door de zorg om economische groei.) 'Ons bestaan' veranderde wel, maar dan in tegenovergestelde richting. Pas na de oliecrisis begon het grote consumeren. In de jaren negentig geloofden economen opnieuw dat 'de nieuwe economie' altijd zou groeien, dankzij internet en automatisering.

Fig. 1.2 Wat hebben oliecrisis en de club van Rome teweeg gebracht en hoe reageert de politiek daarop? (Uit NRC, april 2006).

De ingenieur en de bouw in het kader van "Sustainability"

Bij de bouw maken we gebruik van (bouw)materialen, voor de productie waarvan grondstoffen nodig zijn en energie gebruikt wordt. Op een gegeven ogenblik voldoet óf het ma-

teriaal niet meer aan de gestelde eisen, of de constructie voldoet niet meer aan de dan geldende eisen.

Het kan ook zo zijn dat de constructie na een aantal jaren niet meer past bij het gebruiksdoel op dat ogenblik. Als reparatie en/of verbouwingen niet meer lonend zijn, zal de constructie gesloopt moeten worden. Dit levert bouwpuin op dat na bewerking ergens op-nieuw gebruikt zal worden of gedumpt. Zie fig. 1.3. Bij alle stadia van deze industriële processen én het gebruik van constructies is er sprake van energieverbruik, uitstoot, uitputting en afval. Men spreekt in de vakliteratuur over de “milieu-ingrepen” van de diverse processen en die geven uiteraard aanleiding tot “milieu-gevolgen”.

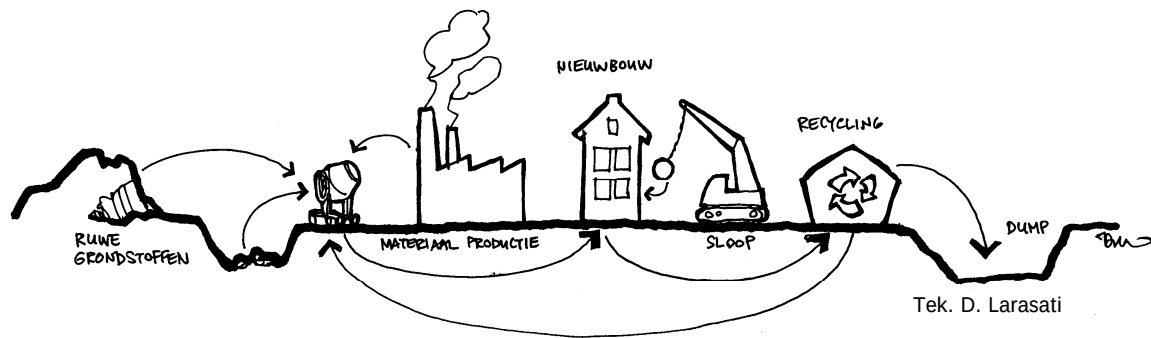


Fig. 1.3 De materiaalkringloop.

De ingenieur is opgeleid om te ontwerpen, te rekenen en te bouwen en werkt actief mee aan de continue veranderingen aan onze omgeving. Hij/zij houdt zich in zijn/haar werkzame beroepsleven (en vaak nog daarna) bezig met de “bouwcyclus”, evenals met de watercyclus en de energicyclus. Hiertoe dient de ingenieur zich te bekwamen in het brede “instrumentarium” dat hem/haar ter beschikking staat zoals wiskunde, mechanica, natuur- en scheikunde, enz.

In het huidige maatschappelijke krachtenveld is men tot de conclusie gekomen dat het alléén uitrekenen van een constructie op sterkte (de constructie mag niet instorten), vervorming (de constructie mag geen onbehagelijksgevoelens oproepen door een te grote vervorming) en op kosten (de constructie mag niet te duur zijn) niet meer volstaat. Men eist ook dat in onze bebouwde omgeving gekeken wordt naar duurzaamheidsaspecten (duurzaam in de betekenis van milieuverantwoord: “sustainability”) als wij een constructie, woonwijk, industrieterrein, een vervoersinfrastructuur enz. gaan ontwerpen.

Dit eerstejaars vak geeft een inleiding in een deel van het benodigde instrumentarium:

De Duurzame Ontwikkeling: Hoe kan ik zo duurzaam mogelijk bouwen en het milieu zo weinig mogelijk verstoren. Welke hulpmiddelen (het “instrumentarium”) zijn er ontwikkeld en wat kan ik er mee doen?

Leerdoelen van het vak Ct1121

Het is de bedoeling dat student, na het met goed gevolg afleggen van het vak Ct1121 Duurzame Ontwikkeling:

- Een overzicht heeft van het toepassen van bouwmaterialen in alle sectoren van de civiele techniek.
- Inzicht heeft in de begrippen “Sustainability” en “Durability”.
- Onderkent wat belangrijke materiaaleigenschappen zijn ten behoeve van het construeren en het *Duurzaam Bouwen* (van “de wieg tot het graf”).

- Een overzicht heeft van het ontwikkelde instrumentarium om af te schatten wat de milieugevolgen zijn bij de toepassing van materialen in de diverse stadia van de levenscyclus van die materialen.

De behandelde stof van het vak Ct1121

De behandelde stof in het eerstejaars vak Duurzame Ontwikkeling Ct1121 is voor een groot gedeelte weergegeven in de boeken van prof.dr.ir. Ch.F. Hendriks (alle te koop via uitgeverij Aeneas Technical Publishers), zie de literatuurlijst, Hoofdstuk 7. Deze syllabus is echter voldoende voor de bestudering van de stof samen met de Power Point Presentaties die op Blackboard zijn geplaatst.

We construeren met materialen en daarom worden in hoofdstuk 3 de belangrijkste bouwmaterialen besproken. Hierbij wordt ingegaan op de productie (van ruwe grondstof tot gereed product), een aantal belangrijke eigenschappen en recycling na einde levensduur bouwdeel of constructie. In dit hoofdstuk wordt tevens een aantal fysische en chemische aspecten aangestipt als opfrissing van de VWO stof.

In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de milieukunde en in hoofdstuk 5 komen enkele praktijkaspecten bij Duurzaam Bouwen en Duurzame Ontwikkeling ter sprake zoals water- en energieproblematiek en Levens Cyclus Analyses (LCA's).

Samengevat: In dit collegedictaat komen achtereenvolgens aan de orde

- Waarom is het vak Duurzame Ontwikkeling nodig?
- Materiaalkundige aspecten
- Milieukundige aspecten en Duurzame Ontwikkeling
- Enige praktijkaspecten zoals: Winning van materialen uit afvalstromen, Rekenmodellen Levens Cyclus Analyses, Energie, Water, Sustainable infrastructuur. De Wet- en Regelgeving wordt kort aangestipt, maar wordt verder in het derde studiejaar in het vak de Bouwcyclus behandeld.

Oefenmateriaal

Ter ondersteuning van het bestuderen van de stof worden tijdens de colleges drie cases (gebaseerd op meningen, artikelen) uitgereikt. De cases zijn verplicht en tellen mee bij de berekening van het uiteindelijke tentamencijfer.

LUCHT BOVEN ZUIDPOOL WARMT STERK OP

Juist deze week brengt *Science* een opmerkelijk artikel waarin het beperkte voorspellend vermogen van klimaatmodellen eens te meer wordt aangetoond. In een artikel dat sterke herinneringen oproept aan het baanbrekende stuk waarin Britse onderzoekers destijds het optreden van een ozongat boven de zuidpool bekend maakten, melden andere Britse onderzoekers nu dat het midden van de troposfeer boven de zuidpool de laatste dertig jaar ongewoon sterk is opgewarmd. Die opwarming was ook nooit voorspeld.

Destijds, in mei 1985, berichtte Joe Farman van de British Antarctic Survey (BAS) in *Nature* dat uit heranalyse van oude waarnemingen was gebleken dat al sinds 1978 in de lokale lente een extreme verdunning van de ozonlaag in de stratosfeer boven Antarctica optrad. Ook nu komt het sensationele nieuws van een nadere inspectie door BAS-onderzoekers van oude metingen. In een speciaal project zijn zoveel mogelijk meetgegevens van radiosondes (weerballonnen) die door verschillende weerstations

boven de zuidpool zijn opgelaten gedigitaliseerd en op kwaliteit gecontroleerd. Ook de Russische metingen zitten nu in het bestand. Analyse van de waarnemingen van negen verschillende stations over de periode 1971-2003 toonde aan dat de troposfeer (de atmosferische laag tussen het aardoppervlak en een hoogte van ongeveer 10 km) gestaag opwarmde. De opwarming is het hoogst in de mid-troposfeer, op een hoogte van 4 à 5 km. De temperatuur daar steeg de afgelopen dertig jaar in de (lokale) winterperiode met

zo'n 0,7 °C per decennium. Een dergelijke opwarming over zo'n groot gebied kent zijn weerga niet. Een verklaring voor het fenomeen is er niet. Omdat aan de luchtcirculatie niets ingrijpends veranderde houdt men het op een lokaal effect: verandering in wolkenhoeveelheid of -samenstelling. Het pijnlijkste nieuws is dat klimaatmodellen de opwarming met geen mogelijkheid kunnen nabootsen. 'Antarctica is nog onvoldoende in modellen opgenomen', heet dat eufemistisch.

Fig. 1.4 Voorbeeld van een item waarop een case kan worden gebaseerd.

23 maart 2006

Ijstijd in de lente

Het is de koudste lente sinds 50 jaar. Maar is het nu wel zo koud? We moesten wel eens dikkere kleding dragen in het voorjaar.



Detail uit Winterlandschap met ijsvermaak, Hendrick Avercamp, ca 1608. BEELD: RIJKSMUSEUM AMSTERDAM

Tussen ongeveer 1430 en 1860 beleefde West-Europa een 'kleine ijstijd'. Vooral in de zestiende en zeventiende eeuw was het een stuk kouder dan nu. De jaartemperatuur lag gemiddeld twee graden lager dan tegenwoordig en dat had grote gevolgen. Winters duurden bijvoorbeeld tot ver in het voorjaar.

In 1548 werd Nederland door een koudegolf overspoeld. Eind maart viel er op sommige plaatsen meer sneeuw dan in de hele voorafgaande winter bij elkaar! Maart 1740 liepen mensen nog op de bevroren Noordzee. En maart 1845 was de koudste maart uit de weergeschiedenis. Rond de vijftiende was het in Groningen 21 graden onder nul.

Ook kwamen er tijdens de 'kleine ijstijd' ernstige overstromingen voor. In 1570 was er bijvoorbeeld de Allerheiligenvloed. Door het hoge water braken de dijken en werd de hele Nederlandse en Vlaamse kust overstroomd. Er vielen meer dan 20.000 doden. In de kerstnacht van 1717 was het weer raak. Een hevige noordwesterstorm zorgde voor een overstroming die vooral Friesland en Groningen teisterde. Ook in die storm vielen duizenden slachtoffers.

Vanaf 1850 steeg de temperatuur geleidelijk tot waar wij aan gewend zijn. Dit had onder andere te maken met de opkomst van de industrie. Door menselijke invloeden zal de aarde verder opwarmen. Wetenschappers verwachten dat de gemiddelde wereldtemperatuur deze eeuw met één tot zes graden zal stijgen. Dat dat niet zonder gevolgen zal blijven voor de mens en de natuur, daar kan geen twijfel over bestaan.

De rubriek Anno NU geeft wekelijks een stukje geschiedenis bij het nieuws. Reageren? Surf naar de site.

www.anno.nl

Fig. 1.4 (vervolg) Voorbeeld van een item waarop een case kan worden gebaseerd.

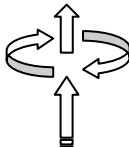
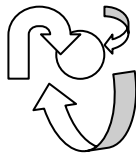
De samenhang met andere vakken

In het tweedejaars vak Ct2122 wordt dieper ingegaan op de materiaalkunde (opbouw, eigenschappen, productie, be- en verwerking, duurzaamheid) en dit vak is daarmee de verdere verdieping van hoofdstuk 3 van dit inleidende vak Ct1121.

Het tweedejaars vak Ct2121, het Experiment speelt zich af in het Stevin II Laboratorium van onze Faculteit en traint de student in het doen van een aantal metingen waarbij het analyseren van fouten voortplanting een belangrijk onderdeel van de leerstof is.

In het derdejaars vak Ct3053 wordt de "Bouwcyclus" besproken en wordt tevens dieper ingegaan op Wet- en Regelgeving zoals het Bouwbesluit en Bouwstoffenbesluit, zie tabel 1.1. Het vierdejaars vak Ct4100 "Ecological Engineering" is een verdere verdieping van de hoofdstukken 4 en 5 van dit inleidende vak Ct1121 en is bedoeld om het instrumentarium dat is ontwikkeld om ecologische aspecten door te rekenen, te operationaliseren. Het vierdejaars vak Ct4030 Onderzoeksmethodologie behandelt de aanpak van diverse soorten van onderzoek. Dit vak is nuttig voor studenten die hun afstudeeronderzoek willen beginnen en is van belang voor studenten die later de onderzoekspraktijk in willen gaan.

Tabel 1.1 De vakken in de BSc en de MSc-fase in relatie met Ct1121.

Vak/sectie	1 ^e jaar	2 ^e jaar	3 ^e jaar	4 ^e jaar	5 ^e jaar
Inleiding CT	Ct1101				
Materiaalkunde	Duurzaam Bouwen Ct1121  Waar gaat het nu om bij duurzame ontwikkeling in het bouwen?	Materiaalkunde Ct2122: van micro-structuur naar eigenschappen  Experiment Ct2121: meten is weten, 10x meten is beter weten?	Bouwcyclus Ct3053: De bouwcyclus in de praktijk, overheid en regelgeving & handhaving 	Ecological Engineering Ct4100: Welk instrumentarium heeft de ingenieur tot zijn beschikking en hoe pas je dat toe? Research Methodology Ct4030: Hoe pak je een onderzoek aan?	Maintenance and Durability Ct5100: Hoe gaan materialen kapot en hoe onderhoud je een constructie? Concrete Technology Ct5101 Hoe ontwerp je het juiste betonmengsel en hoe gedraagt dat zich dan tijdens verwerking en later in de constructie? Capita Selecta Ct5102: Wat je graag zou willen weten als je in de consultancy gaat werken
Mechanica	Ct1031&Ct1041	 - De constructie mag met een bepaalde zekerheid niet falen, - mag niet te veel vervormen, - mag niet te duur zijn, - moet voldoen aan de nieuwste inzichten op milieugebied.			
Constructie leer	Ct1052				
Technisch tekenen	Ct1112				
Dynamica	Ct1021				
Integraal Ontwerpen	Ct1061				
Modelvorming	Ct1090				
Wiskunde	Ct1316&1317				

Het vijfdejaars vak Ct5100 "Maintenance and Durability" verdiept de kennis op het gebied van de duurzaamheid (in de betekenis van "degradatie") van de belangrijkste bouwmaterialen en gaat in op onderhoudsaspecten van materialen in constructies. Dit vak is daarmee een verdieping van een aantal deelaspecten van het vak Ct2121. Voor het vak Ct5101, zie de tabel. Het vak Ct5102 is van belang voor studenten die de "consultancy" in willen gaan in hun beroepspraktijk.

2 DE CONTEXT VAN HET VAK

2.1 “Sustainability” en “Durability”: Duurzaamheid

Het begrip “duurzaamheid” is in Nederland geïntroduceerd in het Nationaal Milieu Beleidsplan NMP-I (1988) en beoogt een vertaling te zijn van het Engelse begrip “sustainable”, zoals genoemd in het VN-rapport “Our Common Future” (Gro Harlem Brundtland edt.). In het rapport en het NMP wordt duurzame ontwikkeling omschreven als:

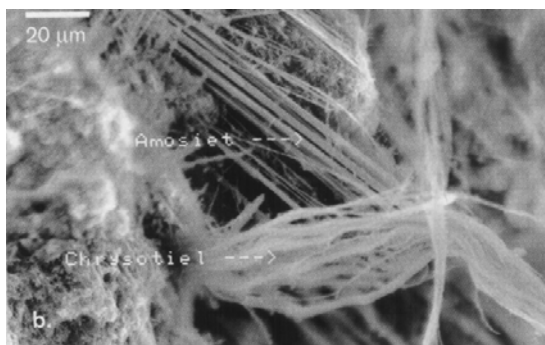
Een ontwikkeling die voorziet in de behoefte van de huidige generatie, zonder daarmee voor toekomstige generaties de mogelijkheden om ook in hun behoeften te voorzien, in gevaar te brengen.

Hierbij gaat het niet alleen om “milieu” (zoals behoud en ontwikkeling van ecologische kwaliteit), maar ook om sociale en economische belangen, zoals gezondheid en welzijn, veiligheid, zorg voor de leefomgeving, welvaart, voldoende werk en een rechtvaardige verdeling van hulpbronnen. Voor echte duurzame ontwikkelingen moeten deze belangen op alle schaalniveaus verenigd worden. In dit licht zou duurzaam bouwen omschreven kunnen worden als

Een wijze van ontwerpen en bouwen die de gezondheid van de mens (fysiek, psychisch, sociaal) nastreeft en die in harmonie is met de levende en niet-levende natuur.

Gezien de vele verschillende, en ten opzichte van de oorspronkelijke betekenis zeer beperkte interpretaties die inmiddels in de bouw aan het begrip “duurzaam” worden gegeven (de één vindt PVC duurzaam, de ander gruwet bij die gedachte), prefereren sommigen andere begrippen, zoals mens- en milieuvriendelijk, dan wel ecologisch of biologisch bouwen. Er wordt niet gepoogd een sluitende definitie van het begrip te geven. In dit hoofdstuk komt verdere begripsvorming aan de orde en wordt ingegaan op het integrale karakter ervan.

Bij het kiezen voor duurzaamheid, en voor de mate waarin deze moet worden verwezenlijkt, moeten wij ons realiseren dat het nú in het verleden ligt en de toekomst in het heden. We kunnen daarom maar beter, bij enige twijfel over effecten van maatregelen op mens en milieu, het “voorzorgprincipe” hanteren: niet toepassen van een maatregel zolang we niet zeker zijn van de afwezigheid van schadelijke effecten op korte of langere termijn. Op dit moment mogen materialen en systemen worden toegepast zolang niet wetenschappelijk en onomstotelijk aangetoond wordt dat er schadelijke effecten zijn. Naast de beperkingen van de wetenschap (sommige dingen weten we gewoon niet, soms duurt het lang voordat iets verantwoord aangetoond is) spelen hier ook economische belangen mee. Dat een dergelijke benadering grote risico's met zich meebrengt, hebben we gezien



met de asbestproblematiek (het ontstaan van longkanker bij inademing en de maatregelen die men moest nemen toen het probleem begon door te dringen tot de maatschappij).

Fig. 2.1.1

Asbest: uiterst gevaarlijk bij inademen.

Het heeft jaren geduurd voordat de maatschappij asbest uit de productieketen heeft verbannen. Inmiddels hebben gecertificeerde bedrijven zich gespecialiseerd in het verwijderen van asbest en asbestbevattende materialen.

Daarom is het beter om bij de toepassing van materialen liever geen risico te nemen, er zijn altijd alternatieven. Want bij duurzaamheid gaat het om de toekomst. En die is dichterbij dan het verleden, immers ontwikkelingen gaan sneller en hoe die toekomst er dan ook precies uitziet, het gaat om de toekomst voor mensen die wonen en werken, inspannen en ontspannen, liefhebben, lachen en huilen, en kinderen een goede toekomst gunnen. Kortom, echt leven, in een omgeving die niet slechts daarvoor geschikt is, maar die aan dat leven ook een positieve waarde toevoegt. Leven in vrede, gezondheid en harmonie met elkaar en de natuur zijn waarden die te maken hebben met welzijn en die mensen nú belangrijk vinden. In de toekomst zal dit nog belangrijker worden, welzijn zal het ten slotte moeten winnen van welvaart.

Milieugebruiksruimte en Factor 20

De ruimte die de biosfeer, in aanwezige voorraden en buffers voor het opnemen en verwerken van verontreinigingen, heeft om de gevolgen van menselijke activiteiten op te vangen, is niet eindeloos. Grenzen worden op een aantal punten reeds lang overschreden. Daarnaast is er sprake van een ongelijke verdeling van de beschikking van de milieugebruiksruimte. Zo gebruikt 20% van de wereldbevolking bijna 80% van de wereldwijd geconsumeerde energie. Het is duidelijk dat dit de geïndustrialiseerde landen zijn. De emissie van kooldioxide wordt voor ongeveer 75% veroorzaakt door datzelfde rijke deel van de wereldbevolking. Bij een duurzame ontwikkeling zouden grenzen van de milieugebruiksruimte niet overschreden mogen worden. Ook hier heeft de wetenschap echter nog geen eenduidig antwoord op de vraag waar die grenzen liggen. Dit mag echter geen reden zijn om ons zo lang daarachter te verschuilen. Gezien de verschillende economische belangen worden op dit moment ook verschillende antwoorden op deze vraag gegeven. Los van het vraagstuk waar de grens ligt, speelt het probleem hoe men met deze grenzen moet omgaan en hoe de verdeling van de milieuvorraden moet worden gerealiseerd. Het is niet vanzelfsprekend dat deze alleen toekomen aan de mens en dat de gegroeide verdeling (tussen arme en rijke landen) blijft bestaan. Iedereen moet, als "gebruiker" van het milieu, op verantwoorde wijze omgaan met de gebruikruimte.

De zogenoemde "*Factor 20*" is een metafoor, een denkmodel, voor duurzame ontwikkeling, om echt stappen voorwaarts te zetten. Deze metafoor is ook bruikbaar voor duurzaam bouwen. De factor 20 verwijst naar het streven om in het jaar 2030 de milieubelasting per eenheid van welvaart te verminderen met een factor 20, dus twintig keer zo milieu-efficiënt te voorzien in de maatschappelijke behoefte, in dit geval het realiseren van huisvesting en vastgoed. Er zijn inmiddels varianten op deze factor naar voren gebracht (hoe kan het ook anders), dus met minder strenge factoren, 4 of 10. In de verwachting dat de bevolking voornamelijk toeneemt, evenals (wereldwijde) economische ontwikkelingen dat zullen doen, is het een uitdaging om de milieudruk te verlagen.

Om de vraag te beantwoorden hoe groot de belasting is die de mensheid uitoefent op de milieugebruiksruimte, heeft de Amerikaanse bioloog en milieudeskundige Barry Commoner (1972) de milieubelasting omschreven in de illustratieve formule:

$$MB = B \times W \times M$$

waarin:

MB	=	Milieubelasting	M	=	Milieubelasting per eenheid
B	=	Bevolkingsomvang			van welvaart
W	=	Gemiddelde welvaart per persoon			

Indien het scenario van toepassing is dat de wereldbevolking over 50 jaar twee maal zo groot zal zijn, de gemiddelde welvaart per persoon vijf maal zo groot (de arme landen hebben dan nog veel in te halen) en men de totale milieudruk wenst te halveren, betekent dit dat de milieubelasting per eenheid van welvaart met een factor 20 moet worden teruggebracht. Om veranderingen van een dergelijke orde van grootte teweeg te brengen, zijn trendbreuken nodig. Dergelijke reducties zijn niet eenvoudig te bereiken met (verbeteringen van) bestaande systemen en technologieën. Naast technologische vernieuwingen zullen ook het gedrag en de opvattingen van mensen moeten veranderen. Technologische oplossingen kunnen slechts slagen als deze passen binnen sociale en culturele ontwikkelingen.

Ecologische “voetafdruk”

In een (medio jaren 1990) uitgegeven studie door Raese en anderen is een analyse uitgevoerd van het beslag dat een aantal landen legt op aardse rijkdommen, evenals op de gevolgen van het gebruik hiervan. Die analyse is ook voor Nederland uitgevoerd. Hieruit blijkt dat, indien de realisatie van deze behoefte wordt uitgedrukt in hectare, Nederland voor de handhaving van het huidige consumptiepatroon beslag legt op een oppervlakte die ongeveer driemaal zo groot is als de oppervlakte van het land als zodanig. Tevens leidt dit consumptiepatroon ertoe dat er een grote mate van ecologische onbalans is, uit te drukken in parameters als uitputting, verontreiniging en aantasting. Indien deze onbalans moet worden weggenomen door het treffen van corrigerende of aanvullende maatregelen, heeft Nederland zelfs een oppervlakte nodig van vijftien maal de eigen omvang, zie fig. 2.1.2.

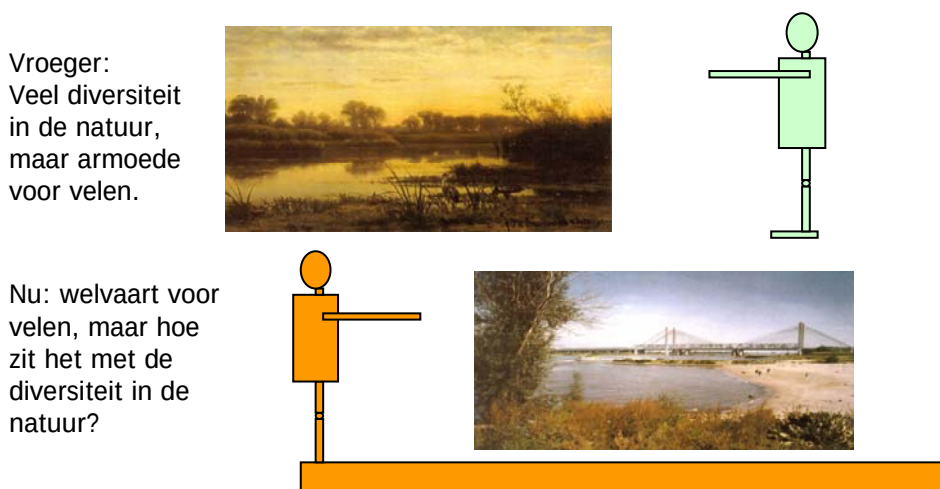


Fig. 2.1.2 De ecologische voetafdruk. Een rivierlandschap nu en vroeger.

Wat is nu duurzaam en wat is duurzaam bouwen?

Er zijn vele omschrijvingen van het begrip “duurzaam”, maar een eenduidige definitie is er feitelijk niet. De meeste geven bovendien een te beperkte kijk op het begrip. Het is onjuist te denken dat bij “duurzaam” de aandacht alleen naar het milieu uit kan gaan. Bij de procesindustrie had men dat al eerder begrepen, het milieuaspect moet niet naast of tegenover andere aspecten of belangen staan, maar “onderdeel worden van het geheel” ofwel daarmee een integrale benadering bieden. Hierbij valt op te merken dat het begrip “duurzaam” in relatie tot “bouwen” twee betekenissen heeft, die in het Engelse taalgebruik worden aangeduid met de woorden “durable” en “sustainable”.

In de eerste betekenis is duurzaam de eigenschap van een materiaal, bouwdeel of constructie om de in specifieke toepassingen optredende chemische, fysische en mechanische

belastingen gedurende een bepaalde periode in die mate te weerstaan dat geen ontoelaatbare achteruitgang optreedt in relevante functionele eigenschappen.

In de tweede betekenis is duurzaam de algemene eigenschap van een materiaal, bouwdeel of constructie, die aangeeft of en in hoeverre voldaan wordt aan eisen voor de belasting van lucht, water en bodem, voor invloeden op welzijn en gezondheid van levende organismen en eco-systemen, voor het gebruik van grondstoffen en energie, en tevens voor landschappelijke of ruimtelijke aspecten, voor het ontstaan van afval en voor het optreden van hinder.

Veelal wordt de fout gemaakt slechts één van beide betekenissen mede te betrekken bij beslissingen over duurzaam bouwen of (erger) de ene betekenis prioriteit te verlenen boven de andere. Deze fouten kunnen en moeten voorkomen worden door bij het ontwikkelen en overdragen van kennis inzake duurzaamheid, steeds beide aspecten te integreren. Figuur 2.1.3 geeft een overzicht van de (dwars)verbanden.

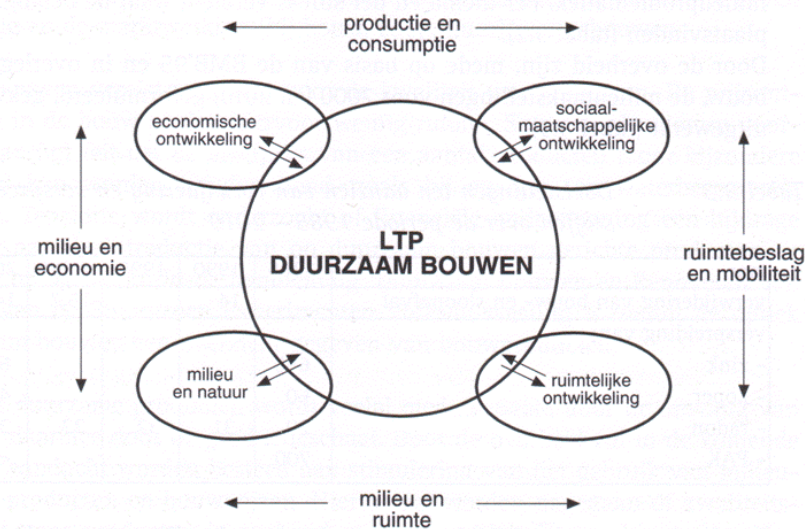


Fig. 2.1.3 De (dwars)verbanden bij Duurzaam Bouwen.

Uitgangspunten

Om beslissingen te kunnen nemen over integrale duurzaamheid, zoals hierboven aangegeven, waarbij dus beide betekenissen worden gebundeld, gelden de volgende drie uitgangspunten.

a) *De toepassing van grondstoffen en materialen in bouwwerken moet integraal worden benaderd via de aspecten:*

bruikbaarheid	herbruikbaarheid
veiligheid	repareerbaarheid
<u>gezondheid</u>	technische levensduur
energiezuinigheid	aantasting
uitputting van eindige voorraden	economische kosten
verontreiniging (emissie)	ecologische kosten
aantasting	waarde
bestandheid tegen calamiteiten	
(bijv. brandwerendheid)	

De onderlinge afweging van deze aspecten wordt bepaald op basis van de gehele levenscyclus, inclusief de toerekening over meerdere levensfasen bij hergebruik.

b) De toepassing moet geoptimaliseerd worden op basis van de gehele levenscyclus, inclusief de toerekening over meerdere levensfasen bij hergebruik.

c) De toepassing moet zodanig zijn dat bij hergebruik een zo hoogwaardig mogelijke volgende bestemming voor de uitkomende materialen gevonden kan worden, maar binnen de bouwketen.

Dit betekent dat materialen herkenbaar en scheidbaar moeten worden toegepast.

Mate van duurzaamheid

Er zijn verschillende instrumenten ontwikkeld om onderdelen van duurzaamheid meetbaar te maken of te kunnen berekenen. Hier wordt in §:5.2 verder op ingegaan. Zie ook de volgende paragraaf.



Fig. 2.1.4 Je wilt parkeren en toch wat groen op straat: Een voorbeeld van een zekere mate van Duurzaam Bouwen is het toepassen van (beton)stenen met een open ruimte waar gras kan groeien.

2.2 Afval- en ketenbeheer

Het is al decennia lang een bekend fenomeen in de bouw om waar mogelijk gebruik te maken van secundaire materialen, zoals industriële reststoffen en deelstromen uit bouw- en sloopafval. Vooral sinds het eind van de jaren zeventig is deze ontwikkeling snel voortgegaan.

Fig. 2.2.1 toont de bouwcyclus. In de figuur is de aanduiding voor afval slechts getekend in fase 4, gebruik en beheer, maar het moge duidelijk zijn dat in iedere fase afval wordt geproduceerd en energie kan worden geconsumeerd. Zie ook figuur 2.2.2.

Aan de toepassingen van gerecyclede materialen lag uitgebreid onderzoek naar technische en milieuhygiënische aspecten, kosten van logistiek, kwaliteitsborging en eventuele risico's ten grondslag. Ook veldonderzoek maakte hiervan deel uit. Het resultaat is dat thans in ongeveer 25% van de grondstofbehoefte in de bouw, die geraamd wordt op 150 Mton/j, wordt voorzien door secundaire materialen. Daartoe zijn richtlijnen, normen, beproevingsmethoden, marktanalyses en kwaliteitsverklaringen ter beschikking gekomen. De toepassingen zijn in het algemeen van zodanige aard dat de kwaliteit vergelijkbaar is met situaties waarin natuurlijke, primaire materialen worden toegepast. Was het streven oorspronkelijk om daarmee een bijdrage te leveren aan de oplossing van de afvalproblematiek en de voorziening in oppervlaktedelfstoffen, nu is ook de koppeling met het beleid op het gebied van ketenbeheer aan de orde. De vraag is relevant of dit leidt tot een andere aanpak.

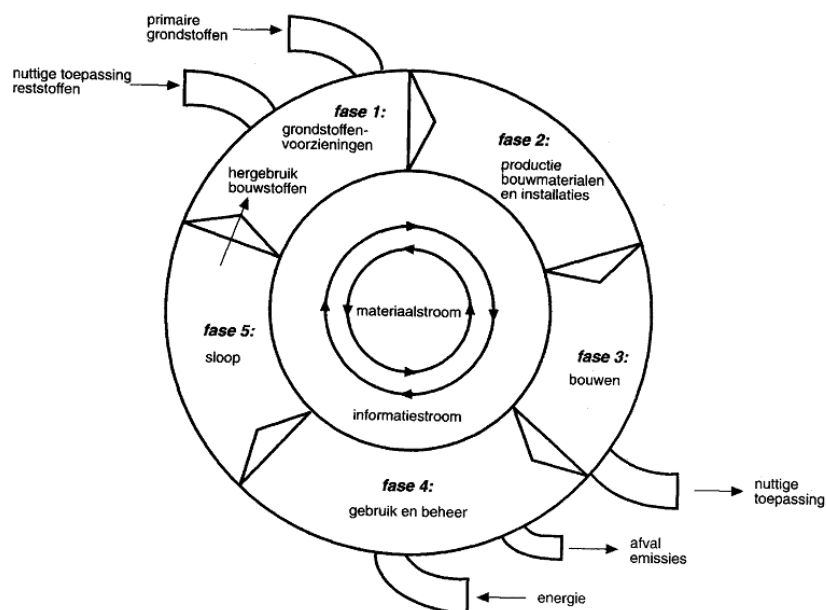


Fig. 2.2.1 De bouwcyclus.

Tot voor kort was de aanpak in Nederland gebaseerd op de zogenoemde "*Ladder van Lansink*" zie tabel 2.2.1. De Ladder van Lansink dateert van eind jaren zeventig, toen de wetgeving op het gebied van afvalstoffen tot stand kwam.

Als men met de huidige inzichten hiernaar kijkt, vallen een paar dingen op. Ten eerste is tegenwoordig het aantal mogelijkheden voor duurzaam bouwen groter geworden. Die mogelijkheden hebben onder meer betrekking op de schaal (constructie-bouwdeel-materiaal) en op nieuwe inzichten aangaande immobilisatie, het langs chemische of fysische weg voorkómen van verspreiding van verontreinigingen.

Tabel 2.2.1 De "Ladder van Lansink".

- preventie
- hergebruik van bouwdelen
- hergebruik van materialen,
- verbranding met energierugwinning
- verbranding
- storten.

Ten tweede valt op dat de Ladder van Lansink een voorkeursvolgorde voorschrijft. Thans zijn methoden beschikbaar op het gebied van de levenscyclusanalyse (LCA, zie §:5.2), ecokosten (kosten om een systeem of handeling te laten voldoen aan duurzaamheidcriteria, inclusief de zogenoemde verzonken kosten - zgn. externe kosten - en waardebeoordeling. In het bijzonder zijn de uitkomsten van LCA-methoden en de EWV (ecokosten/waardeverhouding) goed bruikbaar om in een specifieke situatie de optimale keuze van de trap op de ladder te bepalen. Het resultaat is dan een "ecoladder" of "duurzaamheidsladder" van de bouw, waarbij de volgorde van treden "maatwerk" is. Deze nieuwe dynamische ladder wordt hieronder afgebeeld, onder de naam "Delftse Ladder", (tabel 2.2.2).

Tabel 2.2.2 De "Delftse Ladder".

De 10 treden	Gevolgen
Preventie	"Design for recycling" (DFR), herstel op basis van restlevensduur (technisch en economisch)
Hergebruik van constructies	DFR, overdimensionering, selectieve demontage, restlevensduur
Hergebruik van bouwdelen	DFR, selectieve demontage, opwerking, retourstelsel
Hergebruik van materialen	DFR, selectieve demontage, opwerking, retourstelsel, uitloging van en gehalte aan verontreinigingen
Nuttige toepassing als reststof	Kwaliteit gelijkwaardig aan referentie, wat uitloging betreft
Immobilisatie met nuttige toepassing	Uitloging van en gehalte aan verontreinigingen
Immobilisatie zonder nuttige toepassing	Stortvoorwaarden
Verbranden met energieopwekking	Emissiebeperking
Verbranden	Emissiebeperking
Storten	Stortvoorwaarden

Onder retourssystemen wordt verstaan dat bouwdelen of bouwmaterialen worden teruggenomen door de oorspronkelijke leverancier, worden bewerkt (gereinigd, gerepareerd, e.d.), waarna ze geschikt zijn om opnieuw voor hetzelfde doel te worden toegepast. Het Nederlandse Bouwstoffenbesluit (zie ook de Bijlage over Wet- en Regelgeving) stelt eisen aan samenstelling en uitloging, terwijl het Stortbesluit het regime aangeeft waaraan voldaan moet worden op stortplaatsen. Immobilisatie houdt in dat het dosistempo bij uitloging (uitloogsnelheid) in aanzienlijke mate wordt verlaagd na behandeling van het materiaal (thermisch, chemisch of door toevoeging van een bindmiddel).

Fig. 2.2.2 geeft een voorbeeld van een stroomschema bij de productie van een bouw materiaal, van de wieg tot het graf. Bij ieder vakje is er een “input” (energie, grondstoffen, e.d.) en een output (afval, vervuiling, geluid, enz.). Met behulp van het instrument van de Levens Cyclus Analyse probeert men grip te krijgen op de input en de outputstromen én zover dat mogelijk is, probeert men deze aspecten op één of andere wijze te kwantificeren.

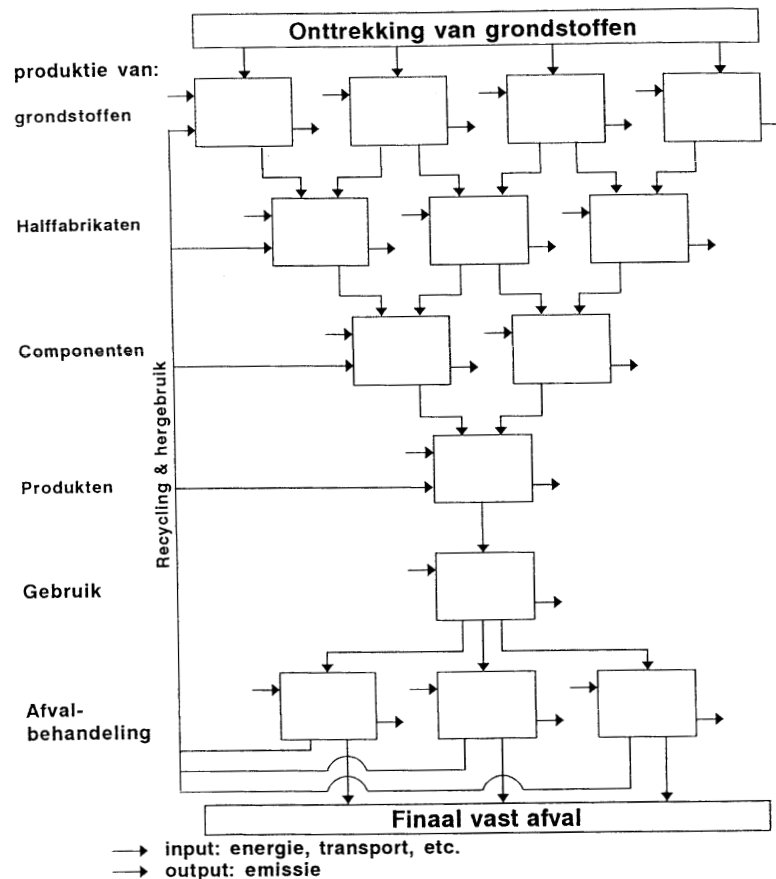


Fig. 2.2.2 Voorbeeld van een stroomschema van ruwe grondstof naar secundaire grondstof: input en output.

Bij het uiteenrafelen van alle processen en input- en outputstromen loopt men tegen het probleem aan dat er een ongelooflijk groot aantal achterliggende processen plaats vindt. Wat moet men meerekenen en waar trekt men de grens? Fig. 2.2.3 illustreert dit probleem.

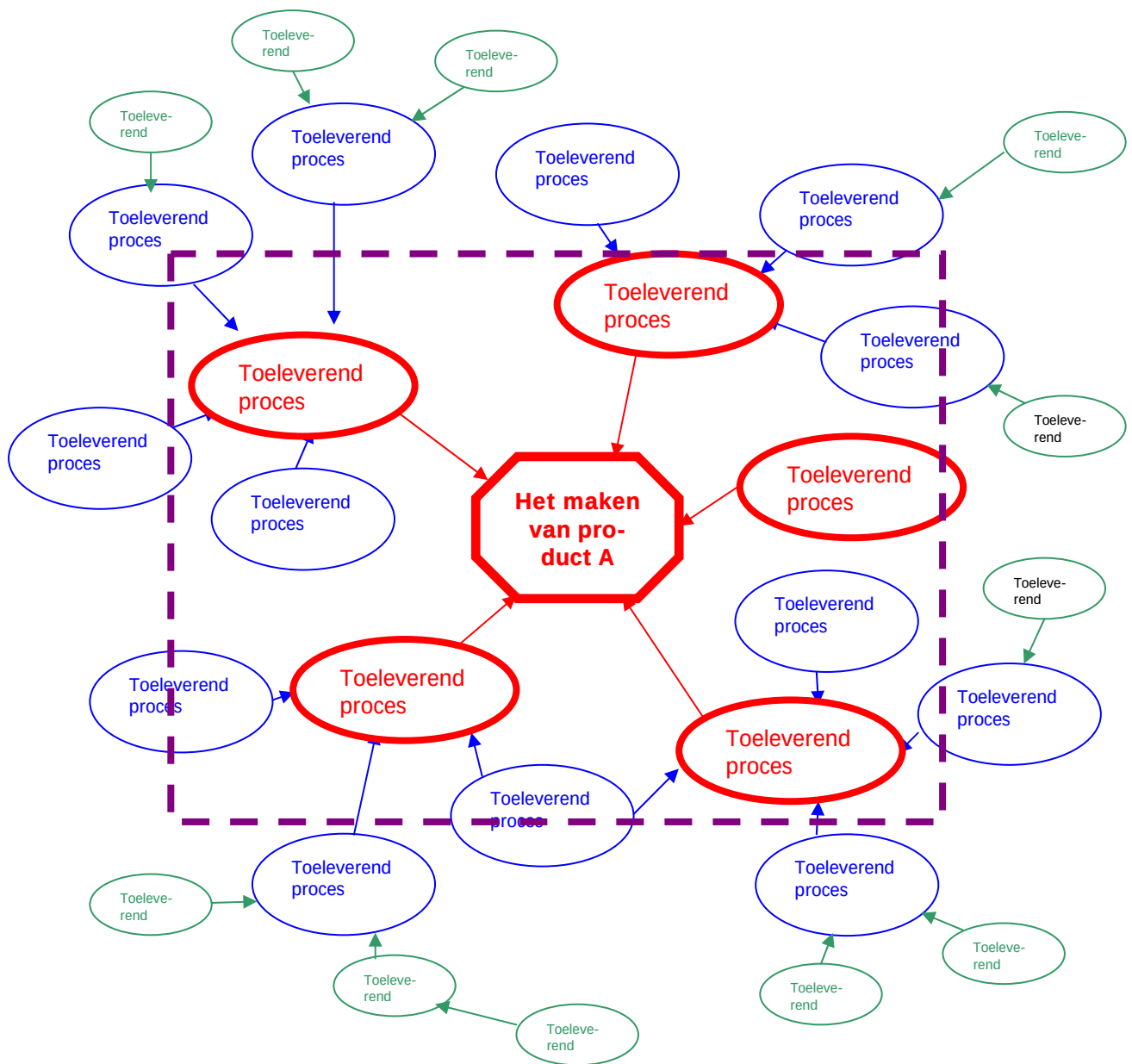


Fig. 2.2.3

Welke processen vinden er plaats om tot een product te komen en wat reken je mee bij de afschatting van de milieueffecten en de milieubelasting (ergo: waar leg je de systeemgrens?) en als je iets meerekent: tot welk percentage?

2.3 Hoogwaardig hergebruik

Het begrip “hoogwaardig hergebruik” krijgt vandaag de dag meer betekenis. Vaak wordt immers gesteld dat weliswaar veel bouw- en sloopafval wordt hergebruikt, maar dat het meestal gaat om laagwaardig hergebruik in de wegenbouw. Hoogwaardig noemt men dan hergebruik in beton of andere bouwproducten. Het economische rendement in wegen is echter veel hoger dan in de betonbouw.

Hoe kan, op basis van de Delftse ladder, behalve de meest gewenste optie, vervolgens de hoogwaardigheid worden bepaald? Daartoe moeten de volgende tien vragen zo nauwkeurig mogelijk worden beantwoord (zie tabel 2.3.1).

Tabel 2.3.1 Hoogwaardigheid bij hergebruik.

<i>Hoogwaardige toepassingen; definitie van de functionele eenheid als bij de LCA</i>	<i>Keuzen of acties</i>
1. Toepassingen voldoen aan alle bestaande eisen, privaat- of publiek-rechtelijk?	Ja of nee?
2. Technische levensduur is groter dan economische levensduur?	Ja of nee?
3. Toepassingen zijn onderhoudsarm?	Uitdrukken in massahoeveelheden onderhoudsmaterialen per functionele eenheid. Aangeven welke hergebruikmogelijkheden er zijn.
4. Er is een zo groot mogelijke potentie voor toekomstig hergebruik?	als gevolg van degradatie niet langer bruikbaar
5. Tijdens de gebruiksfase treedt minimale degradatie op	Materiaalbehoefte per functionele eenheid?
6. Toepassingen zijn materiaalextensiverend?	Energiebehoefte per functionele eenheid?
7. Toepassingen zijn energiezuinig?	Emissies per functionele eenheid?
8. Toepassingen zijn geminimaliseerd op schadelijke emissies?	Hoeveelheid onbruikbaar afval in kg per functionele eenheid?
9. Toepassingen zijn geminimaliseerd op onherbruikbaar restafval?	Ja of nee?
10. Toepassingen zijn marktconform?	

Door dit te doen voor alle recyclingopties is vervolgens een vergelijking mogelijk. Evenals bij toepassing van de levenscyclusanalyse bij materiaalkeuze zal men vaak zien dat geen van de opties op alle aspecten de best mogelijke score oplevert. Een nadere weging van de criteria leidt uiteindelijk tot de gewenste keuze.

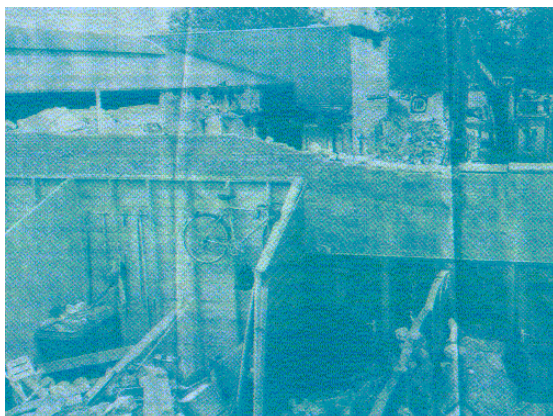


Fig. 2.3.1 Het slopen moet uiteraard ook hoogwaardig en planmatig gebeuren (de schuurtjes op de voorgrond zijn slachtoffer geworden van de dadendrang van de sloper die een muur aan de andere kant van het gangpad moest slopen).

2.4 De context

De civiel ingenieur wordt opgeleid om constructies te ontwerpen, uit te rekenen, te bouwen en te beheren en te onderhouden. Constructies moeten uitgerekend worden op sterkte (ze mogen niet instorten), stijfheid (ze mogen niet te veel doorbuigen en vervormen onmiddellijk na aanbrengen van de belasting en veel later in de tijd) en brandgedrag (je moet een minimale tijd ter beschikking hebben om een brandend gebouw te kunnen ontvluchten voordat gedeeltelijke of gehele instorting optreedt of voordat je onwel wordt vanwege de rookgassen die in een belovende brandende ruimte tot ontwikkeling komen).

Constructies moeten ook economisch zijn, een te dure constructie zal naar alle waarschijnlijkheid niet gebouwd worden (te duur in aanvang, te duur in gebruikskosten, te duur qua renovatie).

De huidige tijd met de onzekerheid over een eventuele klimaatverandering en de uitputting van energiedragers noopt ons tot een uitbreiding van aspecten waarnaar een ingenieur dient te kijken als hij een constructie ontwerpt en doorrekent. Het betreft dan het verkrijgen van inzicht in de “milieu-ingrepen” bij het toepassen van materialen in constructies, bij de productie van de materialen, bij de bouw van de constructie, bij het gebruik van de constructie, bij renovatie en bij sloop en eventuele recycling en stort bij een afvaldepot.

Met het begrip “milieu-ingrepen” bedoelt men begrippen zoals de verspreiding van zware metalen, verzuring, vermist, uitstoot schadelijke gassen (aantasting ozonlaag) en broeikasgassen (CO₂ bijvoorbeeld), geluid, fijn stof, uitputting energiedragers, aantasting van natuurwaarden zoals versnippering van natuurgebieden, afname soortenrijkdom, enz.

In de loop van de jaren zijn er internationaal ideeën en modellen ontwikkeld om inzicht te krijgen in wat de gevolgen voor het milieu zijn als de mens bouwt en activiteiten pleegt. Men heeft getracht bij diverse processen kwantitatieve gegevens te verzamelen om de milieubelasting te kunnen uitrekenen. Dit heeft geresulteerd in een groot aantal computerprogramma's waarbij op kwantitatieve wijze de milieu-invloeden berekend en vergeleken kunnen worden. Hier wordt in §:5.2 verder op ingegaan. Echter, niet alles is kwantitatief te voorspellen en men voelde de behoefte om ook op kwalitatieve wijze de milieugevolgen te kunnen afwegen. Hoe toets je bijvoorbeeld de invloed van lawaai op mens en dier? Wat doe je met stank en lichtvervuiling? Er zijn tegenwoordig modellen ontwikkeld en in ontwikkeling om ook deze aspecten mee te kunnen wegen.

Dit eerstejaars vak beoogt zoals vermeld in Hoofdstuk 1 een inleiding te zijn op het gebied van duurzaam bouwen en geeft een overzicht van de belangrijkste ecologische aspecten waar de ingenieur mee te maken krijgt bij het ontwerpen en doorrekenen van constructies.

People, Planet, Profit, Project

Wetenschappers hebben zich de vraag gesteld: *“We weten dat we op één of andere wijze moeten analyseren, vergelijken en afwegen, maar welke strategie gebruiken we hiervoor?”*

Dit heeft geleid tot de ontwikkeling van softwaremodellen die een hulpmiddel zijn bij de analyse van deze problemen (zie hoofdstuk 5).

Het heeft bijvoorbeeld ook geleid tot een denkmodel waarbij drie onderzocht zouden moeten worden: het PPP-model (de “People, Planet, Profit/prosperity triangle”), zie fig. 2.4.1.

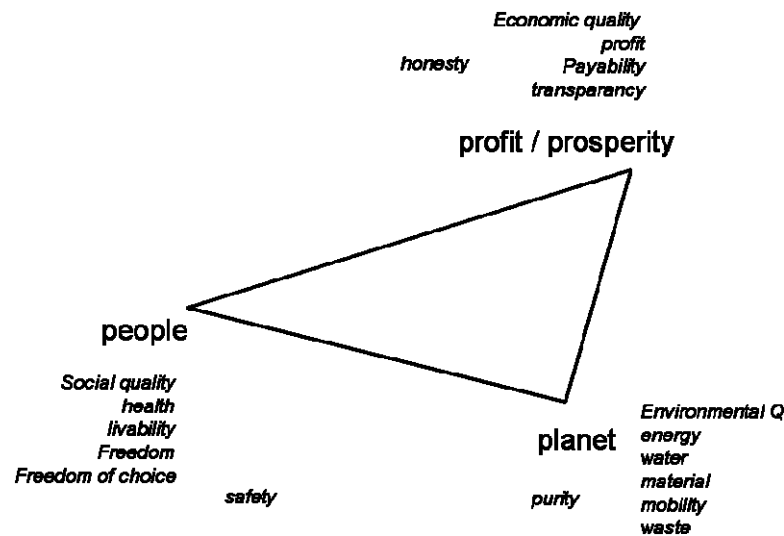


Fig. 2.4.1 De "People, Planet, Profit triangle" als leidraad bij het ontwerpen van onze bebouwde omgeving.

Dit denkmodel is later uitgebreid tot het quadruple-P model, zie figuur 2.4.2.

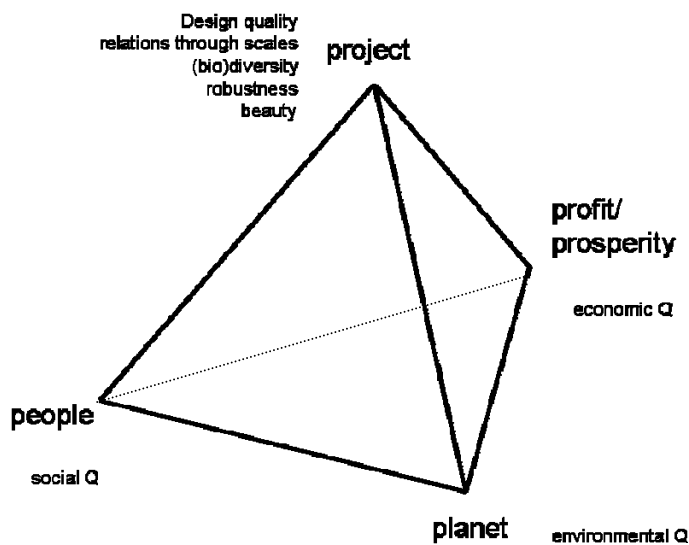


Fig. 2.4.2 De tetraëder van de ecologische zoektocht bij het construeren. De Q staat voor "quality".

De idee is dat men zich in eerste instantie kan richten op de drie aspecten van het basisvlak, in dit voorbeeld "mensen, de planeet en economie". Vervolgens zou je maatregelen kunnen nemen om relevante (sub)aspecten bij deze drie items te verbeteren. Als voorbeeld: voor de mensen betere woningen, die goed geïsoleerd zijn zodat we het milieu niet te veel aantasten. Maar als je daarmee vergeet te kijken naar hoe je tot zoiets moois moet komen en waar dit tenslotte toe leidt (het project) heb je grote kans dat je niet ver komt.

Het voordeel van de tetraëder is, dat je hem kan kantelen en zodoende een ander grondvlak krijgt. Je zou bijvoorbeeld de aandacht willen vestigen op welvaart voor velen, grote winstmarges via een uitgekiende projectorganisatie en snelle beslissingen en dergelijke, maar als je dat voor elkaar krijgt, wat doe je het milieu aan?

De DCBA analyse

Naast de software die gebruikt kan worden bij de analyse van milieugevolgen als je gaat bouwen, staat ons ook de “DCBA”-analyse ter beschikking. De methode houdt in dat men op een gestructureerde wijze kritisch nadenkt over de alternatieve ontwerpen die men aan het ontwikkelen is, en waaruit men dan een keus moet maken voor de verdere realisatie. Hierbij is de classificatie “D” zo iets als de gewone huidige toestand (hoewel flexibel, heeft D een lage prioriteit qua verbeteringsaspecten). “C” is de classificatie voor een redelijke verbetering van de normale toestand. “B” is de classificatie waar het milieu zo weinig mogelijk wordt beschadigd. “A” slaat op “autonoom” en houdt de hoogste graad van verbetering in.

De methode houdt in dat men start met het nadenken over aspecten waar men kritisch naar wil kijken. Figuur 2.4.3 is een illustratie van de uitkomst van een dergelijke exercitie in het kader van de ontwikkeling van een stadswijk. In de kolommen staan de aspecten waar men naar heeft gekeken. Het gaat om een vergelijking van drie alternatieven. De figuur laat zien dat men getracht heeft te optimaliseren naar energiebehoefte. Een verdere discussie met de diverse belangenbehartigers kan aanleiding geven tot nieuwe optimalisatie van het geheel omdat men het wellicht niet eens is met de nadruk op de energieaspecten.

Ambitieniveau		Energie			Water			Materialen			Groen			Verkeer			Afval		
	A																		
	B																		
	C																		
	D																		

Fig. 2.4.3 Uitkomst DCBA-analyse voor drie alternatieven voor een stadswijk.

De diverse aandachtspunten bij het bouwen

Bij het bovenvermelde ontwerp van de stadswijk heeft men gekeken naar een aantal aspecten, zie ook figuur 2.4.4. Wet- en regelgeving geeft grenzen aan de speelruimte die de ingenieur heeft. Ook de kosten/baten analyse mag niet ontbreken bij de analyse van diverse alternatieven.

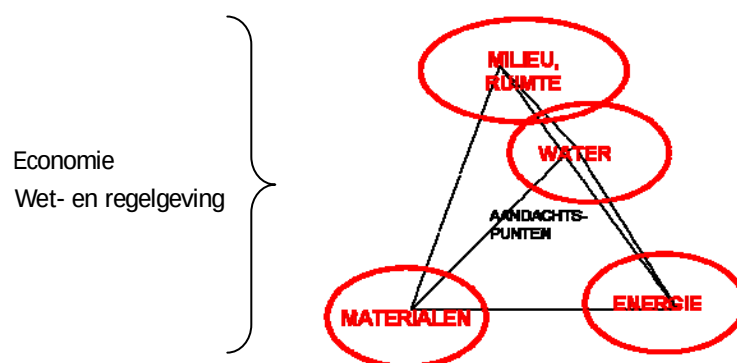


Fig. 2.4.4 De aandachtspunten van de ingenieur bij het werken aan onze bebouwde omgeving.

Het onderzoeken van de ecologische gevolgen van ons handelen is het kernpunt van duurzame ontwikkeling. In ieder stadium van de levensduur, (zie fig. 2.4.5) van een materiaal treedt vervuiling op, is er energiebehoefte en ontstaat er afval. Deze aspecten worden onderzocht via de "Levenscyclus Analysen "LCA's". Bij de correcte wijze van analyseren zal men de gehele levenscyclus in ogenschouw moeten nemen.

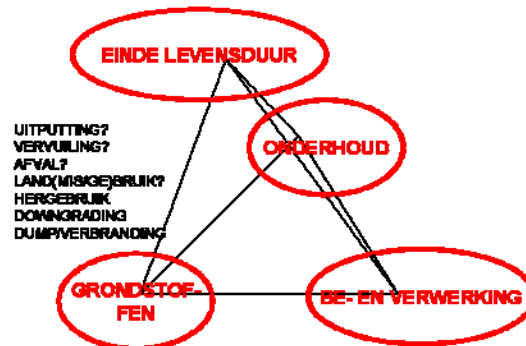


Fig. 2.4.5 De aandachtspunten van de ingenieur bij het analyseren van de gevolgen van de bouwcyclus.

In het voorbeeld van fig. 2.4.3 is ook gekeken naar het water in de wijk, zie fig. 2.4.6. In hoofdstuk 5 is §:5.4 gewijd aan de waterproblematiek.

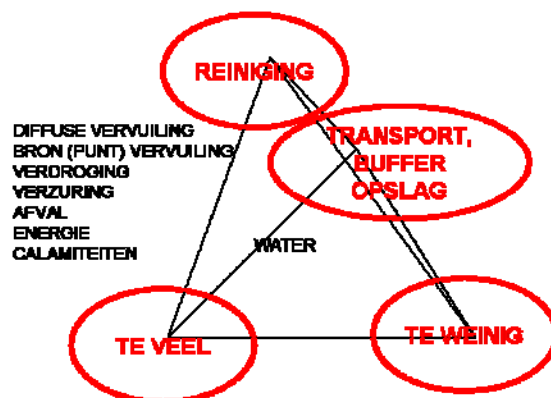


Fig. 2.4.6 De aandachtspunten van de ingenieur bij het analyseren van de gevolgen van de watercyclus.

Uit LCA-analysen van gebouwen is gebleken dat de energiebehoefte bij de vervaardiging van bouwmaterialen veel kleiner is dan de energiebehoefte van een gebouw gedurende de gebruiksduur van het gebouw. Willen we besparen op fossiele energiebronnen dan is het verstandig om de energieconsumptie van gebouwen drastisch te beperken. Bij het optimaliseren van de energie-aspecten is het verstandig om ook te kijken naar het grotere geheel, dus naar energieopslag, transport en energie-opwekking, zie fig. 2.4.7. Paragraaf 5.3 gaat dieper in op de energieproblematiek.

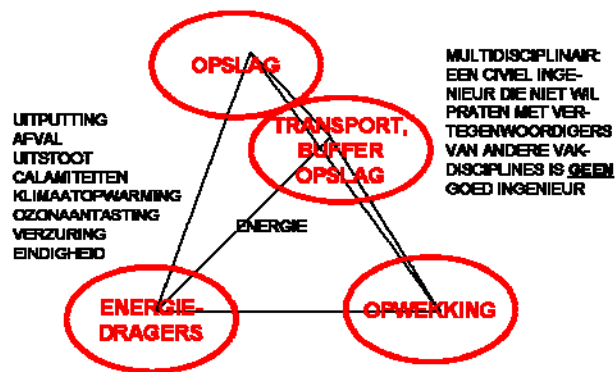


Fig. 2.4.7 De aandachtspunten van de ingenieur bij het analyseren van de gevolgen van de energiebehoefte.

De maatschappij bij monde van de overheid controleert de bouwprocessen via wet- en regelgeving (de overheidsdiensten noemen dat: “handhaving”). Echter het is niet alleen de overheid die invloed heeft op de ontwikkelingen, ook andere niet-gouvernementele organisaties en belangenbehartigers willen hun stempel op de ontwikkelingen drukken. De ingenieur die een rol speelt bij de bouwprocessen in alle stadia van de ontwikkelingen dient zich hier bewust van te zijn. Fig. 2.4.8 laat zien dat naast technische aspecten de sociale aspecten (zoals attitude) van invloed kunnen zijn.

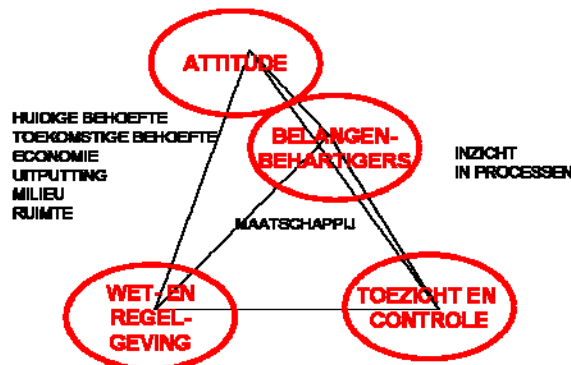


Fig. 2.4.8 De maatschappij en de diverse interacties.

De ingenieur

De civiel ingenieur kan in zijn/haar carrière diverse rollen spelen in de besluitvorming over bouwprocessen en het bouwen. De ingenieur ontwerpt, rekent, bouwt, onderhoudt constructies en sloopt ze waarna hij/zij zich bezig houdt met wat gedaan moet worden met de restproducten. Dan weer is hij/zij handhaver (dus werkzaam bij een overheid), dan weer is hij/zij bouwheer of constructeur (dus werkzaam bij een ingenieursbureau), dan weer bouwt hij/zij (dus werkzaam bij een aannemer), dan weer is hij/zij (ingehuurd als) belangenbehartiger om bepaalde processen te bewaken of te verdedigen dan wel op de agenda te krijgen. In alle gevallen zal de ingenieur kennis hebben van en gebruik maken van alle mogelijke ter beschikking staande instrumentaria (hij/zij is immers de expert). Daarnaast is de ingenieur echter ook degene die de norm en het instrumentarium maakt én ontwikkelt (daar is/hij ten slotte voor opgeleid en dat verwacht de maatschappij van hem/haar). Zie fig. 2.4.9.

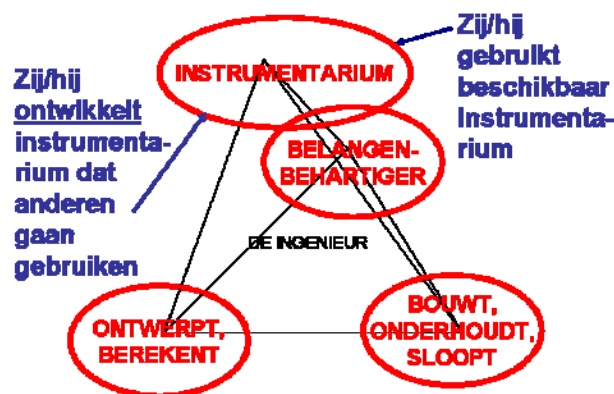


Fig. 2.4.9 De rollen van de ingenieur.

Van de ingenieur mogen we verwachten dat hij/zij kritisch de ontwikkelingen volgt en gevraagd dan wel ongevraagd advies geeft. In het kader van het idee van Duurzame Ontwikkeling en Duurzaam Bouwen is inzicht in het ontwikkelde instrumentarium om ecologische aspecten van bouwen en ontwerpen van groot belang, zie fig. 2.4.10.

Lagere CO₂-uitstoot vraagt veler energie

Nederland staat voor de opgave de uitstoot van broeikasgassen terug te dringen. Om dit te bereiken, is het nodig dat het energieverbruik in woningen wordt beperkt. Eenvijfde van de CO₂-uitstoot wordt veroorzaakt door het energiegebruik in woningen. Liefst 70 procent van alle woningen komt in aanmerking voor betere isolatie van muren, dak en vloeren en plaatsing van dubbel glas. Bewoners kunnen met relatief simpele ingrepen, zoals isoleren of het plaatsen van een nieuwe HR-ketel, zorgen voor een lagere belasting van het milieu en tegelijkertijd flink geld besparen. Alleen al door de toepassing van dubbel glas en isolatie vermindert het gebruik van aardgas in bestaande woningen ruim 30 procent. Een gemiddeld huishouden bespaart daarmee jaarlijks ruim 500 euro.

Nieuwbouwwoningen worden al energiezuinig gebouwd. Voor alle nieuwe woningen is er een zogeheten energieprestatienorm. Begin dit jaar nog is die aangescherpt van 1,0 naar 0,8. Het is goed dat de

overheid aandacht heeft voor energiebesparing in de nieuwbouw, maar het is de hoogste tijd dat de overheid zich ook gaat richten op de bestaande bouw. Deze is namelijk honderd maal groter dan de nieuwbouw. Investerings in de bestaande bouw kunnen daarmee 25 procent tot 275 procent meer CO₂ reduceren dan verdergaande investeringen in het energiezuiniger maken van nieuwbouw. Hier liggen mogelijkheden die niet onbenut mogen blijven.

Tot nu toe zijn alle betrokken partijen te afwachtend en verwijzen ze te gemakkelijk naar anderen om de eerste stap te zetten. Bouwend Nederland en Natuur en Milieu hebben een groot aantal partijen uit de bouw en maatschappelijke organisaties uitgenodigd om vanaf vandaag een plan te maken voor duurzame renovatie van en energiebesparing in de bestaande woningvoorraad.

Elco Brinkman en Mirjam de Rijk

De auteurs zijn voorzitter van Bouwend Nederland, respectievelijk algemeen directeur van de stichting Natuur en Milieu.

Fig. 2.4.10

Ook de bouwwereld is doordrongen van dat we niet onbeperkt CO₂ kunnen blijven uitstoten. (Artikel Cobouw, 2006).