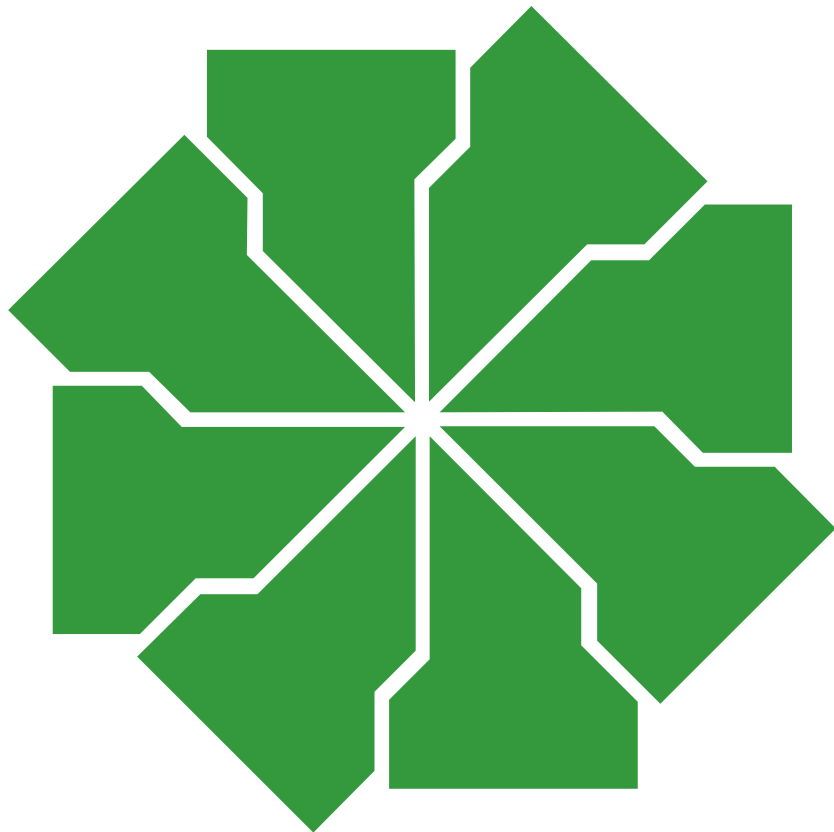


Rioleringstechniek

De milieubelasting van buismaterialen

Deel 6



De milieubelasting van buismaterialen

Rioleringstechniek

De milieubelasting van buismaterialen

Deel 6

VERENIGING VAN PRODUCENTEN VAN BETONLEIDINGSSYSTEMEN VPB

Woerden, 1999

Het onderhavige boek maakt deel uit van een serie van zeven handboeken, alle handelend over aspecten van betonnen rioolstelsels. De delen kwamen tot stand dankzij de medewerking van:

Prof. dr. J.M.J.M. Bijen

Prof. ir. J.B.M. Wiggers

Ir. H.J.A.M. Hergarden

Ir. E.C. Klaver

Ir. J. Weenink

Ing. J.G. Matser

Ing. W.L. van de Gaar.

Voor wat betreft dit deel is tevens medegewerkt door:

Mevrouw Drs. A. Schuurmans

Drs. Th. Hess c.s.

Eindredactie: R. Bolderman

© 1999 VPB WOERDEN

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgeefster.

Ondanks alle aan de samenstelling van de tekst en de tekeningen bestede zorg, aanvaarden wij geen aansprakelijkheid voor eventuele schade die zou kunnen voortvloeien uit enige fout die in deze uitgave zou kunnen voorkomen.

De serie Rioleringsstechniek omvat de volgende delen:

Deel 1: Het materiaal beton/componenten van het betonnen rioolstelsel

Deel 2: Betonnen buizen in de grond

Deel 3: Maatschappelijke aspecten van riolering/De geschiedenis van riolen

Deel 4: Inzameling en transport van afvalwater

Deel 5: De constructieve berekening van betonnen buizen en putten

Deel 6: De milieubelasting van buismaterialen

Deel 7: De constructie van betonleidingsystemen

INHOUDSOPGAVE

HOOFDSTUK 1:	INLEIDING	13
HOOFDSTUK 2:	DE INTEGRALE KETENANALYSE	15
02.01	DE LEVENSCYCLUSANALYSE LCA	15
02.01.01	<i>Drie volledige onderzoeken</i>	15
02.01.02	<i>Indicatieve LCA's</i>	15
02.01.03	<i>Materialpositionering</i>	16
HOOFDSTUK 3:	DE LCA-METHODIEK	17
03.01	DE STAPPEN	17
03.01.01	<i>Doelbepaling</i>	17
03.01.01.01	<i>Functionele eenheid en afbakening</i>	17
03.01.01.02	<i>Representativiteit</i>	19
03.02	INVENTARISATIE VAN DE LEVENSCYCLUS	20
03.02.01	<i>Processen en procesbomen</i>	20
03.02.02	<i>De algemene grondstof én energiedrager: aardolie</i>	21
03.02.03	<i>Grondstoffen voor cement: het halffabrikaat klinker</i>	21
03.02.04	<i>Grondstoffen voor cement: gips c.q. anhydriet</i>	24
03.02.05	<i>Grondstoffen voor cement: hoogovenslak</i>	24
03.02.06	<i>Grondstoffen voor beton: zand en grind</i>	26
03.02.07	<i>Halffabrikaten voor beton: rubber ringen</i>	28
03.02.08	<i>Grondstoffen voor pvc componenten voor riolen</i>	29
03.02.09	<i>Grondstoffen voor gres componenten voor riolen</i>	31
03.02.10	<i>Procesgegevens</i>	32
03.02.11	<i>Afvalverwerking</i>	32
03.03	CLASSIFICATIE	33
03.03.01	<i>Milieu-effecten</i>	33
03.03.02	<i>Milieuprofiel</i>	34
03.03.02.01	<i>Uitputting van grondstoffen</i>	35
03.03.02.02	<i>Broeikaseffect</i>	35
03.03.02.03	<i>Ozonlaag</i>	35
03.03.02.04	<i>Humane toxiciteit</i>	36
03.03.02.05	<i>Ecotoxiciteit</i>	36
03.03.02.06	<i>Fotochemische oxidantvorming</i>	36
03.03.02.07	<i>Verzuring</i>	37
03.03.02.08	<i>Vermesting</i>	37
03.03.02.09	<i>Afvalwarmte</i>	37
03.03.02.10	<i>Stank</i>	37
03.03.02.11	<i>Lawaai</i>	38
03.03.02.12	<i>Aantasting</i>	38
03.03.02.13	<i>Slachtoffers</i>	38
03.03.03	<i>Normalisatie</i>	38

03.03.04	<i>Milieumaten</i>	39
HOOFDSTUK 4:	MILIEUPROFIEL EN MILIEUMATEN VAN BETON	41
04.01	ALGEMEEN (BETON)	41
04.02	DE PRODUCTIEFASE (BETON)	41
04.03	DE CONSTRUCTIEFASE (BETON)	42
04.04	DE GEBRUIKS- EN ONDERHOUDSFASE (BETON)	43
04.05	DE AFDANKFASE (BETON)	43
04.06	HET MILIEUPROFIEL (BETON)	44
04.06.01	<i>Interpretatie milieuprofiel (beton)</i>	44
04.06.02	<i>Genormaliseerd milieuprofiel (beton)</i>	44
04.07	NIET-CLASSIFICEERBARE STOFFEN (BETON)	44
04.08	EVALUATIE (BETON)	46
04.08.01	<i>Milieumaten (beton)</i>	46
04.09	ZWAARTEPUNTSANALYSE (BETON)	47
04.09.01	<i>Conclusie zwaartepuntsanalyse (beton)</i>	50
HOOFDSTUK 5:	MILIEUPROFIEL EN MILIEUMATEN VAN PVC IN VERGELIJKING MET BETON	51
05.01	BESCHOUWDE MATERIALEN (PVC)	51
05.02	FUNCTIONELE EENHEID EN AFLEIDING (PVC)	51
05.03	REPRESENTATIVITEIT (PVC)	52
05.04	INVENTARISATIE (PVC)	52
05.05	PRODUCTIEFASE (PVC)	52
05.06	CONSTRUCTIEFASE (PVC)	53
05.07	DE GEBRUIKS- EN ONDERHOUDSFASE (PVC)	54
05.08	AFDANKFASE (PVC)	54
05.09	CLASSIFICATIE (PVC)	55
05.10	EVALUATIE (PVC)	56
HOOFDSTUK 6:	MILIEUPROFIEL EN MILIEUMATEN VAN GRES IN VERGELIJKING MET BETON	59
06.01	BESCHOUWDE MATERIALEN (GRES)	59
06.02	FUNCTIONELE EENHEID EN AFLEIDING (GRES)	59
06.03	REPRESENTATIVITEIT (GRES)	59
06.04	INVENTARISATIE (GRES)	59
06.05	PRODUCTIEFASE (GRES)	59
06.06	CONSTRUCTIEFASE (GRES)	59
06.07	DE GEBRUIKS- EN ONDERHOUDSFASE (GRES)	60
06.08	AFDANKFASE (GRES)	60
06.09	CLASSIFICATIE (GRES)	61
06.10	EVALUATIE (GRES)	64

HOOFDSTUK 7:	EVALUATIE EN CONCLUSIE	65
07.01	ALGEMEEN	65
07.02	VERGELIJKEND OVERZICHT	65
BIJLAGE:	GEVOELIGHEIDSANALYSES	69
LITERATUUROVERZICHT		71

HOOFDSTUK 1: INLEIDING

Ook de wereld van betonnen buizen en putten voor rioleringen wordt gekenmerkt door voortschrijdend onderzoek. Een goed voorbeeld vormt dat naar de levenscyclus van het materiaal. Om aan de hand daarvan de milieubelasting die toepassing van beton met zich brengt, vast te stellen. De resultaten van dit belangrijke onderzoek zijn in het jaar voorafgaand aan de uitgifte van dit handboekdeel bekend geworden. Zij geven de lezers een duidelijk en gestructureerd inzicht in niet alleen de milieubelasting door toepassing van betonnen rioleringen, maar ook in die door toepassing van pvc en gres.

Het levenscyclusonderzoek LCA, waarover dit boek handelt, is verricht in het kader van het Nationaal Milieubeleidsplan NMP en de Nota Produkt en Milieu. De milieugerichte levenscyclusanalyse is door het Milieuberaad Bouw gekozen als dé methode om milieugerichte productinformatie voor bouwproducten op te stellen.

Een onafhankelijk onderzoeksinstituut heeft aldus de fundamenteën aangedragen voor dit boek: het Instituut voor Materiaal- en Milieu-onderzoek INTRON.

Woerden, januari 1996

HOOFDSTUK 2: DE INTEGRALE KETENANALYSE

02.01 DE LEVENSCYCLUSANALYSE LCA

De levenscyclusanalyse waarop dit deel van het Handboek Rioleringsstechniek zich baseert, is conform de LCA-methodiek die door het Centrum voor Milieukunde van de Rijksuniversiteit Leiden (CML) in opdracht van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) in het kader van het Nationaal Milieubeleidsplan (NMP) is ontwikkeld [2, 12].

In het Nationale Milieubeleidsplan van 1989 is gesteld dat er milieumaten voor producten ontwikkeld moeten worden. De in de Nota Produkt & Milieu uit 1993 [15] genoemde milieumaten moeten voorzien in deze informatie.

De milieubelasting van producten moet worden weergegeven over de gehele levenscyclus van het product, vanaf de winning van grondstoffen tot en met de afvalverwerking en recycling. Het instrument om deze milieubelasting te bepalen is een integrale ketenanalyse. Dat wil zeggen: een analyse van alle milieu-aspecten tijdens de levensduur van het product.

De Nota Produkt & Milieu heeft hiervoor een specifieke methode aangewezen: de milieugerichte levenscyclusanalyse, de LCA. Ook verkorte vormen van de LCA zijn mogelijk; de Nota Produkt & Milieu noemt de zogenoemde globale analyse en de knelpuntenanalyse.

Voor de volledige LCA-methode bestaat een handleiding, voor de verkorte methoden is op het ogenblik van publicatie van dit handboekdeel nog geen standaardmethode beschikbaar. In de studie naar het materiaal beton en ook naar de materialen pvc en gres is de **volledige** LCA gehanteerd.

02.01.01 *Drie volledige onderzoeken*

Teneinde te komen tot een juist inzicht omtrent de positie van materialen als het gaat om milieubelastende effecten heeft de VPB de volgende onderzoeken laten verrichten:

- levenscyclusanalyse: milieuprofiel en milieumaten van een betonnen buitenriolering, rapportnummer 95027;
- levenscyclusanalyses (indicatief): milieuprofielen en milieumaten van vergelijkbare buitenrioleringen, echter van pvc c.q. gres, zomede de vergelijking met beton, rapportnummer 95195.

De Vereniging van Producenten van Betonleidingsystemen sluit hiermee aan bij het Nederlandse milieugerichte productenbeleid (NMP -Nationaal Milieubeleidsplan-, Nota Produkt & Milieu) dat stelt dat producenten zelf milieugerichte informatie over hun producten moeten opstellen; informatie die wordt verkregen door middel van een integrale ketenanalyse op basis van de LCA.

02.01.02 *Indicatieve LCA's*

De indicatieve LCA's voor pvc en gres zijn gebaseerd op literatuurgegevens en openbare informa-

tie. Niet-indicatieve LCA's zouden de medewerking van de betreffende producenten vereisen. Voor de onderhavige studies zijn de meest betrouwbare gegevens gebruikt. Daar waar van aannames sprake is, is dit nadrukkelijk vermeld. Niettemin is sprake van **volledige** LCA's voor wat betreft pvc en gres.

De indicatieve LCA's resulteren, evenals bij de LCA voor beton het geval is, in milieuprofielen en milieumaten. De kengetallen zijn indicaties voor de werkelijke cijfers. Naar verwachting liggen de indicatieve kengetallen in de juiste orde-grootte. Vergelijkende literatuurstudies hebben die gevolgtrekking ondersteund.

02.01.03 *Materiaalpositionering*

Het resultaat is dat de milieuprofielen en de milieumaten van pvc en gres kunnen worden vergeleken met die van beton om aldus de milieubelasting van beton te kunnen positioneren.

De doelstelling van de VPB voor de onderzoeksopdrachten is daarmee bereikt: de actuele positionering van beton ten opzichte van andere materialen als het gaat om milieubelastende effecten.

Op de volgende pagina's is de inhoud van de beide rapporten vrijwel volledig weergegeven. Alleen procesgegevens zijn voorbehouden. Ook wordt een aantal zaken als notoir beschouwd. Dit handboekdeel kan derhalve als basis dienen voor materiaalkeuze als het gaat om de milieubelastende effecten van de drie belangrijkste materiaalsoorten voor vrij-verval afvalwatersystemen.

CURSIVERING

Zoals al aangeduid, gaat het bij elk van de materialen: beton, pvc en gres om volledige LCA's. Wat volgt, heeft voor een belangrijk gedeelte betrekking op alle drie de materialen. Om dat duidelijk te maken zijn de betreffende gedeelten *gecursiveerd*. Wat specifiek voor beton is (en wat later specifiek voor pvc en gres is) is romein gezet.

HOOFDSTUK 3: DE LCA-METHODIEK

03.01 DE STAPPEN

Bij de volledige LCA-methode onderscheidt men vijf stappen waarbij de laatste in feite al een toepassing van een LCA is:

- doelbepaling
- inventarisatie
- classificatie
- evaluatie
- verbeteranalyse (wordt in dit handboek niet beschouwd).

03.01.01 Doelbepaling

In deze stap wordt het doel van de LCA vastgelegd. Duidelijk moet zijn waartoe een LCA wordt uitgevoerd. In het onderhavige kan men denken aan:

- productontwikkeling en productverbetering;
- het gebruik ervan als management tool voor de milieuzorg in een bedrijf;
- informatie-overdracht tussen producenten;

en vooral

- informatie-overdracht tussen producenten en afnemers, leidend tot weloverwogen productkeuze bij het ontwerp.

03.01.01.01 Functionele eenheid en afbakening

Buizen en putten maken deel uit van een groter geheel: de riolering. Dat grotere geheel laat zich indelen in:

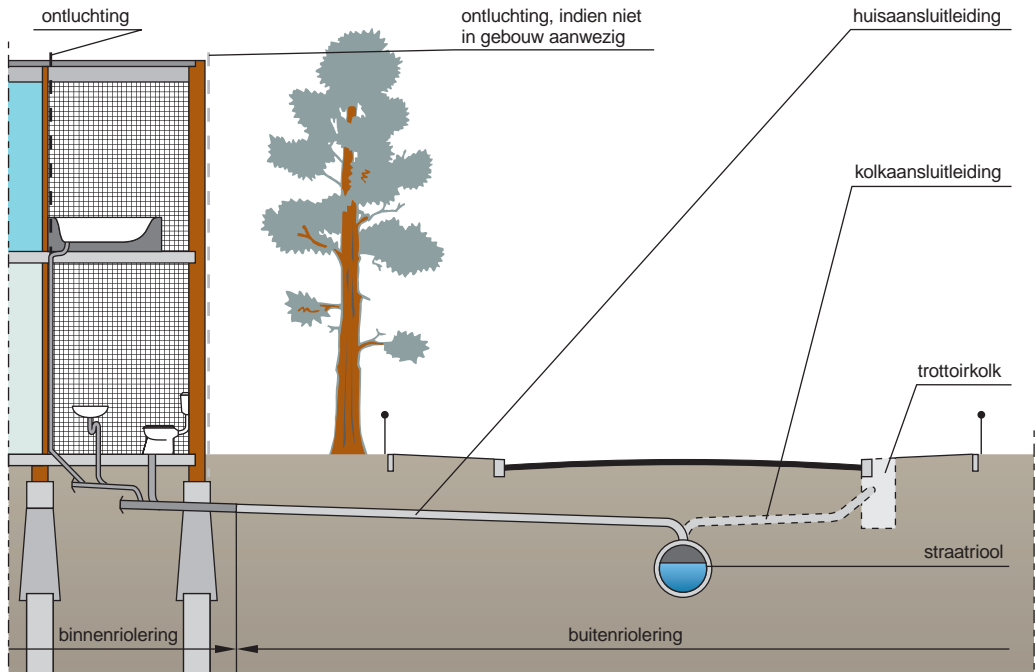
- | | |
|------------------------------------|------------------------------|
| - binnenriolering | inzamel- en transportfunctie |
| - buitenriolering | inzamel- en transportfunctie |
| - gemalen en persleidingen | transportfunctie |
| - afvalwaterzuiveringsinstallaties | reinigingsfunctie. |

De aanduidingen binnenriolering en buitenriolering hebben betrekking op de plaats waar de onderdelen van een riolering zich bevinden. Onder een binnenriolering wordt verstaan de riolering binnenshuis, die bestaat uit leidingen ten behoeve van sanitaire toestellen en overige toestellen die water gebruiken, uit standleidingen, grondleidingen en in- en uitpandige regenwaterafvoerleidingen [1].

Met de term buitenriolering worden die onderdelen bedoeld die buitenshuis, doorgaans onder het maaiveld en meestal onder een wegdek, zijn aangelegd.

Basisvoorwaarde voor beide stelseldelen is dat afvalwater niet in de bodem of in ons leefmilieu terecht komt en dat grondwater niet in het stelsel geraakt.

In figuur 1 zijn zowel de binnenriolering als de buitenriolering schematisch weergegeven.



Figuur 1: schematische weergave van een riolering (inzamelfunctie)

De LCA voor beton beperkt zich vanzelfsprekend tot betonnen buizen en putten als onderdeel van een buitenriolering. Binnenrioleringen worden doorgaans niet in beton uitgevoerd. Waar het gaat om de milieuprestaties van betonnen buizen zijn binnenrioleringen, huisaansluitingen en kolkaansluitleidingen niet in de beschouwingen betrokken.

De stelselkeuze (gemengd, gescheiden, verbeterd gescheiden enzovoorts) is een aangelegenheid die van belang is voor de stelselbeheerder en de waterkwaliteitsbeheerder, maar die er voor de functionele eenheid weinig toe doet. In de beschouwingen is uitgegaan van het gemengde stelsel, het meest voorkomende in Nederland. Voorts geldt het vrij-verval systeem als uitgangspunt. Daarbij wordt het afvalwater ingezameld en getransporteerd door gebruik te maken van de zwaartekracht. Het merendeel van de Nederlandse rioolstelsels berust op deze methode.

In de LCA naar beton (en, zoals zal blijken, ook in de LCA's naar pvc en gres) is ervoor gekozen de qua volume grootste afzetmarkt te beschouwen:

een rioolstelsel in een woonwijk dat afvalwater en regenwater inzamelt en transporteert over verhoudingsgewijs geringe afstand. Daarbij wordt uitgegaan van een niet-zettingsgevoelige grond zodat fundering niet nodig is.

Er wordt verder uitgegaan van buizen met een inwendige diameter van 300 mm. Zoals bekend is de binnenmiddellijn afhankelijk van het debiet en de gewenste bergingscapaciteit. Het debiet is afhankelijk van het verhang (voor gemengde stelsels minimaal 1:750 m) en de wandruwheid. Voor een gemengd stelsel bedraagt het debiet bij een wandruwheid van 1,5 mm minimaal 750 m³/h bij minimaal verhang, bepaald volgens de formule van Prandtl-Colebrook. De bergingscapaciteit per km riool bedraagt circa 280 m³, de putten niet meegerekend. Deze gegevens zijn mede van belang om tot vergelijkbare uitgangspunten voor materialen te komen.

Tenslotte is de levensduur van essentieel belang. Voor de beschouwingen is de ontwerp-levensduur gekozen. Deze is bepaald op veertig jaar en die keuze wordt ingegeven door de levensduur van een wegdek in een woonwijk. In veel gevallen is de ontwerp-levensduur gelijk aan de economische levensduur van een riolering. Na veertig jaar worden stelsels veelal aangepast of vervangen. Het is niet realistisch om uit te gaan van de technische levensduur, die veelal hoger is dan de economische.

Deze afbakeningen leiden tot het vaststellen van de functionele eenheid:

1 km buitenriolering van een gemengd stelsel, functionerend op basis van vrij-verval in een niet-zettingsgevoelig gebied, dat hemelwater en afvalwater inzamelt en door de woonwijk transporteert in de richting van het hoofdriool, gebaseerd op buizen met een inwendige diameter van 300 mm en putten met inwendige afmetingen van 800 x 800 mm en een ontwerp-levensduur van veertig jaar.

Als in deze uitgave sprake is van de functionele eenheid wordt naar deze omschrijving verwezen.

Tot de functionele eenheid behoren de navolgende onderdelen:

- buizen;
- putten;
- verbindingen tussen de buizen onderling;
- verbindingen tussen buizen en putten.

Om de vijftig meter wordt in de functionele eenheid een put geplaatst. Putten worden evenwel als een wezenlijk onderdeel van de functionele eenheid beschouwd. Van de toegepaste buizen, putten en verbindingen zijn gedetailleerde omschrijvingen en materiaallijsten samengesteld. Zoals al eerder aangeduid worden kolkaansluitingen, kolken, zinkers, stuwputten en randvoorzieningen buiten beschouwing gelaten. Dat geldt ook voor gemalen en afvalwaterzuiveringsinrichtingen.

03.01.01.02 Representativiteit

Ten behoeve van deze studie zijn, voor zover het beton betreft, twee Nederlandse producenten van

betonnen rioleringsproducten geraadpleegd. De gegevens van beide zijn verwerkt. Er bestaan kleine verschillen in de resultaten van beide producenten als gevolg van verschillend grondstoffengebruik per functionele eenheid en als gevolg van de afname-locatie van de grondstoffen. Gezamenlijk kunnen de beschouwde ondernemingen als representatief voor de gehele branche worden gezien. Ten behoeve van deze studie is uitgegaan van het gewicht van een “gemiddelde” betonnen buis en put, respectievelijk 401 kg en 1.648 kg. De gegevens zijn representatief voor de jaren 1994 en 1995 en berusten op de toepassing van buizen met lengten van 2.000 c.q. 2.400 mm en een navenant aantal putten met inwendige afmetingen van 800 x 800 mm. De buizen worden geproduceerd met behulp van hoogovercement.

De buizen zijn voorzien van een geprofileerde spie. Tussen de spie en de mof bevindt zich een ring van styreen butadien rubber (SBR). Voor de verbindingen tussen buizen en putten is een etheen propeen dieen rubberen ring (EPDM) toegepast.

03.02 INVENTARISATIE VAN DE LEVENSCYCLUS

In de inventarisatie wordt de interactie tussen de levenscyclus van het te onderzoeken product en het milieu geïnventariseerd. Een levenscyclus is opgebouwd uit een groot aantal processen met een economische uitstroom: het product. Het gaat hierbij niet alleen om de fabricage van het eindproduct, maar ook om processen voor de productie van grondstoffen en halfabrikaten en processen om energie op te wekken. Behalve dat zijn ook zaken als transport, storten, verbranden van belang. In feite zouden de processen die nodig zijn voor de kapitaalgoederen (machines en dergelijke) ook beschouwd moeten worden, maar dat gebeurt niet. Immers, het zou leiden tot een eindeloze regressie.

In de levenscyclus van de componenten voor de functionele eenheid zijn de volgende fasen te onderscheiden:

- *productiefase: de winning van grondstoffen, de productie van materialen en de productie van buizen en putten*
- *constructiefase: de aanleg van de riolering*
- *gebruiks- en onderhoudsfase: het functioneren, het onderhoud en het beheer van de riolering*
- *afdfankfase: sloop/verwijdering van de riolering, afdanking en recycling van onderdelen.*

Vanzelfsprekend is ook het transport in en tussen de fasen beschouwd. Energie-opwekking (zoals elektriciteit) is toegekend aan de fase in de levenscyclus waarin de energie wordt gebruikt.

03.02.01 Processen en procesbomen

Processen worden weergegeven in een schema dat procesboom wordt genoemd. Een belangrijke vraag bij het vaststellen van een procesboom is: welke deelprocessen worden niet in het schema opgenomen? Er moet dus een systeemgrens worden getrokken. Voor deze vorm van afbakening bestaan nog geen algemene regels. Gebruikelijk is om, zoals eerder al opgemerkt,

kapitaalgoederen niet te beschouwen, ergo ook niet het onderhoud ervan. Zou men kapitaalgoederen wel beschouwen, dan zou dit leiden tot een oneindig lange procesboom. Ook processen die betrekking hebben op nevenproducten worden doorgaans niet opgenomen. In het algemeen kan men stellen dat de afbakening geschiedt op causale gronden.

De onderscheidene procesbomen zijn geplaatst waar relevant.

03.02.02 *De algemene grondstof én energiedrager: aardolie*

Aardolie is de basisgrondstof voor petrochemische producten zoals etheen, propaan en benzene. Aardolie wordt zowel te land als op zee gewonnen. In Noord-Europa werd in 1990 circa 15% van de totale hoeveelheid ingezette ruwe olie verkregen uit de Noordzee. In de studie is dan ook uitgegaan van 15% Noordzee-olie en 85% elders gewonnen olie.

Van de winning op de Noordzee zijn vrij nauwkeurige cijfers bekend, zowel uit statistieken als van operators. Deze data zijn in referentie gewogen naar de energie-inhoud van de verschillende producten die bij de winning ontstaan. Er is rekening gehouden met verliezen als gevolg van transport, het eigen gebruik op het olieplatform en on-shore terminals; zo ook met het afgeafakkelde gas. Emissies ten gevolge van het affakkelen zijn beschouwd.

Transport vanaf het Noordeparte platform geschiedt op twee manieren (data 1990): 27,4% van de Noordzee-olie wordt per tanker aangevoerd, alle overige olie via pijpleidingen [27]. Het transport per tanker vergt slechts 0,01% van de totale energie-inhoud. Dit is verwaarloosbaar; de gebruikte gegevens berusten op transport per pijpleiding, transportverliezen en emissies als gevolg van dit transport.

Ten opzichte van Noordzee-olie is slechts weinig informatie beschikbaar omtrent de winning buiten Europa. Slechts twee bronnen zijn beschikbaar en benut. Het transport van deze olie geschiedt per tanker.

Aardolie wordt tot de schaarse grondstoffen gerekend. De huidige oliereserves zouden bij het huidige gebruik nog voor 41 jaar toereikend zijn [28]. In principe kunnen natuurlijke processen opnieuw aardolie vormen, maar daar is een dusdanig lange periode mee gemoeid dat de huidige afname daarmee in geen enkel opzicht gecompenseerd kan worden.

Bij de winning van aardolie kan de werking van springstoffen van invloed zijn op de bodem en treedt voorts bodemdaling op. Meestal is die bodemdaling gelijkmatig verdeeld en het verloop zeer langzaam. Niettemin wordt het landschap en/of de ecologie aangetast.

Gegevens over de winning van olie worden niet apart gemeld; zij zijn opgenomen bij de halffabrikaten waarvoor olie een grondstof is.

03.02.03 *Grondstoffen voor cement: het halffabrikaat klinker*

Om cement te kunnen vervaardigen is het nodig dat over het halffabrikaat klinker wordt beschikt. Klinker is een materiaal met hydraulische eigenschappen. Dat wil zeggen: de stof reageert met

water en als dat gebeurt, ontstaat een massa met steenachtige eigenschappen, ook onder water.

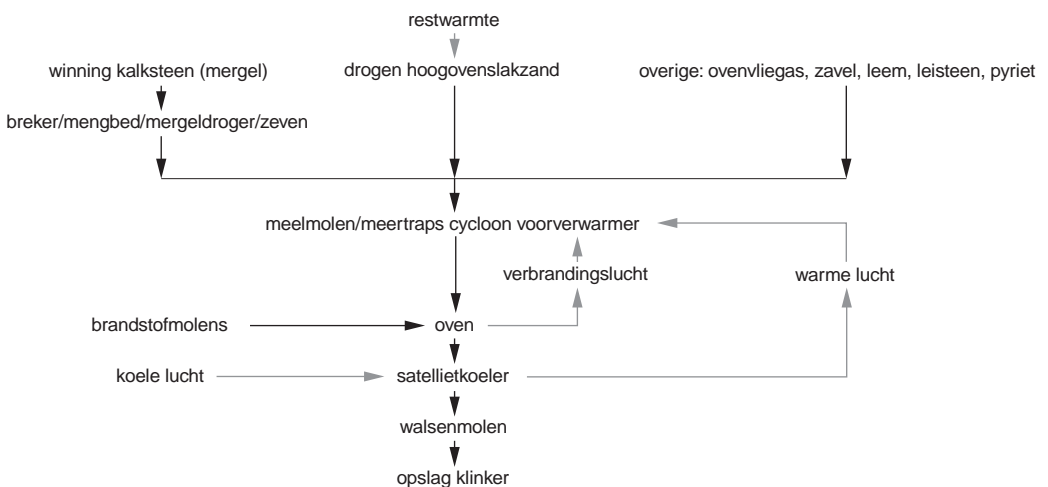
Eén van de belangrijkste grondstoffen voor de fabricage van klinker is kalksteen.

Een zachte vorm van kalksteen is mergel en die wordt in Nederland gewonnen in een deel van de Sint Pietersberg bij Maastricht. Ofschoon de mergelvoorraden nog als substantieel mogen worden gekenschetst, is de winning ervan aan banden gelegd en feitelijk beperkt tot het deelgebied van de Sint Pietersberg. De beperking vindt plaats op ecologische gronden. Het streven van de overheid is gericht op vermindering en misschien zelfs wel beëindiging van de mergelwinning in Limburg. Vandaar dat de cementindustrie zich beijvert het aandeel kalksteen in cement te beperken door het toepassen van waardevolle industriële reststoffen met –al dan niet latent aanwezige– hydraulische eigenschappen, zoals hoogovenslak en poederkoolvliegias.

Voor de verre toekomst moet gerekend worden met een toename van import van kalksteen of import van Portlandcementklinker, het halffabrikaat dat uit kalksteen wordt vervaardigd. In het buitenland zijn de kalksteenvoorraden groot, wat voor het overige ook voor de voorraden zand en grind geldt. Op termijn zal, zeker voor kalksteen of klinker, rekening moeten worden gehouden met langere transportwegen.

De winning van kalksteen geschiedt met graafmachines in dagbouw. Het gebruik van explosieven spitst zich toe op hardere kalksteen (buitenland) en is in Nederland zeer beperkt. Kwantitatieve gegevens ter zake van de door dagbouw veroorzaakte geluidshinder zijn niet bekend.

Bij de winning van kalksteen komen reststoffen vrij zoals zavel en leem die ook voor de klinkerfabricage worden gebruikt. De deklaag op de mergel wordt gebruikt voor de herinrichting van het gebied waaraan, terecht, grote aandacht wordt besteed.

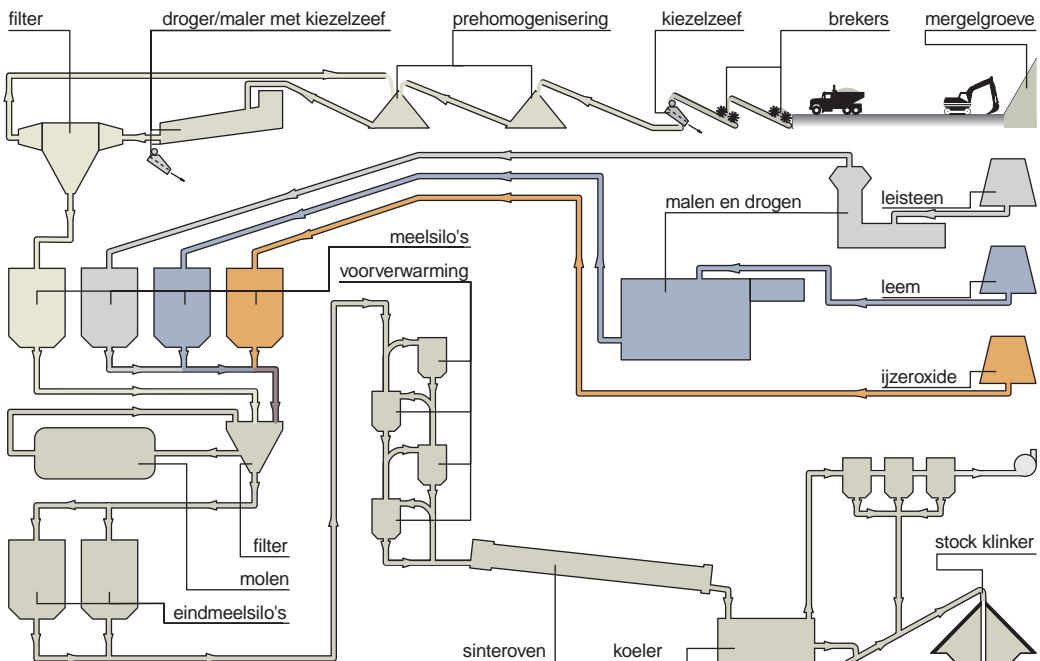


Figuur 2: de procesboom voor de productie van cementklinker (03.02.03. en 03.02.05.)

De kalksteen wordt gebroken in breekinstallaties die in het wingebied staan. Emissies hebben betrekking op stof. De literatuurgegevens hieromtrent zijn sterk verouderd. De stofemissie in Nederland is de laatste jaren sterk gedaald als gevolg van de zogenoemde diepwinning onder natte omstandigheden. Het water wordt uit de kalksteen verwijderd en naar de Maas gepompt. De gegevens voor stofemissie zijn ontleend aan [25].

Portlandklinker wordt gedeeltelijk geproduceerd in Nederland en gedeeltelijk geïmporteerd, voornamelijk uit België. De verhouding was wat dat betreft 2 : 1 [26]. De belangrijkste grondstof voor Portlandklinker is, zoals al geschreven, kalksteen (mergel). Behalve dat zijn ook toeslagstoffen als klei, leem en bijvoorbeeld zavel nodig. Ook leisteen wordt ingezet en daarbij doet zich het probleem voor dat leisteen zowel grondstof als energiedrager is. De leisteen is namelijk afkomstig van de zogenoemde terrils (steenbergen) die men bij kolenmijnen aantreft. Deze landschap-ontsierende bergen worden langzaam afgebouwd. De leisteen bevat evenwel ook koolstofresten en die koolstof is energiedrager. De gemalen leisteen wordt “bijgeblazen” in de oven waar de koolstof verbrandt en dus meehelpt de vereiste temperatuur op te bouwen, terwijl de leisteen deelneemt aan het sinterproces, waarover hierna meer.

De grondstoffen worden gemengd en gemalen tot een fijn granulaat, het eindmeel, van een zo homogeen mogelijke samenstelling. Dit eindmeel wordt naar een torenachtig gebouw getransporteerd waarin zogenoemde cyclonen staan opgesteld. Vallend van de ene cycloon naar de andere ontmoet het eindmeel de hete ovengassen ten gevolge waarvan het eindmeel een temperatuur van meer dan 900° Celsius bereikt. Dan wordt het naar de oven toegevoerd.



Figuur 3: schematisch overzicht van de productie van klinker (bron ENCI)

De oven is een zeer lange, inwendig met vuurvaste steen beklede stalen cilinder die permanent om zijn as draait en enigszins hellend is opgesteld. Het eindmeel treedt aan de hoge zijde van de oven binnen en vindt zijn weg al draaiend en vallend in de richting van de vuurhaard aan het lage deel. Op het einde van zijn weg sintert het eindmeel bij een temperatuur van 1.450° Celsius. Er ontstaan dan kleine, grijsbruine bolletjes: de klinker. Klinker heeft sterke hydraulische eigenschappen, dat wil zeggen: de stof reageert met water en vormt in korte tijd een harde, steenachtige massa.

Bij de oven worden ook andere industriële reststoffen ingezet. In de LCA is bij de milieumaat energie niet apart vermeld welk deel van de gebruikte energie is ontleend aan primaire energiedragers en welk deel aan secundaire energiedragers, de reststoffen. In het milieuprofiel is een en ander verwerkt naar de bijdrage aan de milieu-effecten: primaire energiedragers dragen bij aan de uitputting van grondstoffen en aan verschillende emissies, secundaire energiedragers leveren alleen een bijdrage aan emissies.

De volgende stoffen worden, omdat zij economisch gezien niet als product bedoeld waren en anders hadden moeten worden gestort, als reststof beschouwd op grond waarvan de productie ervan niet relevant is:

- | | |
|----------------------|--|
| - hoogovenslak | reststof hoogovens |
| - vliegashoudend gas | reststof elektriciteitscentrales of vuilverbrandingsinrichtingen |
| - zavel | reststof kalksteenwinning |
| - leem | reststof kalksteenwinning |
| - siliceus afval | reststof kalksteenwinning |
| - pyriet | reststof zwavelzuurbereiding |
| - leest | reststof steenkoolwinning. |

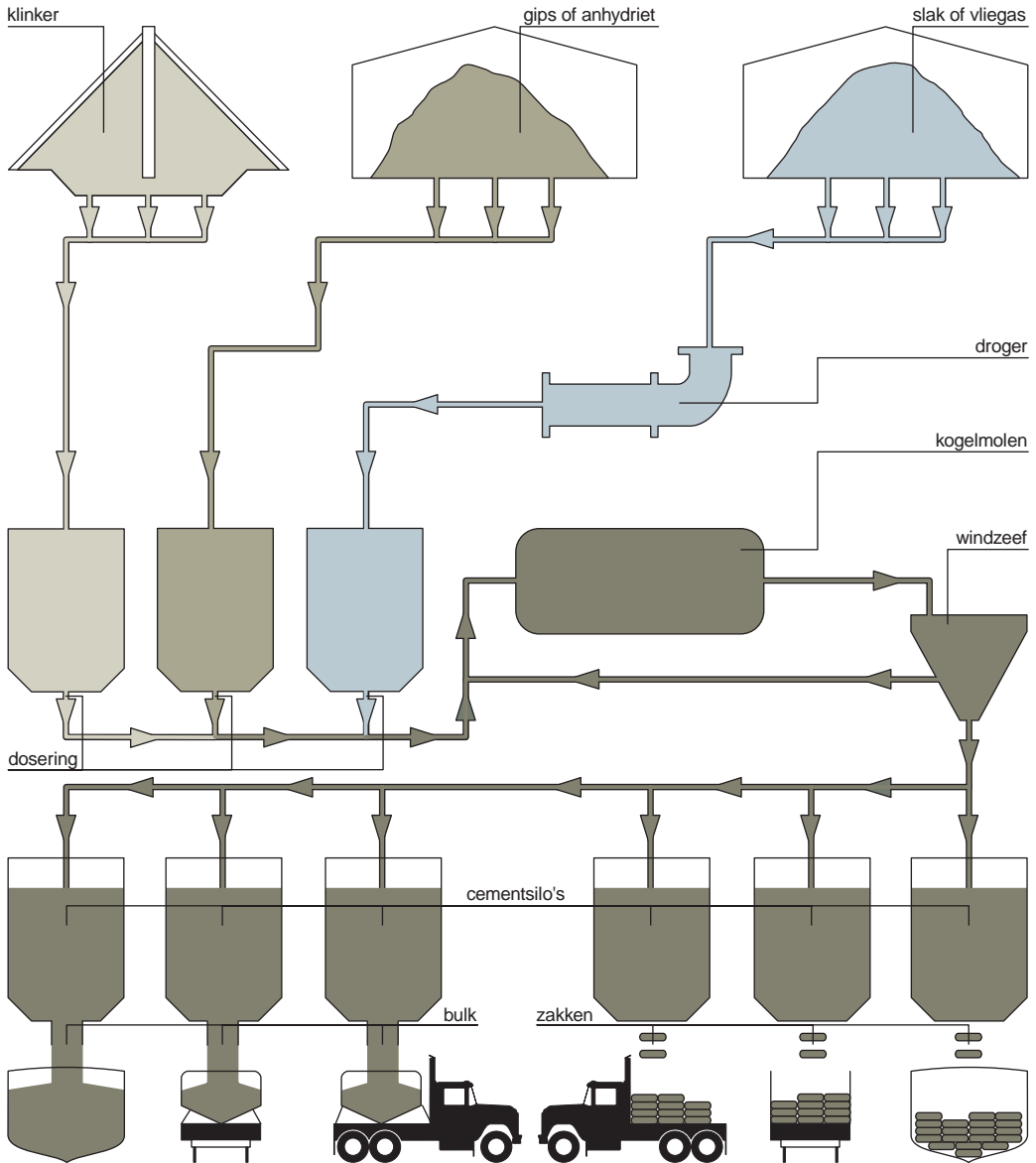
03.02.04 *Grondstoffen voor cement: gips c.q. anhydriet*

Gips en anhydriet functioneren als bindtijdregelaar bij de productie van cement. Het gaat daarbij om natuurlijk gips $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en natuurlijk of synthetisch anhydriet CaSO_4 . Natuurlijk gips en idem anhydriet zijn voornamelijk afkomstig uit Duitsland en Noord-Frankrijk [NOVEM]. Synthetisch anhydriet wordt verkregen door dehydratie van natuurgips of direct als reststof van de fluorwaterstof (HF)-productie. Van dit proces zijn geen gegevens bekend en in de studie is derhalve uitgegaan van natuurlijk anhydriet.

Omdat de Portlandklinker onmiddellijk en snel reageert met water is zij als zodanig onbruikbaar. Daarom voegt men tijdens het malen van de klinker tot een fijn granulaat gips of anhydriet toe, ten gevolge waarvan de bindtijd vertraagt. Door de menging van Portlandklinker met gips of anhydriet ontstaat Portlandcement.

03.02.05 *Grondstoffen voor cement: hoogovenslak*

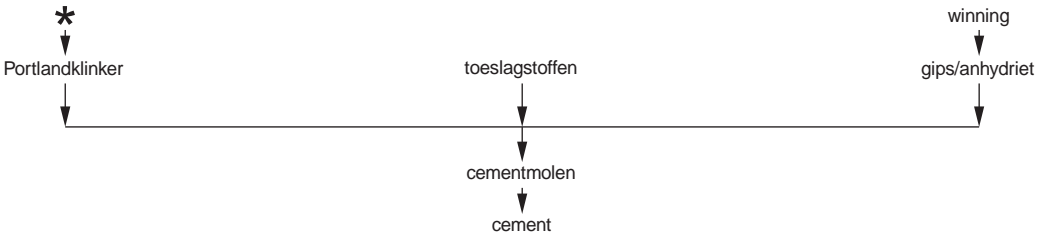
Zoals al eerder aangeduid, tracht men het kalksteenaandeel in de cement te verminderen door tijdens de maling van klinker met gips of anhydriet andere stoffen met hydraulische eigenschappen (al dan niet latent aanwezig) toe te voegen. Deze ontwikkeling is al decennia gaande en loopt parallel met de wens cementsoorten met andere of bijzondere kwaliteiten te ontwikkelen.



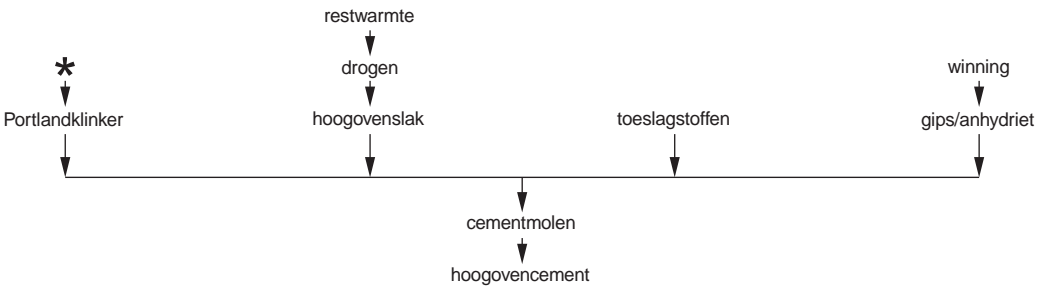
Figuur 4: schematisch overzicht van de productie van cement (bron ENCI)

Voorts is het zo dat bij de productie van betonnen buizen en putten voor rioleringen in hoofdzaak hoogovencement wordt toegepast, reden waarom dit bindmiddel alle aandacht krijgt.

De belangrijkste industriële reststof die bij de samenstelling van kalksteen(mergel)arme cementen wordt gebruikt, is hoogovenslak. Een andere belangrijke industriële reststof is (poederkool)vlieg-



Figuur 5: de procesboom voor de productie van cement



Figuur 6: de procesboom voor de productie van hoogovencement

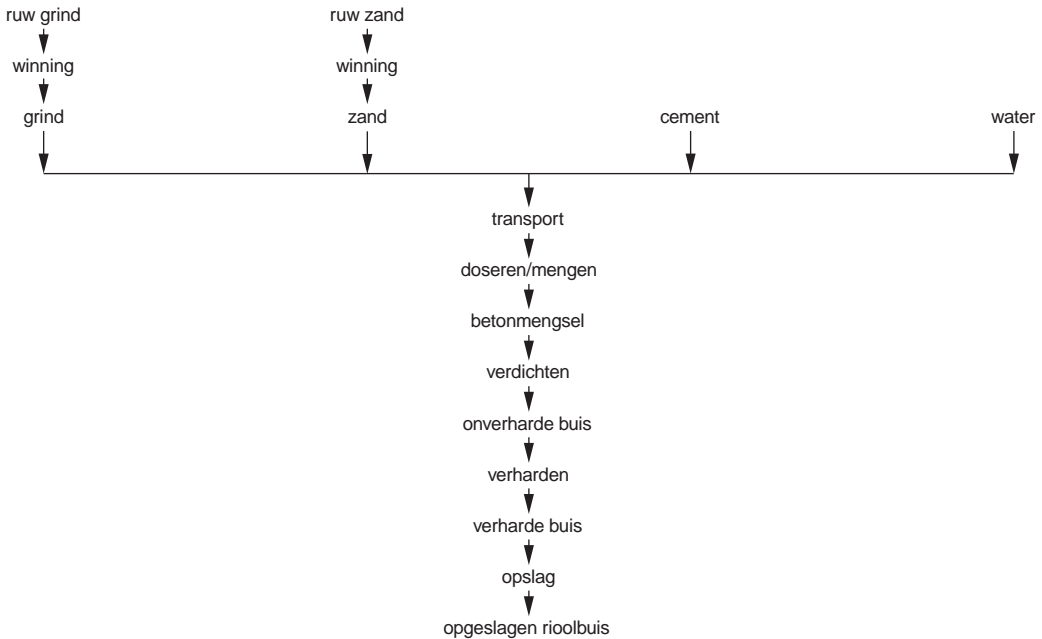
as. Hoogovenslak dankt zijn bestaan aan mijn gesteente dat (noodzakelijkerwijs, scheiding is bijna niet mogelijk) samen met het ijzererts wordt gedolven. Bij het hoogovenproces wordt het dan vloeibare gesteente gescheiden van het vloeibare ijzer en afgetapt: hoogovenslak. Door de slak in aanraking te brengen met koud water spat zij uiteen tot een fijn granulaat. Dat granulaat wordt gemengd met de Portlandklinker en het gips of anhydriet. Zo ontstaat hoogovencement. Als gevolg van recente ontwikkelingen in het maalproces zijn aanzienlijke besparingen (>20%) op primaire maalenergie bereikt.

De verschillen tussen Nederlandse en buitenlandse cementen worden als niet wezenlijk beschouwd, afgezien van langere transportwegen.

03.02.06 *Grondstoffen voor beton: zand en grind*

Zand en grind worden in Nederland meestal en soms gelijktijdig gewonnen in de uiterwaarden van rivieren, vooral in Midden-Limburg langs de Maas.

Het productieproces behelst het opzuigen of baggeren van een mengsel dat bestaat uit zand, grind, klei en/of leem. Zand en grind worden gewassen en naar korrelgrootte gesorteerd. Grof grind wordt naar een breker getransporteerd om te worden gefractioneerd. Vervolgens vindt selectie naar korrel-/fractie-grootte plaats. De gesorteerde fracties worden overgeladen in schepen en vervolgens naar afnemers getransporteerd.



Figuur 7: procesboom van de fabricage van beton voor rioleringen

De winning van zand geschiedt met zuigers, die van grind met emmerbaggermolens, diep-grijpin-stallaties of air-liftinstallaties. Deze werktuigen worden hoofdzakelijk door dieselmotoren aangedreven. De geluidsbelasting kan aanzienlijk zijn. Het energiegebruik is enerzijds afhankelijk van het bouwjaar van de motoren en anderzijds van de capaciteit ervan die mede wordt bepaald door eventueel extra geïnstalleerde apparatuur zoals jetpompen, ontwateringszeven en dergelijke.

De stichting Zand geeft als richtwaarde 1,5 - 2,5 pk per ton gewonnen industriezand [22]. Er wordt geen tijdsduur voor winning aangegeven zodat deze gegevens niet bruikbaar zijn voor de onderhavige studie waarbij in MJ/ton wordt gerekend.

De waarde die de stichting Grind opgeeft [23], benadert die van de stichting Zand. Tevens vermeldt eerstgenoemde een tijdsduur: een aflevercapaciteit van 500 ton gebruiksklaar grind vraagt een motorvermogen van circa 450 pk. Voor het wassen en zeven van grind is 15 - 20% van het geïnstalleerde vermogen nodig. Is sprake van breken, dan vraagt een breker nog eens 150 pk.

Een vuistregel bij de winning van zand en grind is dat 1 m³ materiaal opgebaggerd moet worden om 1 ton industriezand of grind over te houden. Voor de landschappelijke herinrichting rond het winningsgebied is een relatief grote hoeveelheid materiaal nodig, wat ertoe leidt dat de verhouding stijgt van 1 naar 1,25 - 1,5 m³ materiaal per ton. Restmateriaal zoals klei- en slibdeeltjes worden overboord gespoeld. Soms, als het technisch mogelijk is, wordt slib opgeslagen. Net zoals met vreemde materialen zoals houtresten en kleibonken het geval is. De betreffende materialen worden dan weer ingezet bij de herinrichting. Bij het overboord zetten van materialen of bij hergebruik is

geen sprake van milieubelasting omdat het materiaal blijft op de locatie waar het gevonden werd.

Bij de winning van zand en grind wordt nat gewerkt met als gevolg dat de emissies nihil zijn [24]. Volgens de Nederlandse Emissieregistratie is bij overslag sprake van stofvorming. Deze is in de studie verwaarloosd.

De winning van zand en grind leidde tot maatschappelijke discussies, maar de noodzakelijke verdieping en verbreding van de Maas ter voorkoming van watersnoden (Plan Grensmaas) heeft die discussies afgezwakt. In het algemeen kan worden opgemerkt dat zandputten en grindgaten door gebrek aan zuurstof in het water een arme en weinig gevarieerde flora en fauna opleveren, doch anderzijds een bijdrage leveren aan het ontstaan van recreatiegebieden waaraan in toenemende mate behoefte is.

03.02.07 *Halfabrikaten voor beton: rubber ringen*

Voor de waterdichte verbinding van buizen onderling en van buizen en putten wordt bij toepassing van beton gebruik gemaakt van zogenoemde rubber ringen van SBR of EPDM. Voor de productie ervan wordt gebruik gemaakt van de volgende halfabrikaten:

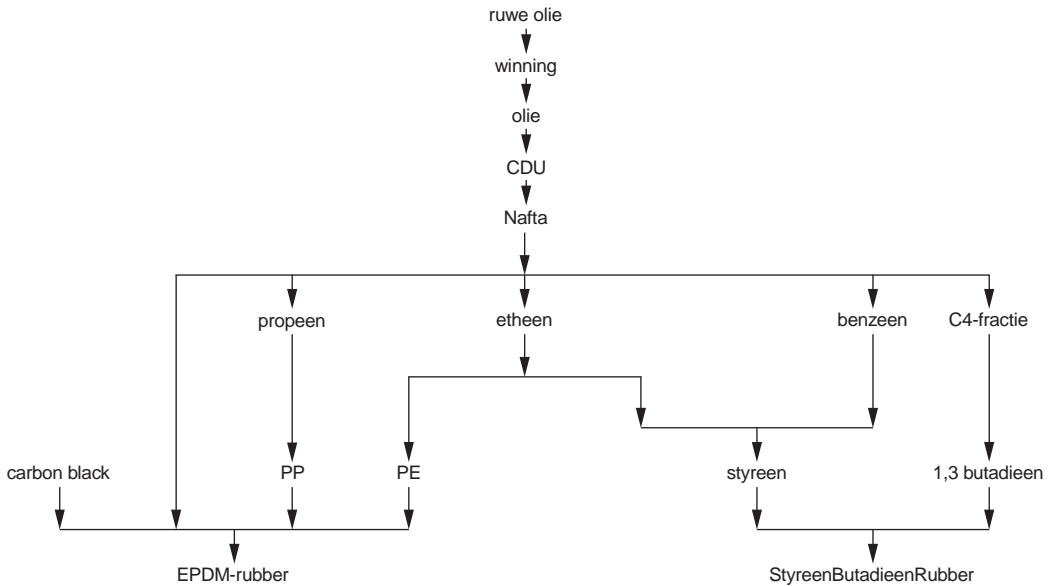
- nafta
- propyleen
- polyetheen
- styreen
- butadien
- ruw styreen butadien rubber (SBR).

Nafta wordt verkregen voor de productie van EPDM rubber en is behalve dat grondstof voor etheen –waaruit polyetheen gemaakt wordt–, voor propeen –basis voor polypropeen–, voor butadien en benzeen –grondstof voor styreen–. Nafta ontstaat door de scheiding van aardolie in fracties in een “crude distillation unit” (CDU) waarin zich een aantal destillatiekolommen bevindt. Behalve de genoemde producten worden ook lichte en zware olie, benzine en LPG afgescheiden.

In de naftakraker –in Europa is het zogenoemde stoomkraken het meest toegepaste proces– ontstaan etheen en propeen. Het proces wordt meestal geoptimaliseerd naar een maximale etheenproductie, omdat etheen het waardevolste product is. Behalve etheen en ook propeen ontstaat tijdens het proces ook pyrolysebenzine (C₄-fractie). Door polymerisatie van etheen en propeen ontstaan respectievelijk polyetheen en polypropeen. Beide laatstgenoemde worden gebruikt bij de productie van EPDM.

De LCA-studie bevat geaggregeerde gegevens voor de productie van polyetheen en polypropeen waarin de productie van nafta en etheen c.q. propeen reeds is verwerkt.

Styreen wordt gebruikt voor de productie van SBR-ringen. De vorming van styreen vindt plaats in twee stappen. Op de eerste plaats wordt benzeen, verkregen uit de naftakraker, katalytisch gealkyleerd met etheen tot ethylbenzeen. Die wordt dan katalytisch gedehydrogeneerd waarbij styreen ontstaat. Na laatstgenoemd proces volgt nog een aantal zuiveringsstappen.



Figuur 8: procesboom van de productie van rubber ringen (SBR en EPDM)

Butadien is een koppelproduct van de etheenproductie uit nafta. De C₄-fractie (butenen) wordt gezuiverd waarbij butadien vrijkomt.

SBR wordt verkregen door emulsiepolymerisatie van 75% 1,3-butadien en 25% styreen. Bij dit polymerisatieproces wordt gebruik gemaakt van een aantal hulpstoffen:

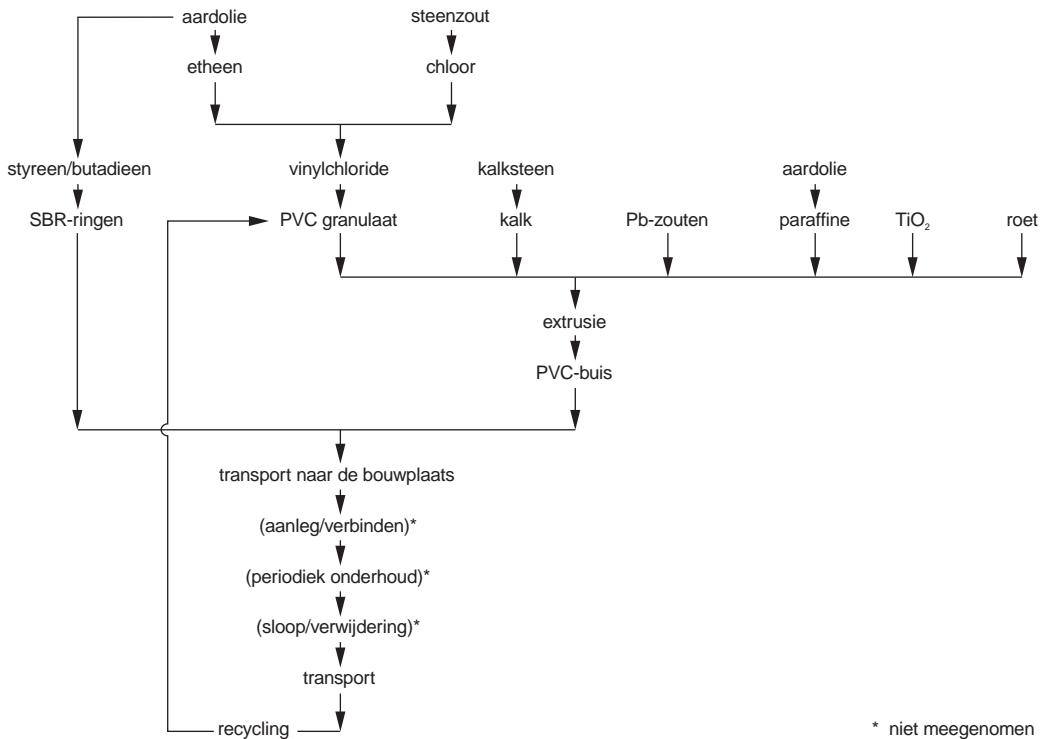
- * dodecylmercaptaan, een gemodificeerd reagens;
- * kaliumpersulfaat, wordt gebruikt als initiator;
- * hydrochion, wordt gebruikt om de reactie te stoppen.

Het polymeer wordt afgescheiden en gezuiverd met behulp van steenzout en H₂SO₄.

03.02.08 Grondstoffen voor pvc componenten voor riolen

De grondstoffen voor pvc zijn aardolie en steenzout. Aardolie wordt geraffineerd tot nafta dat vervolgens wordt gekraakt tot onder andere etheen. Uit steenzout wordt met behulp van een elektrolyseproces chloor verkregen. Etheen en chloor reageren tot 1,2-dichloorethaan dat bij hoge temperatuur ontleedt in vinylchloride en zoutzuur. Het zoutzuur wordt teruggevoerd in het proces om met etheen opnieuw tot 1,2-dichloorethaan te kunnen reageren. De vinylchloride wordt in een polymerisatiestap omgezet in pvc granulaat.

De procesboom van pvc omvat dus een aantal processen, waarbij verschillende industrieën een rol spelen. De milieubelasting van deze processen is in de literatuur goed beschreven. INTRON heeft



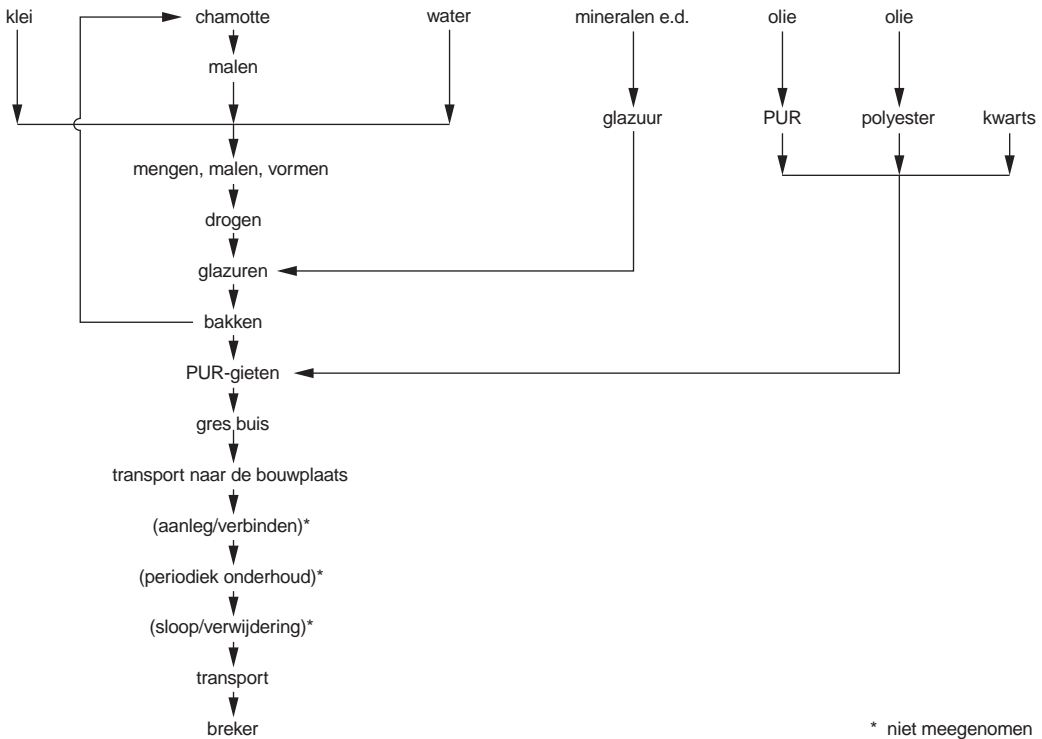
Figuur 9: globale procesboom van pvc buizen in een rioolstelsel

gegevens omtrent de pvc productie ontleend aan een studie van de Association of Plastic Manufacturers in Europe (APME, ook wel bekend als PWMI) uit 1994 [13]. APME heeft de milieu-input en -output van verschillende aardolieproducten onderzocht, waaronder pvc. Het betreft gemiddelde Europese gegevens. APME nam het initiatief voor de studie om eenduidige gegevens over de productie van de betreffende materialen te verstrekken, onder andere voor gebruik in LCA's. De gegevens worden veel gebruikt en volgens INTRON zijn het de best beschikbare gegevens over pvc productie.

Het pvc granulaat wordt getransporteerd naar de producent van pvc buizen. Deze verwerkt het granulaat, tezamen met diverse additieven, door middel van een extrusieproces tot pvc buizen. De gegevens voor extrusie zijn ontleend aan [12]. Evenals bij betonnen buizen is geen verpakkingsmateriaal beschouwd.

De samenstelling van pvc voor buizen is als volgt verondersteld [11]:

- pvc granulaat 94 %
- gebluste kalk (vulmiddel) 3,8 %
- loodzouten (stabilisatoren) 1,1 %
- paraffine (glijmiddel) 0,7 %



Figuur 10: globale procesboom van gres buizen voor een rioolleiding

- titaandioxide (pigment) 0,2 %
- roet 0,02 %

Voor de rubber manchetten is SBR als materiaal verondersteld [9]. De FKS noemt in [12] een gewicht van circa 100 g/ring.

03.02.09 Grondstoffen voor gres componenten voor riolen

Gres is een keramisch product. Keramische materialen worden vervaardigd uit verschillende soorten klei. Als vermageringsmiddel ten behoeve van stevigheid en vormvastheid wordt chamotte toegevoegd. Chamotte is voorverhitte klei die wordt teruggemalen tot een granulaat van maximaal 1,8 mm. De chamotte wordt verkregen uit afvalresten van de keramische industrie. Het gaat om productie-afval uit de buizenproductie zelf en om productie-afval uit bijvoorbeeld de tegelindustrie dat wordt ingekocht. Het eigen productie-afval blijkt namelijk onvoldoende voor de benodigde hoeveelheid chamotte.

Op de Nederlandse markt zijn geglazuurde gres buizen verkrijgbaar. Het glazuur bestaat uit een mengsel van leem, klei, veldspaat, dolomiet, kwarts en metaaloxiden. Het glazuur wordt in de fabriek van gres buizen vervaardigd.

Het vervaardigingsprocédé van gres bestaat uit een aantal stappen (zie de globale procesboom), waarbij het bakken de meeste energie vraagt. Het bakken gebeurt in tunnelovens, gestookt met (aard)gas. Afval van het productieproces wordt teruggevoerd naar de chamottemalerij. Kraagbuizen met een inwendige diameter van 200 mm worden voorzien van gietringen in de kraag en op het spie-einde van polyurethaanschuim of polyurethanelastomeer.

Kraagloze buizen worden verbonden door middel van overschuifmoffen in polypropeen, aan beide zijden voorzien van een rubberring. Een nieuwe ontwikkeling is dat deze buizen in een roloven in plaats van in een tunneloven kunnen worden gebakken.

03.02.10 *Procesgegevens*

Na het opstellen van procesbomen worden de procesgegevens verzameld. Hierbij gaat het om de input (grondstoffen, energie) en om twee vormen van output. De eerste is de economische output, resulterend in goederen of diensten; de tweede geldt het milieu (emissies, straling, geluid et cetera). De input uit het milieu en de output naar het milieu worden milieu-ingrepen genoemd. Alle milieu-ingrepen tezamen vormen de zogenoemde ingreeptabel. Dit niveau van gegevens wordt ook wel stoffenniveau genoemd.

Het toekennen van een ingreep aan een proces-output kan problemen opleveren als in één proces meerdere producten tot stand komen. Het eenvoudigst is een toerekening naar de gewichtsaandelen. Toerekening op basis van een economisch waarde-aandeel is echter juist omdat deze methode onmiddellijk aansluit bij het maatschappelijke aspect van productie. Deze methode is dus principieel juist maar daarom niet minder eenvoudig, gezien de veranderlijkheid van economische gegevens.

De milieu-ingrepen als gevolg van processen worden toegekend aan de fase van de levenscyclus waarin ze voorkomen. Daarbij behoeft de afvalfase nadere toelichting.

03.02.11 *Afvalverwerking*

Als het gaat om het storten van een product worden het transport naar de stortplaats en de uitloging tijdens het verblijf aldaar (gemiddelde = 100 jaar) toegerekend aan de procesboom.

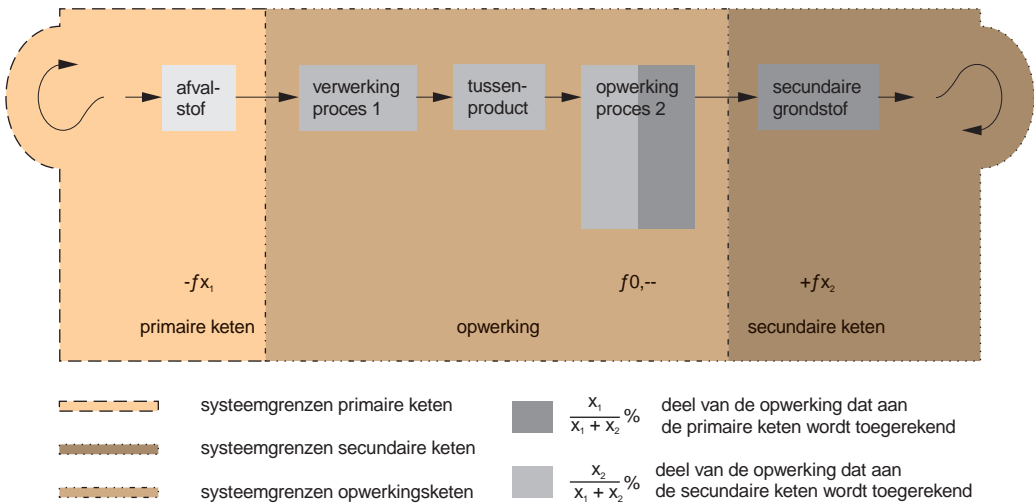
Is er sprake van afvalverbranding, dan vallen het transport naar de afvalverbrandingsinstallatie als ook het verbrandingsproces (energie, emissies, afval) binnen de systeemgrenzen.

Bij hergebruik en recycling kan men een verdeelsleutel maken waarbij de ingrepen voor een deel worden toegerekend aan de productieketen die in de LCA wordt onderzocht en voor een deel aan de productieketen waarin het secundaire materiaal wordt toegepast. Dit is vooral aan de orde bij zogenoemde open loop recycling. Want bij gesloten loop recycling wordt het secundaire product weer in dezelfde keten ingezet.

Het Centrum voor Milieukunde van de Universiteit Leiden (CML), ontwikkelaar van het LCA-onderzoek, gaat in zijn handleiding van 1992 [2] uit van het standpunt dat winning en productie geheel aan primair gebruik worden toegerekend en inzameling en opwerking geheel aan se-

cundair gebruik. Dit standpunt bevordert recycling niet, zoals het CML ook zelf zegt.

Afgezien van verdere discussies over dit onderwerp is een recentere benadering dat afvalverwerkende processen aan de primaire keten worden toegerekend zolang de verwerking geen output heeft met een positieve economische waarde [17]. Is dat wel het geval, dan worden de milieu-ingrepen van de afvalverwerkende processen deels toegerekend aan de primaire keten en deels aan de secundaire keten. Het omslagpunt ligt dan bij een economische waarde = 0, zie figuur 11.



Figuur 11: toerekening bij recycling

03.03 CLASSIFICATIE

03.03.01 Milieu-effecten

In elke fase van de levenscyclus vinden milieu-ingrepen plaats en deze kunnen beoordeeld worden op hun effect of op hun potentiële effect. Een effect is bijvoorbeeld aantasting van de gezondheid van een mens als gevolg van toxische stoffen. Het vrijkomen van toxische stoffen is in dit voorbeeld een milieubelasting die dit effect potentieel kan veroorzaken. Of dit ook werkelijk gebeurt, hangt van de omstandigheden af. Dientengevolge wordt de emissie van toxische stoffen beoordeeld op de mogelijkheid dat de gezondheid geschaad wordt (potentieel effect).

Een reden om dergelijke potentiële effecten te beschouwen is gelegen in de omstandigheid dat op dit ogenblik in het algemeen nog weinig bekend is over de uiteindelijke effecten van een milieu-ingreep. Bovendien spelen ook andere omstandigheden een rol zoals de lokale omstandigheden, concentraties ter plekke en dergelijke. Als gevolg daarvan zou een gebiedsafhankelijk milieuprofiel worden verkregen.

In tabel 1 zijn hoofdthema's aangeduid en milieu-effecten per thema gerangschikt. De milieu-effecten zijn in de LCA's geoperationaliseerd.

uitputting	verontreiniging	aantasting
<ul style="list-style-type: none"> • uitputting van abiotische grondstoffen (ua) • uitputting van biotische grondstoffen (ub) 	<ul style="list-style-type: none"> • versterking van het broeikas-effect (gwp) • humane toxiciteit (hc) • ecotoxiciteit (ec) • fotochemische oxidantvorming (pocp) • verzuring (ap) • vermesting (np) • afvalwarmte • stank (gdl) • lawaai 	<ul style="list-style-type: none"> • aantasting van ecosystemen en landschap • slachtoffers

Tabel 1: milieu-effecten volgens LCA

Deze opsomming geldt als richtsnoer voor een LCA. Men kan eventuele niet-relevante effecten buiten beschouwing laten, maar dat dient wel te worden gemotiveerd.

Twee effecten die in LCA's vaak worden beschouwd, zijn niet opgenomen in het tabeloverzicht: afval en energie. Deze effecten zijn wel aan de orde gekomen bij de inventarisatie, maar worden niet geassocieerd en wel omdat afval en energie geen milieu-effecten zijn. Immers, de milieubelasting als gevolg van energieverbruik en die van afval komen impliciet in andere milieuaspecten naar voren. Men denke in dit verband aan emissies naar bodem en lucht die bijdragen aan verschillende milieu-effecten uit bovenstaande tabel, ruimtebeslag et cetera. Door energie en afval in een LCA wél expliciet te maken zou een dubbelrekening kunnen ontstaan. De LCA hanteert een zuiver wetenschappelijke aanpak; daarin passen energie en afval niet als het gaat om classificatie. Omdat het echter wel relevante en gemakkelijk hanteerbare parameters zijn in het Nederlandse milieubeleid zijn afval en energie als MILIEUMAAT benoemd.

03.03.02 Milieuprofiel

De meeste milieu-effecten worden gekenmerkt door verschillende, afzonderlijk te meten milieu-ingrepen. Zo dragen CO₂ en methaan onder andere bij aan het broeikas-effect. Door verschillende ingrepen samen te nemen kan het potentiële milieu-effect onder één noemer worden gebracht. Optellen is pas mogelijk als de ingrepen, bijvoorbeeld kg CO₂ en kg methaan, in dezelfde eenheid kunnen worden uitgedrukt. Deze eenheden worden kentallen genoemd. De LCA-handleiding geeft voor een groot aantal stoffen zogenoemde classificatiefactoren, waarmee de aggregatie kan worden uitgevoerd. Op deze manier worden de geïnventariseerde milieu-ingrepen geassocieerd per milieu-effect. De milieu-effecten tezamen vormen het milieuprofiel.

Alleen kwantificeerbare milieu-ingrepen kunnen worden geassocieerd. Kwalitatieve milieu-ingrepen worden apart vermeld. Ook apart vermeld worden stoffen voor welke nog geen classificatiefactoren bestaan, maar die desondanks een bijdrage leveren aan een bepaald effect.

03.03.02.01 *Uitputting van grondstoffen*

Bij grondstoffen wordt onderscheid gemaakt tussen abiotische (niet vernieuwbare) en biotische (vernieuwbare). Abiotische grondstoffen zijn onder meer energiedragers zoals olie, steenkool, gas en metalen. Een biotische grondstof is bijvoorbeeld hardhout.

De uitputting van abiotische grondstoffen wordt beoordeeld door relatering van het netto beslag van elke grondstof op de voorraad ervan. Het resultaat is een dimensieloze uitdrukking:

$$\text{a) abiotische uitputting} = \sum_i \frac{\text{gebruik}_i \text{ (kg)}}{\text{voorraad}_i \text{ (kg)}}$$

De uitputting van biotische grondstoffen wordt beoordeeld door relatering van het netto beslag van elke grondstof op de voorraad van die grondstof. Het resultaat is een dimensieloze uitdrukking in jr^{-1} :

$$\text{b) biotische uitputting} \quad (\text{jr}^{-1}) = \sum \text{BDF}_i \text{ (kg}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}) \cdot \text{gebruik}_i \text{ (kg)}$$

03.03.02.02 *Broeikasewffect*

Het kental voor het broeikasewffect is gebaseerd op de GLOBAL WARMING POTENTIAL (GWP). Voor een aantal stoffen die bijdragen aan de versterking van het broeikasewffect zijn GWP-waarden ontwikkeld. Op basis van deze waarden kan voor de betreffende stoffen de potentiële bijdrage aan het broeikasewffect in één effectscore worden uitgedrukt. De GWP is een relatieve maat met CO_2 als referentie: de mate waarin een massa-eenheid stof infrarode straling kan absorberen ten opzichte van een massa-eenheid CO_2 . Behalve CO_2 komt men ook regelmatig CFK-11 of CFK-12 als referentiegas tegen; in de LCA is evenwel uitgegaan van CO_2 . Hiermee kan de emissie in kg naar lucht omgerekend worden tot een qua broeikasewffect equivalente emissie in kg CO_2 :

$$\text{c) broeikasewffect} \quad (\text{kg}) = \sum \text{GWP}_i \cdot \text{emissie}_i \text{ naar lucht (kg)}$$

03.03.02.03 *Ozonlaag*

Voor een aantal stoffen die bijdragen aan de aantasting van de ozonlaag zijn waarden in de vorm van een OZONE DEPLETION POTENTIAL (ODP) ontwikkeld. Op basis van deze waarden kan voor de betreffende stoffen hun potentiële bijdrage aan de aantasting van de ozonlaag in één effectscore worden uitgedrukt. De ODP is een relatieve maat met CFK-11 als referentie: de STEADY STATE REDUCTION van ozon berekend per massa-eenheid geëmitteerd gas naar de atmosfeer per jaar ten opzichte van dat voor een massa-eenheid CFK-11. Hiermee kan de emissie in kg naar lucht omgerekend worden tot een qua ozonlaagaantasting equivalente emissie in kg CFK-11:

$$\text{d) ozonlaagaantasting} \quad (\text{kg}) = \sum \text{ODP}_i \cdot \text{emissie}_i \text{ naar lucht (kg)}$$

03.03.02.04 *Humane toxiciteit*

De beoordeling van humane toxiciteit geschiedt door emissies te relateren aan de TOLERABLE DAILY INTAKE (TDI), de ACCEPTABLE DAILY INTAKE (ADI), de TOELAATBARE CONCENTRATIE IN LUCHT (TCL), het MAXIMAAL TOELAATBAAR RISICONIVEAU (MTR) of de HUMAAN-TOXICOLOGISCHE C-WAARDE VOOR DE BODEM. Dit zijn uit toxicologische experimenten verkregen gegevens over de maximale dagelijkse inname of concentratie die nog juist aanvaardbaar wordt geacht. Er is een omrekening gemaakt om te zorgen dat de emissies naar water, lucht en bodem op een verantwoorde manier bij elkaar opgeteld kunnen worden. Dit leidt tot definitie van de stof- en compartimentafhankelijke HUMAAN-TOXICOLOGISCHE CLASSIFICATIEFACTOR voor lucht (HCL), voor water (HCW) en voor bodem (HCB). De eenheid voor de effectscore is de kg : het aantal kg lichaamsgewicht dat juist aan de toxicologisch aanvaardbare grens is blootgesteld. De berekening geschiedt als volgt:

$$e) \text{ humane toxiciteit (kg)} = \sum_i \text{HCL}_i (\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot \text{emissie}_i \text{ naar lucht (kg)} + \text{HCW}_i (\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot \text{emissie}_i \text{ naar water (kg)} + \text{HCB}_i (\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot \text{emissie}_i \text{ naar bodem (kg)}$$

In de toekomst is te verwachten dat HCL-, HCW- en HCB-waarden worden vervangen door een nog te ontwikkelen HUMAN TOXICITY POTENTIAL (HTP), analoog aan de GWP- en ODP-waarden. In een dergelijk potentiaal wordt rekening gehouden met het gedrag van een stof in het milieu. In de GWP bijvoorbeeld wordt rekening gehouden met de afbraak van een stof in de lucht.

03.03.02.05 *Ecotoxiciteit*

De beoordeling van stoffen die een ecotoxische werking op soorten in het ecosysteem hebben, geschiedt met behulp van MAXIMUM TOLERABLE CONCENTRATIONS (MTC's) die met de zogenoemde EPA-methode bepaald zijn. Dit leidt tot de definitie van twee groepen ECOTOXICOLOGISCHE CLASSIFICATIEFACTOREN: een voor aquatische (ECA) en een voor terrestrische (ECT) ecosystemen.

Voor aquatische ecotoxiciteit is de eenheid m³ verontreinigd water:

$$f) \text{ aquatische ecotoxiciteit (m}^3\text{)} = \sum \text{ECA}_i (\text{m}^3 \cdot \text{mg}^{-1}) \cdot \text{emissie}_i \text{ naar water (mg)}$$

en voor terrestrische ecosystemen kg verontreinigde bodem:

$$g) \text{ terrestrische ecotoxiciteit (kg)} = \sum \text{ECT}_i (\text{kg} \cdot \text{mg}^{-1}) \cdot \text{emissie}_i \text{ naar bodem (mg)}$$

03.03.02.06 *Fotochemische oxidantvorming*

De waarde om de bijdrage aan fotochemische oxidantvorming te bepalen is de PHOTOCHEMICAL OZONE CREATION POTENTIAL (POCP). Op basis van deze waarde kan voor de betreffende stof de potentiële bijdrage aan dit probleem in een kental worden weergegeven.

De POCP is een relatieve maat met ethyleen (C₂H₄) als referentie: de mate waarin een massa-eenheid oxidant vormt ten opzichte van de massa-eenheid ethyleen. Hiermee kan de emissie naar de

lucht in kg omgerekend worden tot een qua oxidantvorming equivalente emissie in kg van ethyleen:

$$h) \text{ oxidantvorming} \quad (\text{kg}) \quad = \quad \sum \text{POCP}_i \quad \cdot \text{emissie}_i \text{ naar lucht (kg)}$$

03.03.02.07 *Verzuring*

De bijdrage aan verzuring van verschillende milieu-ingrepen kan bepaald worden door weging met ACIDIFICATION POTENTIALS (AP) die een maat zijn om het vermogen H^+ af te splitsen ten opzichte van zwaveldioxide (SO_2). De emissie in kg naar lucht wordt met behulp van de AP omgerekend tot een qua verzuring equivalente emissie in kg van zwaveldioxide:

$$i) \text{ verzuring} \quad (\text{kg}) \quad = \quad \sum \text{AP}_i \cdot \text{emissie}_i \text{ naar lucht (mg)}$$

03.03.02.08 *Vermesting*

De bijdrage aan vermisting van verschillende milieu-ingrepen kan worden bepaald door weging met NUTRIFICATION POTENTIALS (NP) die een maat zijn voor het vermogen om biomassa te vormen ten opzichte van het vermogen van fosfaat (PO_{43}). De emissie naar lucht, water en bodem in kg wordt met behulp van NP omgerekend tot een qua vermisting equivalente emissie in kg van fosfaat.

$$j) \text{ vermisting} \quad (\text{kg}) \quad = \quad \sum \text{NP}_i \cdot \text{emissie}_i \text{ (mg)}$$

03.03.02.09 *Afvalwarmte*

De gevolgen van afvalwarmte zijn nog onvoldoende in kaart gebracht. Daarom is het alleen mogelijk het vrijkomen van warmte door milieu-ingrepen rechtstreeks uit de inventarisatie over te nemen en te aggregeren. Hierbij wordt alleen de emissie van afvalwater naar water meegenomen:

$$k) \text{ waterwarmte} \quad (\text{MJ}) \quad = \quad \text{energie-emissie}_{\text{water}} \text{ (MJ)}$$

03.03.02.10 *Stank*

Voor stank kan gebruik worden gemaakt van de geurdrempel voor stoffen in de lucht (GDL) die voor de belangrijkste stoffen gedefinieerd zijn. De emissie naar lucht wordt hiermee omgerekend tot het volume dat tot aan de geurdrempel verontreinigd is:

$$l) \text{ luchtstank} \quad (\text{m}^3) \quad = \quad \sum \frac{\text{emissie}_i \text{ naar lucht (kg)}}{\text{GDL}_i \text{ (kg} \cdot \text{m}^{-3})}$$

03.03.02.11 *Lawaai*

Bij de beoordeling van lawaai worden de gegevens over geluidsproductie uit de inventarisatie ge-aggregeerd:

$$\text{m) lawaai} \quad (\text{Pa}^2 \cdot \text{s}) = \text{geluid} (\text{Pa}^2 \cdot \text{s})$$

Lawaai komt overeen met geluid ofwel geluidsproductie in $\text{Pa}^2 \cdot \text{jr}$ of $\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$ die gekoppeld is aan het gebruik van het product en de jaarproductie ervan:

$$\text{n) geluidsproductie} \quad (\text{Pa}^2 \cdot \text{jr}) = \text{gebruik (kg)} \cdot \frac{4 \cdot 10^{-10} (\text{Pa}^2) \cdot 10^{\text{geluidsdrukkniveau (dB)/10}}}{\text{jaarproductie (kg} \cdot \text{jr}^{-1})}$$

03.03.02.12 *Aantasting*

Aantasting wordt weergegeven door het ruimtebeslag gedurende een tijdseenheid. Het ruimtebeslag is, evenals geluid, gerelateerd aan gebruik en jaarproductie en verder aan het oppervlak van de installatie:

$$\text{o) ruimtebeslag} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{jr}) = \text{gebruik (kg)} \cdot \frac{\text{oppervlakte (m}^2\text{)}}{\text{jaarproductie (kg} \cdot \text{jr}^{-1})}$$

03.03.02.13 *Slachtoffers*

De onveiligheid van processen is in de inventarisatie vastgesteld als het aantal door toedoen van een ongeval gedode mensen. Dit gegeven wordt in de classificatie zonder verdere weging overgenomen:

$$\text{p) slachtoffers} = \text{aantal slachtoffers}$$

03.03.03 *Normalisatie*

Door de verkregen kentallen te relateren aan de totale mondiale of bijvoorbeeld de Nederlandse milieubelasting wordt inzicht verkregen in de relatieve bijdragen van de verschillende milieu-effecten. Aldus kunnen belangrijke en minder belangrijke bijdragen worden aangewezen.

De methode die door het CML is ontwikkeld om met behulp van classificatiefactoren te aggregeren binnen een milieu-aspect is gebaseerd op een mondiaal model. Het is dus logisch om de zo verkregen milieu-effecten in verband te brengen met de mondiale milieubelasting binnen een bepaald tijdsbestek. De jaarlijkse mondiale milieubelasting kan worden berekend uit de totale mondiale emissies per jaar, vermenigvuldigd met de classificatiefactoren volgens het CML [2, 18, 34]:

$$\text{q) mondiale milieubelasting} = \sum \text{mondiale emissies} \cdot \text{classificatiefactor}$$

De verhouding tussen de milieu-effecten en de mondiale milieubelasting over een periode van een jaar levert een genormaliseerd milieuprofiel op dat genormaliseerde kentallen bevat die zijn uitgedrukt in jaren [18]:

$$r) \text{ genormaliseerd milieu-effect} = \frac{\text{milieu-effect}}{\text{jaarlijkse mondiale milieubelasting}}$$

03.03.04 Milieumaten

Milieumaten zijn verdergaand geaggregeerde kentallen dan de milieu-effecten uit het milieuprofiel. De Nota Produkt & Milieu noemt vijf milieumaten:

- grondstoffen;
- energie;
- emissies;
- hinder;
- afval.

De oplettende lezer ziet dat hier energie en afval wél genoemd worden, in tegenstelling tot het milieuprofiel. Dit kenmerkt het verschil tussen milieumaten en milieuprofiel. Het milieuprofiel geeft inzicht in de milieubelasting ten aanzien van milieu-effecten; milieumaten zijn bedoeld als "tot de verbeelding sprekende grootheden".

Voor enkele milieumaten zijn, om ze te verkrijgen, weegfactoren nodig om de emissies uit het milieuprofiel bij elkaar te kunnen optellen. De weegmethoden zijn in ontwikkeling; in 1996 golden voorlopige, zoals die, opgenomen in tabel 2.

milieu-effect		relatieve weegfactoren (totaal 100 volgens NEL-methode)
broeikasewffect	(GWP)	7 ± 7
ozonlaagaantasting	(ODP)	20 ± 13
vermesting	(NP)	21
verzuring	(AP)	47 ± 6
humane toxiciteit	(HC)	5

Tabel 2: weegfactoren en onzekerheidsintervallen voor de milieumaat "emissies", bepaald met de NEL-methode (peildatum 1996)

Interessant is tabel 3. Die geeft duidelijk het verschil tussen milieuprofielen en milieumaten aan. Op dit ogenblik is het dus goed mogelijk het milieuprofiel op te stellen. Voor de milieumaten is de trein onderweg: de MBB projectgroep Milieumaten in de Bouw heeft voorstellen geformuleerd hoe met milieumaten kan worden omgegaan.

energie- en stoffenbalans	milieuprofiel		milieumaat
grondstoffen energie emissies afval	UITPUTTING		GRONDSTOFFEN
	uitputting van abiotische grondstoffen	(UA)	
	uitputting van biotische grondstoffen	(UB)	
	VERONTREINIGING		EMISSIES
	broeikaseneffect ¹⁾	(GWP)	
	ozonlaagaantasting ¹⁾	(ODP)	
	humane toxiciteit ¹⁾	(HC)	
	verzuring ¹⁾	(AP)	
	vermesting ¹⁾	(NP)	
	ecotoxiciteit ¹⁾	(EC)	
	fotochemische oxidantvorming ¹⁾	(POCP)	
	afvalwarmte		+ straling ²⁾
	stank	(GDL)	HINDER
	lawaaï		
	AANTASTING		
aantasting ecosystemen en landschap slachtoffers			
		ENERGIE	
		AFVAL	
		- niet-gevaarlijk afval (finaal eindafval)	
		- gevaarlijk afval	

¹⁾ alleen voor deze milieu-effecten is een weegfactor geoperationaliseerd

²⁾ nog niet geoperationaliseerd

Tabel 3: milieuprofielen en milieumaten, aggregatieniveaus en weging in de LCA

HOOFDSTUK 4: HET MILIEUPROFIEL EN DE MILIEUMATEN VAN BETON

04.01 ALGEMEEN (BETON)

Alle operationele milieu-effecten zijn in de LCA beschouwd. Niet alle blijken relevant te zijn. De uitputting van biotische grondstoffen is bijvoorbeeld nul omdat er geen biotische grondstoffen worden gebruikt. Ook aantasting van de ozonlaag is niet aan de orde: die wordt voornamelijk veroorzaakt door CFK's die bij betonnen rioleringen niet worden toegepast. Afvalwarmte is niet gekwantificeerd. De hoeveelheid afvalwarmte gedurende de gehele levenscyclus is waarschijnlijk laag; kwantitatieve gegevens zijn niet bekend.

Lawaai is alleen voor de productiefase gekwantificeerd. Lawaai speelt met name een rol bij de zand- en grindwinning. Bij de productie van betonnen buizen en putten, de aanleg, het onderhoud en de verwijdering is de geluidsproductie waarschijnlijk van minder belang; in elk geval wordt voldaan aan de regels die de Arbwet hieromtrent stelt.

De aantasting van ecosystemen en landschap is in het rapport kwalitatief beschreven omdat de kwantificatie betrekking heeft op het ruimtebeslag van installaties en dergelijke. Dit is zeer moeilijk te bepalen.

Het aspect slachtoffers is buiten beschouwing gebleven omdat het aantal slachtoffers in de levenscyclus van een rioleringsysteem –en specifiek: uitgevoerd in beton– niet is vast te stellen. Wel is bekend dat, met name bij de aanleg van rioleringen, de arbeidsomstandigheden veelal niet optimaal zijn. Er vallen af en toe slachtoffers bij graafwerkzaamheden [5, 6]. Deze slachtoffers zijn echter niet specifiek aan het materiaal beton te wijten, maar algemeen geldend voor rioleringsystemen en derhalve niet relevant voor productvergelijking.

04.02 DE PRODUCTIEFASE (BETON)

Grondstoffen voor betonnen buizen en putten zijn: zand, grind en hoogovencement (inclusief de daarvoor benodigde grondstoffen). Voor de functionele eenheid zijn voorts de rubber ringen van belang.

De geraadpleegde producenten betrekken hun grondstoffen en halffabrikaten van verschillende locaties in binnen- en buitenland. Transport vanuit Duitsland is geschat omdat de productie of winning op verschillende locaties plaatsvindt. Additieven, zoals plastificeerders, zijn niet in de beschouwing betrokken. Het gaat in het algemeen om verhoudingsgewijs zeer kleine hoeveelheden van onverdachte samenstelling; de bijdrage ervan aan de milieubelasting is te verwaarlozen.

Voor klinker- en cementdata is gebruik gemaakt van gegevens van ENCI NV. Het verschil tussen data van Nederlandse en Duitse cement wordt niet groot geacht.

In deze studie is, zoals al bleek, steeds uitgegaan van de Nederlandse gegevens voor de grondstofwinning en de productie van halffabrikaten. In de gevoeligheidsanalyse (z.d.) is nagegaan wat de invloed van deze aanname op de conclusies kan zijn.

Bij het transport is rekening gehouden met de verschillende locaties vanwaar de grondstoffen worden betrokken.

De productie van betonnen buizen en putten is in deze studie uitgewerkt in samenwerking met de producenten. In figuur 2 zijn de processtappen aangegeven. Een toelichting:

- de grondstoffen zand, grind en cement worden gedoseerd en met water gemengd in een daarvoor ontworpen installatie;
- de zo ontstane cementspecie wordt in een stalen mal gebracht, waarna het mengsel wordt verdicht. De mal wordt steeds opnieuw gebruikt en als kapitaalgoed beschouwd. De mal is van bekistingsolie voorzien. De hoeveelheid bekistingsolie is zo gering (bijvoorbeeld in verhouding tot de olie die voor energie benodigd is) dat de productie ervan niet in de LCA is beschouwd. Het aanbrengen van de olie (neveltechniek) en het schoonmaken van de mal of van maldelen (droog-schoon door middel van staalborstels) vragen geen milieutechnische voorzieningen. Emissies zijn nihil. Omdat de olie nagenoeg volledig in de buis trekt, ontstaat geen olie-afvalrest;
- na de verdichting wordt de mal verwijderd en kan de gevormde buis of put naar een verhardingsruimte worden gebracht, waar eerste verharding plaatsvindt;
- na de eerste verharding worden de buizen en putten gecontroleerd op maatvoering en waterdichtheid en vervolgens voor verdere verharding opgeslagen in de open lucht (tasveld).

Bij afdanking en recycling van productie-afval gaat het om verharde betonresten. Het transport van dit afval naar de breker is beschouwd, het feitelijke recyclingsproces, het breken zelf, niet. Immers, de hoeveelheid productie-afval is gering (0,3% van de hoeveelheid betonafval die bij verwijdering van oude, niet meer te hergebruiken riolen ontstaat). Het breken van het productie-afval levert derhalve een verwaarloosbare bijdrage aan de totale milieubelasting.

Betonnen buizen en putten worden niet verpakt voor transport; wel wordt wat stophout gebruikt. Verpakkingsmaterialen zijn dus niet aan de orde.

Deze fase eindigt op het moment dat de buizen en putten gereed zijn voor transport naar de bouwplaats.

04.03 DE CONSTRUCTIEFASE (BETON)

Deze fase begint met het transport van de buizen, putten en ringen naar de bouwplaats. Er is uitgegaan van een gemiddelde transportafstand van 50 km voor wat betreft de buizen en putten en van 100 km voor de rubber ringen. Vanzelfsprekend is rekening gehouden met het aantal buizen en putten dat op een vrachtwagen kan worden getransporteerd (volume-aandeel) en ook retourtransport met lege vrachtwagens is beschouwd.

De processen in deze fase betreffen de aanleg en de verbinding van betonnen buizen en putten in een riolering. Met name het grondwerk vraagt energie. De gegevens van dit proces zijn grotendeels materiaal-onafhankelijk, dat wil zeggen dat er nagenoeg evenveel energie benodigd is voor

het graven en later weer aanvullen van de sleuf, het leggen van buizen en het stellen van putten voor alle toe te passen buismaterialen. Verschillen in energiegebruik als gevolg van gewichtsverschillen van buismaterialen zijn relatief klein ten opzichte van het grondwerk.

04.04 DE GEBRUIKS- EN ONDERHOUDSFASE (BETON)

Er is van uitgegaan dat de riolering met de betonnen buizen en putten op de juiste wijze is gedimensioneerd, ontworpen en aangelegd, wat betekent dat de riolering haar functie naar behoren vervult. De aanname dat de riolering gedurende de ontwerp-levensduur niet kapotgaat, is derhalve terecht; correctief onderhoud wordt verondersteld niet nodig te zijn.

Het reguliere onderhoud, het schoonmaken van de buizen, is wel beschouwd (preventief onderhoud). Dit gebeurt doorgaans met behulp van een hogedruk zuig-/spoelwagen [32]. Een deel van het overtollige water wordt direct op het riool geloosd. Het rioolslib dat vrijkomt, bestaat voor meer dan 80% uit zand. De rest wordt gevormd door circa 10% fijn materiaal ($< 64 \mu$) en circa 10% grof materiaal [34]. Het slib wordt naar een gemeentelijke opslagplaats vervoerd alwaar het materiaal wordt overgeslagen in containers en -doorgaans door gemeentelijke diensten- wordt getransporteerd naar de stortplaats. Het is ook mogelijk dat het rioolslib zonder overslag direct naar de stortplaats wordt vervoerd. Voorafgaand aan het storten vindt op beperkte schaal ontwatering plaats met behulp van ontwateringscontainers of anderszins ten behoeve van volumereductie. Het hierbij vrijkomende water wordt op het riool geloosd.

De reiniging vindt elke vijf jaar plaats, tijdens de levensduur dus zeven maal, ervan uitgaande dat de riolering in het jaar veertig niet wordt gereinigd.

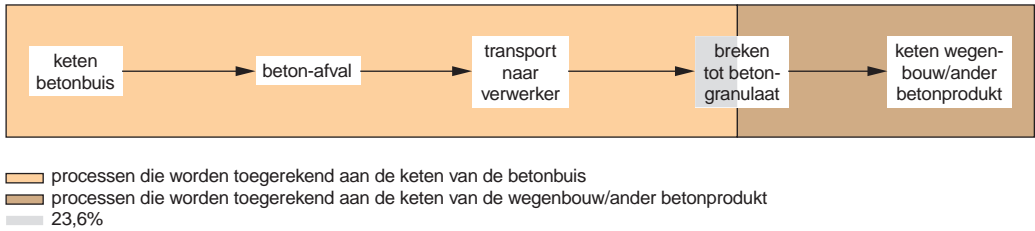
04.05 DE AFDANKFASE (BETON)

Er is uitgegaan van de veronderstelling dat de buizen en putten na veertig jaar worden verwijderd. De rubber ringen worden gestort. Slopen resulteert veelal in kapotte buizen en putten [3]. De brokstukken hiervan worden gerecycleerd. Dit is reeds dagelijkse praktijk bij de meeste rioolbeheerders en in het kader van het Stortbesluit –dat de stort van recycleerbare materialen verbiedt– per 1 januari 1996 verplicht geworden. De al dan niet kapotte betonnen buizen en putten worden naar een breekinstallatie gebracht, waar het beton wordt gebroken tot betongranulaat dat opnieuw kan worden ingezet als funderingsmateriaal voor wegen en dergelijke en als grof toeslagmateriaal in beton ter vervanging van grind. Ook is het mogelijk het betonpuin ter plekke opnieuw in te zetten. Er zijn voorbeelden bekend van de aanleg van nieuwe wegen waarbij de onderliggende betonnen buizen en putten tot puin vermalen zijn en verwerkt in de fundering [4].

In deze studie is het scenario beschouwd waarbij het betonafval naar een breekinstallatie wordt gebracht en opgewerkt tot betongranulaat. De toerekeningsregels voor de processen die tot de levenscyclus van het rioleringsysteem behoren en de processen die tot de secundaire levenscyclus behoren, zijn gebaseerd op een economische verdeelsleutel. Zie figuur 12 op de volgende pagina.

Er zijn twee afvalscenario's uitgewerkt.

1) 20% van het betongranulaat wordt ingezet ter vervanging van grind. Dit is nog geen gangbare



Figuur 12: toerekening bij recycling

praktijk. Er bestaat evenwel een toenemende maatschappelijke druk om (meer) secundaire grondstoffen in te zetten (NMP, Implementatieplan Bouw- en Sloopafval, Beleidsverklaring Milieu-taakstellingen Bouw 1995).

- 2) Indien uit een inspectie blijkt dat de betonnen buizen en putten kunnen worden hergebruikt, dan gebeurt dat soms. Er is geen verdere bewerking voor hergebruik noodzakelijk; hooguit worden de componenten met een hogedrukspuit gereinigd. Transport van de oude bouwplaats naar de nieuwe is te verwaarlozen omdat de oude componenten op relatief korte afstand (in elk geval binnen de gemeente) worden hergebruikt. De VPB schat dat momenteel 1% van de betonnen buizen en putten opnieuw wordt gebruikt. De schatting vindt steun binnen gemeentelijke kringen.

04.06 HET MILIEUPROFIEL (BETON)

Het milieuprofiel voor de functionele eenheid is weergegeven in tabel 4.

04.06.01 Interpretatie milieuprofiel (beton)

Elk milieu-effect in tabel 4 is uitgedrukt in een andere eenheid. Zo worden bijvoorbeeld “kg broeikas-effect” en “kg verzuring” aangeduid. De verschillende milieu-effecten zijn onderling niet vergelijkbaar. De uitputting van abiotische grondstoffen is dimensieloos.

04.06.02 Genormaliseerd milieuprofiel (beton)

De genormaliseerde milieukentallen zijn de kentallen uit tabel 4, gerelateerd aan de mondiale milieubelasting. Uit deze genormaliseerde getallen kan worden afgeleid aan welk milieuprobleem de betonnen buizen en putten **relatief gezien** het meest bijdragen.

Normalisatie én het leggen van de relatie tot de mondiale milieubelasting maken het mogelijk de effecten in één figuur te plaatsen zodat ze kunnen worden vergeleken (zie figuur 13 op pagina 46). Alleen echter door weging is het mogelijk om aan te geven wat de ernst van het milieu-effect is.

04.07 NIET-CLASSIFICEERBARE STOFFEN (BETON)

Het gebruik van zand, grind en kalksteen leidt in principe niet tot uitputting omdat de voorraden

in de wereld welhaast onuitputtelijk zijn. De winning ervan leidt evenwel tot de uitputting van andere grondstoffen: fossiele brandstoffen voor energie. Zie de zwaartepuntsanalyse.

milieu-effect	eenheid	productie	constructie	periodiek onderhoud	afdanking	totaal
uitputting abiotische grondstoffen (ua)	10 ⁻¹¹	1,70	3,55	1,30	3,37	9,92
uitputting biotische grondstoffen (ub)	jr	0	0	0	0	0
ozonlaagaantasting (odp)	kg	0	0	0	0	0
broeikaseneffect (gwp)	10 ³ kg	11,8	9,69	4,94	12,5	38,9
humane toxiciteit, totaal ¹⁾ (hc)	kg	94,9	23,7	6,70	36,1	161
ecotoxiciteit						
- aquatische ecotoxiciteit (eca)	10 ³ m ³	2,99	3,82	1,42	4,08	12,3
- terrestrische toxiciteit (ect)	kg	0	0	0	0	0
fotochemische oxidantvorming (pocp)	kg	2,27	4,89	1,64	5,59	14,4
verzuring (ap)	kg	81,1	19,8	5,52	60,9	167
vermesting (np)	kg	6,52	2,10	0,544	3,32	12,5
afvalwarmte	MJ	-2)	-2)	-2)	-2)	-2)
stank (gdl)	10 ³ m ³	2,46	0	-3)	0	2,46
lawaai	10 ⁻³ Pa ² jr	≥2,84	-4)	-4)	-4)	≥2,84
slachtoffers	aantal	-2)	-	-2)	-	-
landschapsaantasting	kwalitatief	winning olie, zand, grind, kalksteen	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	

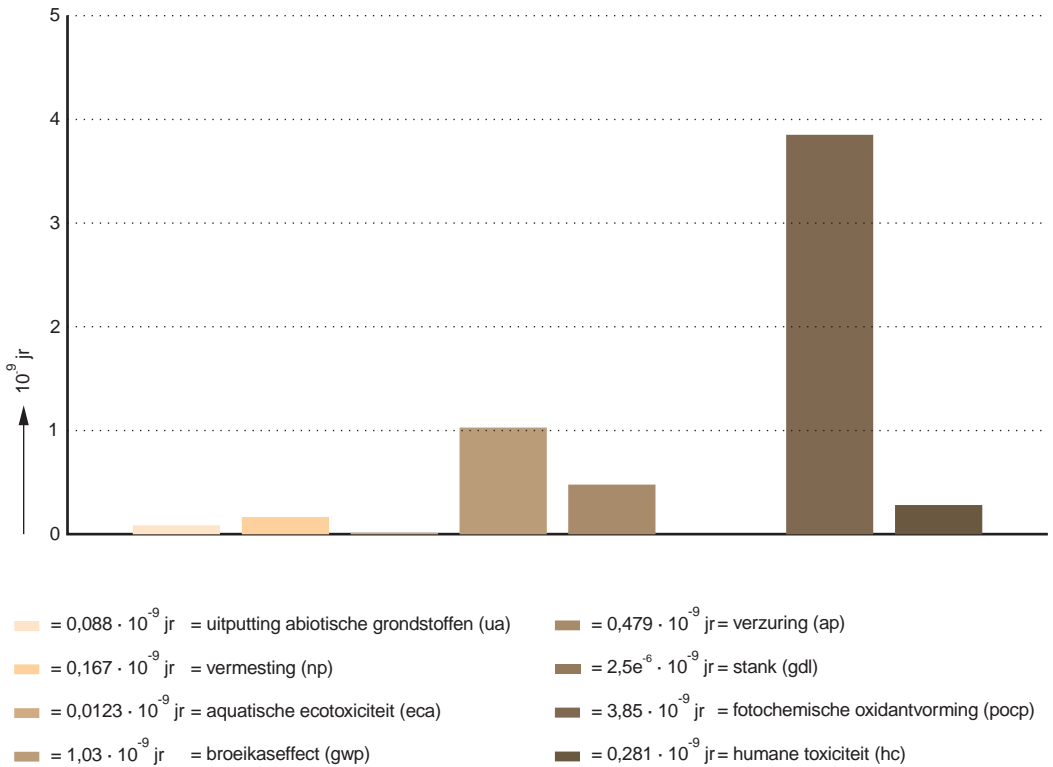
1) humane toxiciteit totaal is de optelsom van lucht, water en bodem

2) niet bepaald, waarschijnlijk klein

3) stankoverlast bij reiniging mogelijk

4) lawaai van machines, niet bekend. Bij reinigen riool ook lawaai van inwaterings- en reinigingsapparatuur. Sommige bedrijven zijn de laatste jaren overgegaan op geluidsarme motoren en pompen.

Tabel 4: milieuprofiel van de beschouwde functionele eenheid (beton)



Figuur 13: grafische weergave van het genormaliseerde milieuprofiel van de functionele eenheid (beton)

Niettemin krijgen zand, grind en kalksteen in LCA's van in Nederland vervaardigde producten veel aandacht in verband met de beperkte vergunningen voor de winning ervan. Vooral landschapsaantasting acht men van belang. Het beleid van de overheid in deze is vastgelegd in de Nota Gegrond Ontgronden [7] die vervangen wordt door het Structuurschema Oppervlakte Delfstoffen.

Beperkende maatregelen zouden betekenen dat zand, grind en kalksteen schaars worden in Nederland met als gevolg dat men van uitputting zou kunnen spreken. Een aantal producenten koopt de grondstoffen in Duitsland. Daar is geen sprake van uitputting omdat geen beperkingen aan de winning worden opgelegd. Landschapsaantasting is ook in Duitsland aan de orde, zij het dat daaraan in het algemeen minder belang wordt gehecht.

04.08 EVALUATIE (BETON)

04.08.01 Milieumaten (beton)

In tabel 5 zijn de milieumaten gegeven voorzover deze momenteel kunnen worden bepaald volgens de voorstellen van de projectgroep Milieumaten in de Bouw van het Milieuberaad Bouw. Fo-

tochemische oxidantvorming en aquatische ecotoxiciteit zijn apart vermeld omdat ze nog niet kunnen worden gewogen in de milieumaat emissies.

milieumaat	eenheid	waarde
energie (eerste orde)	GJ	596
grondstoffen	10^{11} jr	8,80
afval		
- gewoon	kg	752
- gevaarlijk	kg	59,5
emissies ¹⁾	10^9 jr	34,6

¹⁾ fotochemische oxidantvorming (genormaliseerd): $3,85 \cdot 10^9$ jr, aquatische ecotoxiciteit (genormaliseerd): $0,0123 \cdot 10^9$ jr

Tabel 5: milieumaten van de functionele eenheid (beton)

De milieumaat energie is verkregen uit de inventarisatiestap in de LCA. Het gaat hierbij om eerste orde energie. Dat wil zeggen dat rekening is gehouden met energie-efficiënties. Om bijvoorbeeld 1 MJ elektrische energie te gebruiken is (exclusief winning van grondstoffen [8]) 2,6 MJ aan energiedragers nodig met het huidige Nederlandse rendement van circa 38%. Ook de benodigde energie voor transport is beschouwd; deze is omgerekend naar eerste orde energie.

De milieumaat afval is ook verkregen uit de inventarisatie. Onder gevaarlijk afval wordt verstaan het afval zoals genoemd in het Besluit Gevaarlijke Afvalstoffen (BAGA). Onder gewoon afval wordt al het overige afval bedoeld. Er zijn geen weegfactoren voor gevaarlijk en gewoon afval beschikbaar.

De milieumaat grondstoffen komt vooralsnog, met de huidige methodiek om milieumaten te bepalen, overeen met het genormaliseerde milieu-effect abiotische uitputting.

De milieumaat emissies wordt verkregen door weging van een aantal milieu-effecten uit het milieuprofiel. Vooralsnog is nog geen weegfactor voor alle emissiebijdragen ontwikkeld.

De milieumaat hinder kan nog niet worden bepaald. Hiertoe behoren in principe de milieu-effecten stank, lawaai, aantasting van ecosystemen en landschap alsmede slachtoffers.

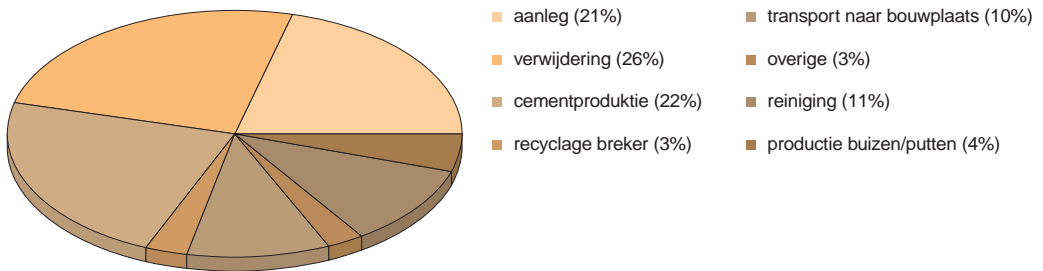
04.09 ZWAARTEPUNTSANALYSE

De milieumaten en het genormaliseerde milieuprofiel vormen de basis voor de zwaartepuntsanalyse.

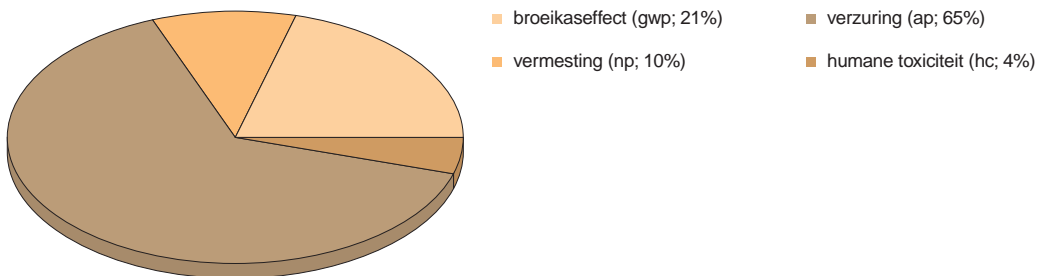
Figuur 14 op pagina 48 toont de bijdrage van verschillende processen aan de milieumaat energie. Er is te zien dat aanleg en verwijdering van de riolering een belangrijk aandeel hebben in de milieumaat. Behalve dat is ook de cementproductie van belang, vooral het energiegebruik bij de productie van klinker.

Uitputting van grondstoffen treedt op door het gebruik van fossiele brandstoffen voor energie, benodigd voor de winning ervan. Wanneer het genormaliseerde milieuprofiel wordt bekeken, zie figuur 13, valt op dat de bijdrage aan de mondiale milieubelasting gering is ten opzichte van andere milieu-effecten. Hieruit kan voorzichtig worden geconcludeerd dat de milieumaat grondstoffen een minder hoge prioriteit verdient bij eventuele verbeteropties. Een voorbehoud met betrekking tot deze uitspraak is noodzakelijk, omdat het mogelijk is dat de milieumaat grondstoffen in de toekomst een dusdanige weegfactor krijgt dat deze wél belangrijk wordt ten opzichte van andere milieumaten. Bovendien bevat de milieumaat grondstoffen niet de steenachtige stoffen die in Nederland “schaarser” worden. Ook is het zo dat als het energieverbruik als verbeteroptie wordt aange-merkt, dit van invloed is op de milieumaat grondstoffen. Immers, de milieumaat grondstoffen kan middel zijn om verbeteropties ten aanzien van andere milieumaten te bewerkstelligen.

Finaal afval ontstaat in de productiefase. Afval dat naar de breker gaat, is geen finaal afval. Het belangrijkste afval is groeve-afval voor de winning van gips, een grondstof nodig voor de produc-



Figuur 14: *het aandeel van de verschillende processen in de milieumaat energie*



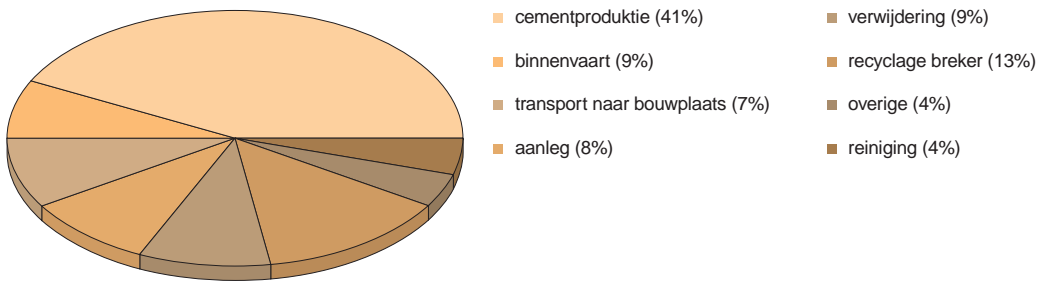
Figuur 15: *bijdragen van milieu-effecten aan de milieumaat emissies*

tie van cement. Het gaat daarbij om gewoon afval. Gevaarlijk afval ontstaat bij de opwekking van elektrische energie en bij de productie van dieselolie die nodig is voor de machines die bij aanleg en verwijdering worden gebruikt.

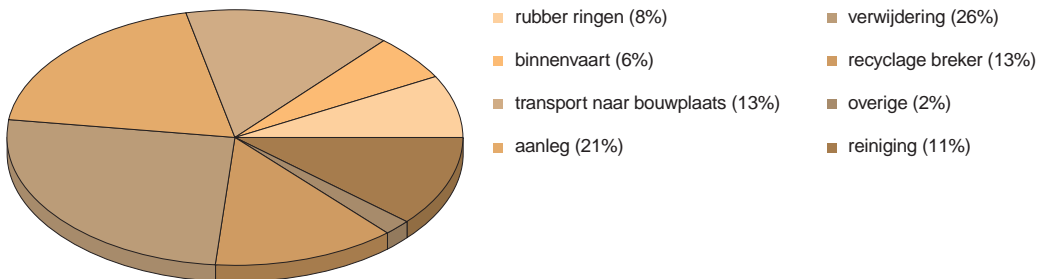
Figuur 15 geeft weer dat de belangrijkste bijdragen aan emissies de milieu-effecten verzuring en vermisting zijn. Te zien is dat als gevolg van weging de verzuring, die in het genormaliseerde profiel niet de belangrijkste was, dat in de milieumaat wél is. Daarentegen is het belang van vermisting minder groot dan het genormaliseerde profiel suggereert.

Figuur 16 toont de belangrijkste procesbijdragen aan de verzuring. Duidelijk wordt dat met name de cementproductie bijdraagt. Hierbij speelt de opwekking van elektriciteit, nodig voor de productie van cement, een rol.

De fotochemische oxidantvorming en de aquatische ecotoxiciteit worden niet gewogen en zijn derhalve apart beschouwd. Uit het genormaliseerde milieuprofiel blijkt dat de bijdrage van de aquatische ecotoxiciteit aan de mondiale milieubelasting gering is. Derhalve is deze niet nader geëvalueerd. De bijdrage aan fotochemische oxidantvorming is daarentegen aanzienlijk. De belangrijkste procesbijdragen zijn getoond in figuur 17. Te zien is dat de aanleg en de verwijdering van de riolering, het transport van de buizen en putten naar de bouwplaats, het binnenvaarttrans-



Figuur 16: *relatieve bijdragen van verschillende processen aan de verzuring (ap)*



Figuur 17: *relatieve bijdragen van verschillende processen aan de fotochemische oxidantvorming (pocp)*

port van grondstoffen naar de producenten, de reiniging en de productie van rubberringen een niet verwaarloosbare bijdrage leveren.

04.09.01 Conclusie zwaartepuntsanalyse (beton)

Energieverbruik bij de Portlandklinkerproductie, binnenvaarttransport, transport naar de bouwplaats en aanleg en verwijdering van riolering vormen zwaartepunten in de milieubelasting van een betonnen riolering.

HOOFDSTUK 5: MILIEUPROFIEL EN MILIEUMATEN VAN PVC IN VERGELIJKING MET BETON

05.01 BESCHOUWDE MATERIALEN (PVC)

Beschouwd zijn:

- volwandige pvc buizen

Deze zijn verkrijgbaar in de klassen 34, 41, 51 en 64. Alleen de klassen 41 en 34 zijn KOMO-gecertificeerd volgens NEN 7045 en NEN 7029 [4]. Voor buizen met een buitenmiddellijn van 315 mm zijn de wanddikten bij klasse 41 7,7 - 8,7 mm en bij klasse 34 9,2 - 10,4 mm. Standaardlengten zijn 5 en 10 meter. Er worden manchetterverbindingen, hulpstukken in mof/spie of alzijdige mofuitvoering, bijgeleverd, voorzien van rubber manchetten. De verbinding tussen de buizen komt tot stand door middel van een steekmof met twee rubber manchetten. Deze steekmof is KOMO gecertificeerd volgens NEN 7046.

- pvc buizen met een gestructureerde wand

Hierbij gaat het om buizen met een holle wand of om buizen voorzien van versterkingsribben. Deze zijn verkrijgbaar in klasse 34 en KOMO gecertificeerd [5]. Buizen met een binnendiameter van 300 mm zijn verkrijgbaar in werkende lengten van 2,5, 5 en 10 meter. Elke buis is standaard voorzien van een aangepaste mof en wordt geleverd inclusief rubber manchet.

- pvc drielagen-buizen

Het betreft buizen met een tussenlaag van gerecycleerd pvc materiaal (maximaal 50%). De buitenlagen bestaan uit virgin pvc. De drielagen-buizen zijn KOMO gecertificeerd [5] en verkrijgbaar in de klassen 41 en 34 met werkende lengten van 5 en 10 meter. De buizen met een buitendiameter van 315 mm worden geleverd met een aangepaste mof. De minimum binnendiameter voor deze buizen bedraagt volgens BRL 2302/02 273 mm. Dit betekent een wanddikte van maximaal 21 mm. De folder van de FKS inzake de door hen uitgevoerde vergelijking van milieu-aspecten [6] noemt als onderzochte buis de drielaagse buis met een wanddikte van 9,2 mm. Dit komt overeen met een volwandige buis.

Voor de LCA is gekozen voor volwandige buizen, klasse 41 en 34, werkende lengten 5 en 10 meter. Dit zijn de meest toegepaste buizen. Het gewicht ervan bedraagt 11,2 kg voor de klasse 41 en 13,5 kg voor de klasse 34 [7]. De FKS noemt voor klasse 34: 13,1 kg. Deze waarde is niet gehanteerd: INTRON is ervan uitgegaan op basis van [12] dat de genoemde gewichten uit [7] inclusief mof zijn.

05.02 FUNCTIONELE EENHEID EN AFLEIDING (PVC)

De uitgangspunten voor de functionele eenheid 1 km buitenriolering zijn gelijk aan die voor beton (z.d.). Evenals bij beton het geval is, liggen nauwkeurige materiaallijsten en materiaaolgegevens ten grondslag aan de onderhavige studie.

Voor de functionele eenheid is voor betonnen putten gekozen omdat deze het gangbaarst zijn. Kunststof putten bestaan ofwel uit glasvezelversterkte kunststof gvk (polyester) ofwel uit een combinatie van gvk en pvc. Waar gvk buiten deze studie valt en de samenstelling van de putten verder niet bekend is, kunnen deze niet worden beschouwd.

Uit hoofde van de terechte keuze voor betonnen putten in een pvc-stelsel is een zuivere vergelijking mogelijk tussen de meest voorkomende rioleringscomponenten: de buizen.

Voorts is een aantal gegevens in de levenscyclus van verschillende materiaaluitvoeringen gelijk. Zo verschilt de aanleg van een betonnen riool met een inwendige diameter van 300 mm niet of nauwelijks met die van een vergelijkbaar riool in pvc of in gres. Daarom is een tweede functionele eenheid gedefinieerd:

1 representatieve meter rioolbuis met een inwendige diameter van 300 mm die kan worden toegepast in een vrij-verval riool voor de inzameling van hemelwater en communaal afvalwater.

Onder een representatieve meter wordt verstaan: een streng inclusief rubber ringverbindingen die is teruggerekend naar 1 m.

Ergo zijn alleen onderscheidende aspecten beschouwd:

- productie (cradle to gate);
- transport naar de bouwplaats;
- transport van de bouwplaats naar de verwerker;
- afvalverwerking, recycling.

Uit de LCA voor beton is gebleken dat de aanleg, de periodieke reiniging en de verwijdering na afdanking geen onderscheidende aspecten voor de materialen zijn.

De ontwerp-levensduur van het rioolstelsel wordt voor alle varianten gelijk geacht en overschrijdt voor geen van de rioolcomponenten de technische levensduur.

05.03 REPRESENTATIVITEIT (PVC)

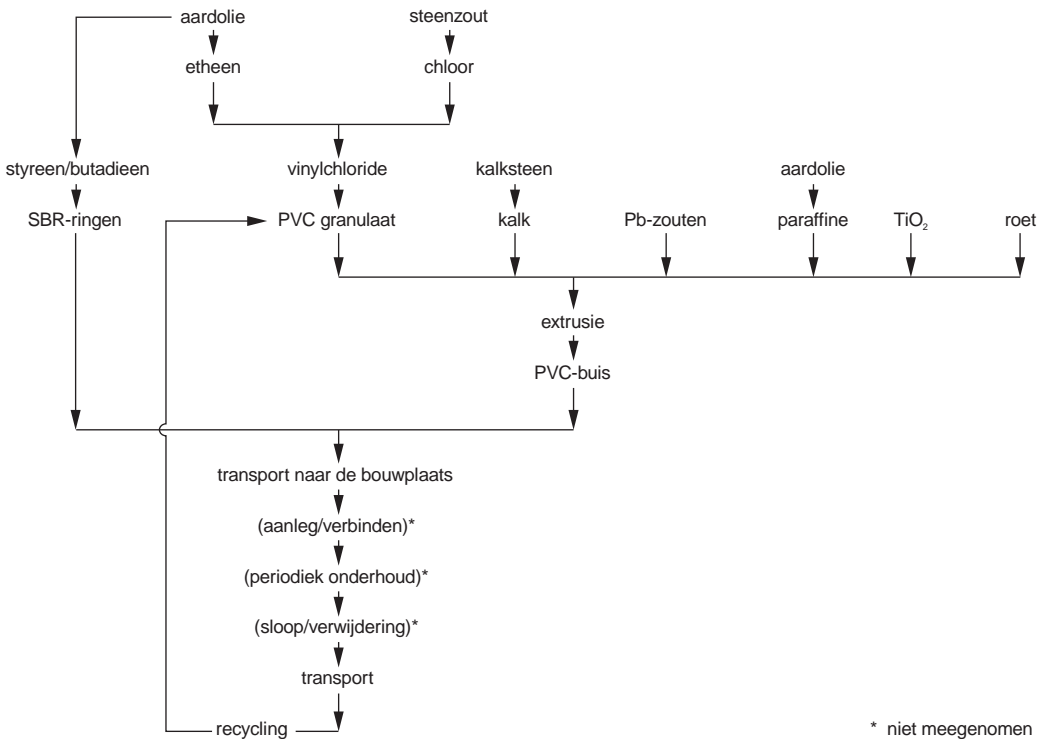
Getracht is de recentste gegevens te verkrijgen en te gebruiken. Alleen de Nederlandse situatie is beschouwd.

05.04 INVENTARISATIE (PVC)

In figuur 18 is de procesboom van pvc buizen schematisch weergegeven. Dezelfde afbakening van levenscyclusfasen en omvang van de procesboom zijn gehanteerd als in de LCA van het betonnen stelsel.

05.05 PRODUCTIEFASE (PVC)

Verwezen wordt naar 03.02.08.



Figuur 18: procesboom van pvc buizen in een rioolstelsel

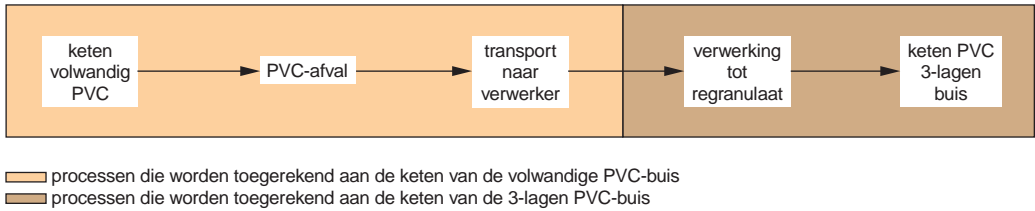
05.06 CONSTRUCTIEFASE (PVC)

Volgens informatie van meerdere aannemers verschillen de milieugegevens voor de aanleg niet of nauwelijks als het gaat om diverse buismaterialen. Immers, het grondwerk vraagt de meeste energie. Voor onderling verschillende buizen met een inwendige diameter van 300 mm wordt dezelfde apparatuur neergezet en gebruikt. De aanleg is derhalve niet onderscheidend en weggelaten in de LCA.

Omdat er in de literatuur ook gegevens bekend zijn over verschillen in milieubelasting bij de aanleg van materialen is voor deze aanname een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd (zie hierna).

Als transportafstand naar de bouwplaats is, zoals ook bij beton het geval is, gekozen voor een afstand van 50 km. Er is geen verschil gemaakt in transport voor verschillende onderdelen. Vanzelfsprekend is wel rekening gehouden met het aantal buizen dat per vrachtwagen kan worden getransporteerd. Dit verschilt per buismateriaal [8, 12]. Retourtransport met lege vrachtwagens is ook beschouwd.

De productie en het gebruik van eventuele glijmiddelen zijn niet beschouwd. De samenstelling en



Figuur 19: *op economische principes toegerekende milieubelasting van volwandige buizen van pvc*

de benodigde hoeveelheden zijn onbekend. Er wordt geen grote milieubelasting van deze middelen verwacht.

Bouwafval is zowel bij beton als bij pvc buiten beschouwing gelaten. Er zijn geen gegevens van bekend en het is bovendien moeilijk kwantificeerbaar. Bouwafval zal met name ontstaan door afgekeurde buizen. In de LCA wordt er evenwel van uitgegaan dat de buizen voldoen. De literatuur geeft ook geen aanleiding om te veronderstellen dat er verschillen in bouwafval ontstaan als het gaat om bouwafval bij verschillende buismaterialen.

05.07 DE GEBRUIKS- EN ONDERHOUDSFASE (PVC)

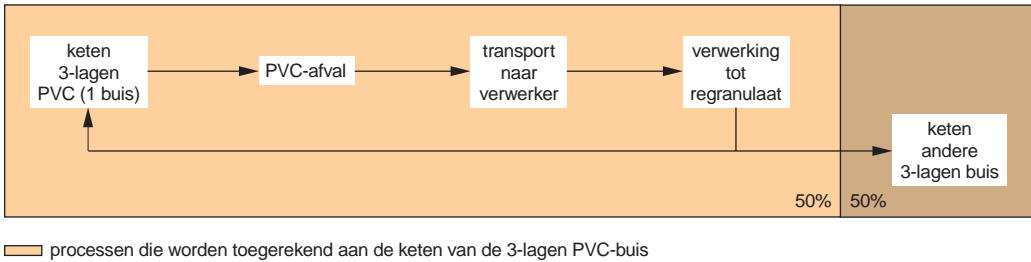
Ook het periodieke onderhoud, reinigen onder hoge druk, is niet onderscheidend voor de verschillende buismaterialen en daarom buiten beschouwing gebleven.

In een studie naar binnenrioleringen [11] stelt bureau PRÉ dat er lood vrijkomt bij het gebruik van pvc buizen. Het is onduidelijk of de gehanteerde gegevens voor uitloging realistisch zijn voor de praktijk. INTRON heeft om twee redenen besloten om deze uitloging niet mee te nemen. Op de eerste plaats omdat pvc buizen voldoen aan de eisen voor drinkwaterleidingen (de uitloging is dus zeer gering); op de tweede plaats omdat de uitloging van betonnen buizen ook niet is meegenomen doordat deze voldoen aan het toekomstige Bouwstoffenbesluit klasse V1.

05.08 AFDANKFASE (PVC)

Aangenomen is dat de functionele eenheid wordt verwijderd voor het einde van de technische levensduur. De gegevens voor sloop van de pvc eenheid zijn gelijk aan die van beton (om dezelfde reden als bij constructie) en daarom buiten beschouwing gelaten.

Beschouwd is het scenario waarbij de pvc buizen en moffen als geheel worden ingezameld en getransporteerd naar de verwerker. De rubber manchetten worden gestort. Door verwerking ontstaat een granulaat dat opnieuw wordt ingezet voor de drielagen buizen. De afvalverwerking kent dus twee processen: inzameling en transport enerzijds en verwerking tot regeneraat anderzijds. Op basis van een economische verdeelsleutel wordt de milieubelasting toegerekend. Zie de figuren 19 en 20.



Figuur 20: op economische principes toegerekende milieubelasting van drielagen-buizen van pvc

05.09 CLASSIFICATIE (PVC)

Gebleken is dat er weinig tot geen verschil is tussen de milieuprofielen van buizen met een werkende lengte van 5 respectievelijk 10 meter. Daarom zijn de buizen met een werkende lengte van 10 meter verder buiten beschouwing gelaten.

In tabel 6 zijn de milieumaten voor de functionele eenheden (stelsel) weergegeven. Niet-weegbare milieu-effecten zijn in het rapport nauwkeurig vermeld.

milieumaat	eenheid	buistype Ø 300 mm			
		beton	volw. pvc klasse 34	volw. pvc klasse 41	pvc 3-lagen klasse 34
grondstoffen	10^{-10} jr	0,32	12,9	10,9	6,68
energie (eerste orde) ¹⁾	MJ	$252 \cdot 10^3$	$613 \cdot 10^3$	$522 \cdot 10^3$	$412 \cdot 10^3$
emissies ²⁾	10^{-10} jr	243	930	783	670
afval					
- gewoon	kg	628	1819	1540	956
- gevaarlijk	kg	37,5	118	99,5	134

¹⁾ eerste orde energie; ook wel primaire energie genoemd, dit wil zeggen dat rekening is gehouden met de efficiëntie van de opwekking van de energie. Zo is er om 1 MJ elektrische energie te verkrijgen ca. 2,6 - 2,7 MJ primaire energie benodigd.

²⁾ niet-weegbare emissies: fotochemische oxidantvorming pocp (genormaliseerd) resp. in 10^{-10} jr: 16,2; 271; 228; 136; aquatische ecotoxiciteit eca (genormaliseerd) resp. in 10^{-10} jr: 0,051; 0,672; 0,567; 0,338.

Tabel 6: milieumaten voor de functionele eenheid (stelsel)

In tabel 7 zijn de milieumaten voor de functionele eenheden (meter rioolbuis) vermeld.

milieumaat	eenheid	buistype Ø 300 mm			
		beton	volw. pvc klasse 34	volw. pvc klasse 41	pvc 3-lagen klasse 34
grondstoffen	10 ⁻¹⁰ jr	0,00029	0,0130	0,0109	0,0066
energie (eerste orde) ¹⁾	MJ	223	581	489	376
emissies ²⁾	10 ⁻¹⁰ jr	0,215	0,903	0,756	0,643
afval					
- gewoon	kg	0,56	1,76	1,47	0,89
- gevaarlijk	kg	0,03	0,11	0,095	0,12

¹⁾ eerste orde energie; ook wel primaire energie genoemd, dit wil zeggen dat rekening is gehouden met de efficiëntie van de opwekking van de energie. Zo is er om 1 MJ elektrische energie te verkrijgen ca. 2,6 - 2,7 MJ primaire energie benodigd.

²⁾ niet-weegbare emissies: fotochemische oxidantvorming pocp (genormaliseerd) resp. in 10⁻¹⁰ jr: 0,0147; 0,272; 0,228; 0,135; aquatische ecotoxiciteit eca (genormaliseerd) resp. in 10⁻¹⁰ jr: 0,5 · 10⁻⁴; 6,8 · 10⁻⁴; 5,7 · 10⁻⁴; 3,4 · 10⁻⁴.

Tabel 7: milieumaten voor de functionele eenheid (meter rioolbuis)

De figuren 21 en 22 geven de verschillen grafisch weer. Fotochemische oxidantvorming (pocp) kan weliswaar niet gewogen worden, doch lijkt relevant. Daarom is deze in de figuren meegenomen.

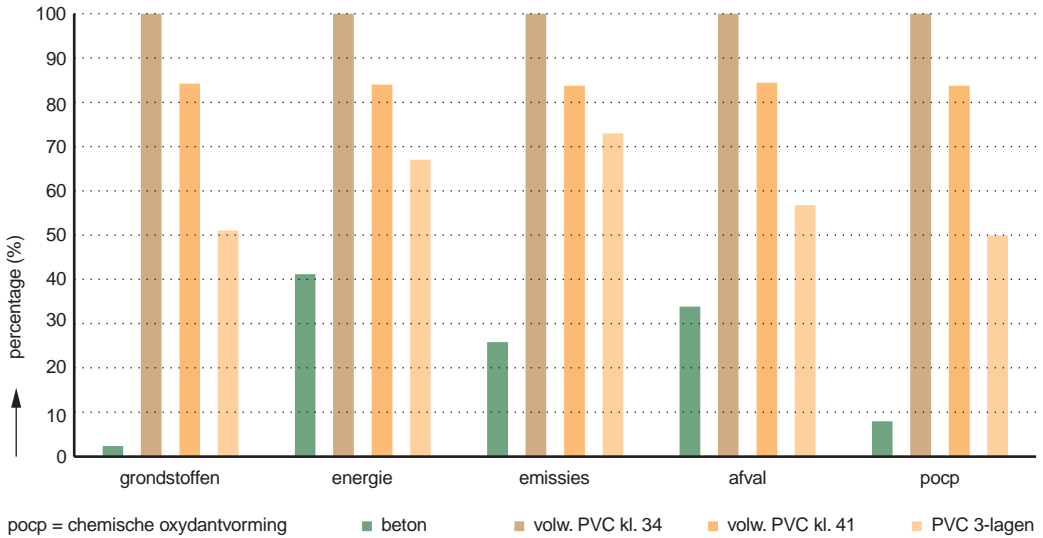
05.10 EVALUATIE (PVC)

Uit voornoemde resultaten blijkt dat de betonnen buizen op alle milieumaten beter scoren dan pvc buizen. Uit de uitwerking van de functionele eenheid volgt dat betonnen putten weinig invloed uitoefenen op de totale milieubelasting ten opzichte van de buizen.

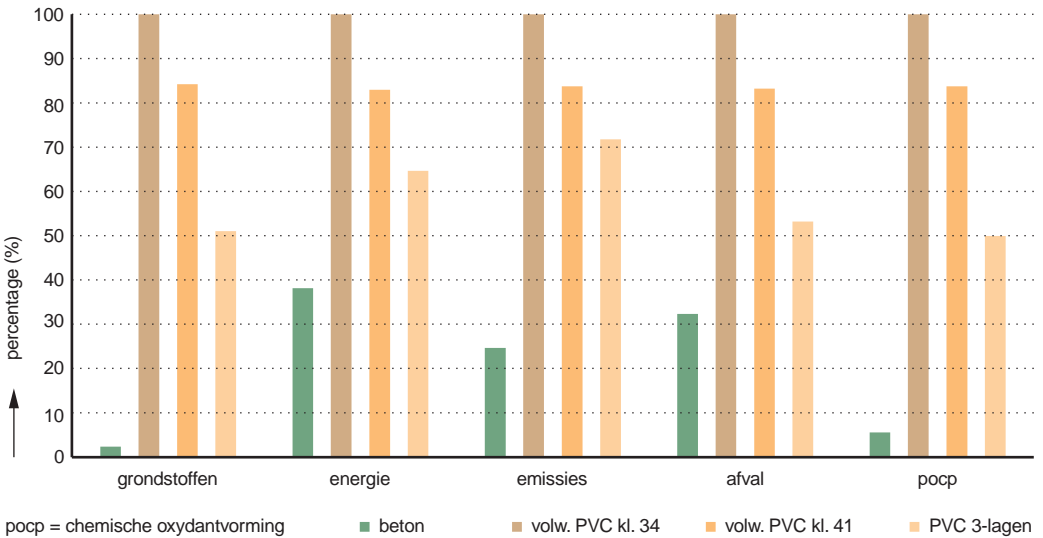
De milieumaat hinder kan nog niet worden bepaald. Deze omvat stank en landschapsaantasting.

Het milieu-effect stank wordt bij betonnen buizen veroorzaakt door de productie van de rubber ringen. In de betonvariant worden meer rubber ringen gebruikt dan in de pvc variant. In de pvc varianten ontstaat stank bij de productie van het additief titaandioxide TiO₂. De absolute hoeveelheid stank is echter verwaarloosbaar, zoals blijkt uit figuur 23 op pagina 58.

In figuur 23 is voorts te zien dat de fotochemische oxidantvorming, een milieu-effect waarvoor nog geen weegfactor beschikbaar is om deze mee te nemen in emissies, wel van belang blijkt ten



Figuur 21: grafische weergave milieumaten voor de functionele eenheid (stelsel)

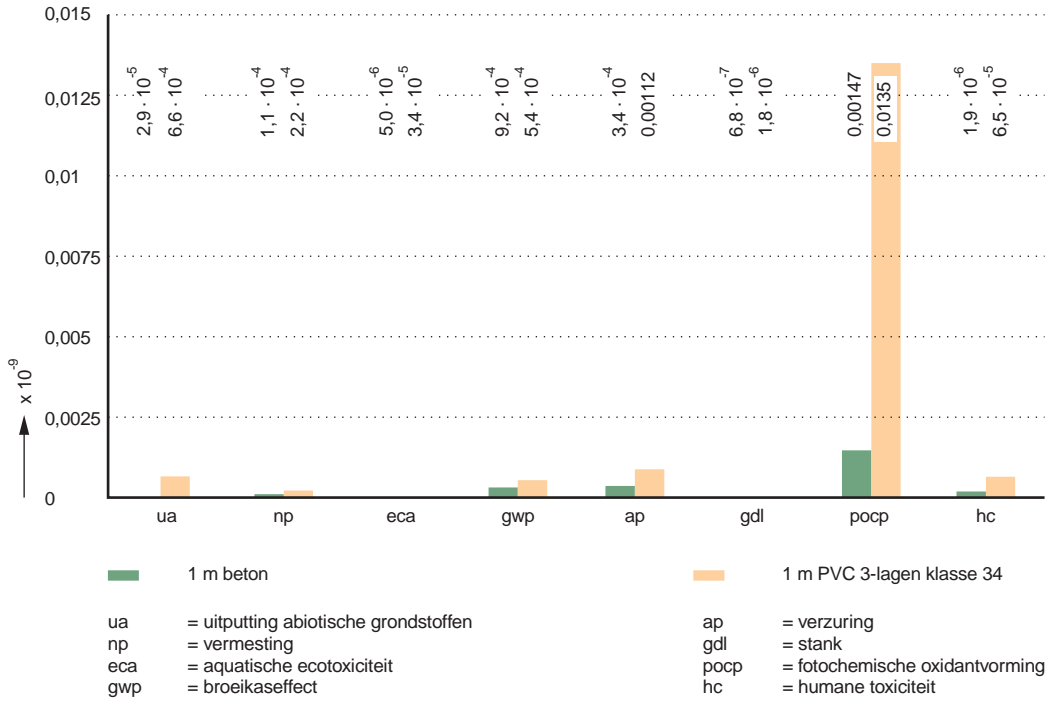


Figuur 22: grafische weergave milieumaten voor de functionele eenheid (meter rioolbuis)

opzichte van de mondiale milieubelasting. Zoals al aangegeven scoort pvc slechter dan beton.

Als belangrijkste oorzaak van de verschillen tussen pvc en beton kan het energieverbruik voor de buizenproductie worden aangemerkt. Bij betonnen buizen is energieverbruik voornamelijk het ge-

volg van de productie van Portlandcementklinker en de maling van cement. Bij pvc kost de productie van virgin pvc granulaat de meeste energie.



Figuur 23: genormaliseerd milieuprofiel (meter rioolbuis) van drielagen-pvc en beton

HOOFDSTUK 6: MILIEUPROFIEL EN MILIEUMATEN VAN GRES IN VERGELIJKING MET BETON

06.01 BESCHOUWDE MATERIALEN (GRES)

Voor de LCA is een gres buis klasse 160 gekozen met een inwendige diameter van 300 mm en een wanddikte van 28 mm. De buis heeft een lengte van twee meter en weegt 62 kg/m, inclusief kraag en verbindingsring [12, 15]. De volgende materialen worden gebruikt [14, 15]:

- gres	96,4 %
- pur (ring)	0,3 %
- polyester (ring)	0,5 %
- kwarts (vulmateriaal ring)	1,3 %
- glazuur	1,5 %

De functionele eenheden zijn gelijk aan die voor pvc (zie 05.01), zij het dat in dit geval is uitgegaan van gres buizen inclusief pur verbindingsringen. Ergo gaat het om 1 km rioolleiding en 1 representatieve meter gres buis. Voor de rioolleiding werden 492 gres buizen en twintig betonnen putten ingezet.

Evenals bij de andere materialen het geval is, liggen nauwkeurige materiaalgegevens en materiaallijsten aan de LCA ten grondslag.

06.02 FUNCTIONELE EENHEID EN AFLEIDING (GRES)

Ook in dit geval is uitgegaan van een stelsel van gres buizen en betonnen putten (zie ook 05.02). Aldus kunnen zuivere vergelijkingen worden gemaakt ten aanzien van de meest voorkomende componenten van rioleringen: de buizen.

06.03 REPRESENTATIVITEIT (GRES)

Er is getracht de recentste gegevens te verkrijgen en te gebruiken. Alleen de Nederlandse situatie is beschouwd.

06.04 INVENTARISATIE (GRES)

De procesboom van gres buizen in een rioolstelsel is weergegeven in figuur 24. De systeemgrenzen zijn dezelfde als bij beton en bij pvc.

06.05 PRODUCTIEFASE (GRES)

Zie hiertoe 03.02.09.

06.06 CONSTRUCTIEFASE (GRES)

Volgens informatie van aannemers verschillen de milieugegevens voor aanleg niet of nauwelijks

voor buismaterialen met een inwendige diameter van 300 mm. Daarom is aanleg in de LCA buiten beschouwing gebleven. Zie de gevoeligheidsanalyse. Het aantal buizen dat per vrachtwagen naar de bouwplaats kan worden vervoerd, is ontleend aan [8]. De transportafstand bedraagt 50 km, lege retourtransporten zijn beschouwd. Evenals bij beton en bij pvc is geen sprake van bouwafval (z.d.).

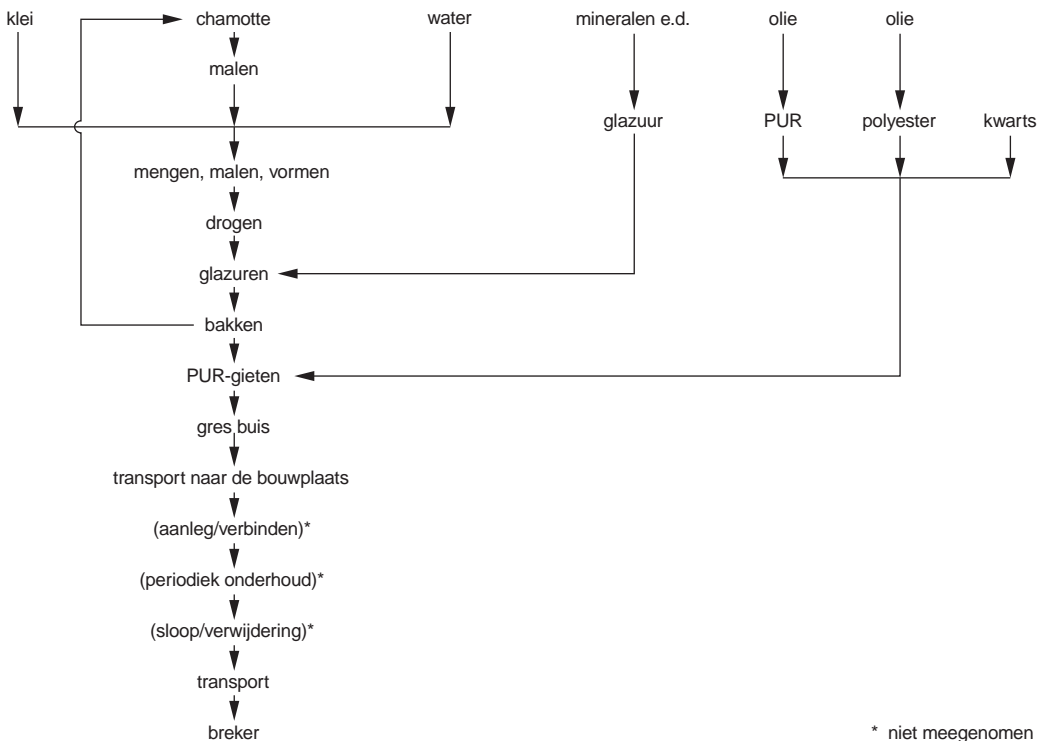
De waarde van 50 km is gelijk aan die bij beton en pvc. Naar verwachting is dit optimistisch omdat er slechts één producent van gres buizen is. Bij beton en pvc zijn de producenten over het gehele land verspreid.

06.07 DE GEBRUIKS- EN ONDERHOUDSFASE (GRES)

Evenals in de LCA voor beton en voor pvc is het periodieke onderhoud, het reinigen onder hoge druk, niet beschouwd omdat het niet onderscheidend is. Ook uitloging in de gebruiksfase is niet meegenomen. Gres voldoet aan het toekomstige Bouwstoffenbesluit klasse V1.

06.08 AFDANKFASE (GRES)

Aangenomen is dat de functionele eenheid na veertig jaar wordt verwijderd en dat de technische



Figuur 24: procesboom van gres buizen voor een rioolleiding

levensduur dan nog niet ten einde is. De gegevens voor de sloop van de eenheid met gres buizen onderscheiden zich niet van die met beton en pvc en daarom zijn de gegevens buiten beschouwing gelaten.

Voorts is aangenomen dat gres buizen naar een breker gaan. Het is niet bekend welk percentage momenteel naar de stort gaat en welk percentage naar de breker. In het kader van het Stortbesluit dat op 1 januari 1996 van kracht werd, mag echter worden verwacht dat gres buizen niet meer worden gestort.

In deze LCA is hetzelfde scenario voor het breken gevolgd als voor beton. Dit houdt in dat op basis van een economische verdeelsleutel 23,6% van de milieubelasting van het breken aan de riolering mag worden toegerekend. Gebroken gres is onderdeel van een zogenoemd menggranulaat, dat wordt afgezet naar de wegenbouwsector. Menggranulaat is naar verwachting minder waardevol dan betongranulaat. Op basis van de economische verdeelsleutel zou dientengevolge een hoger percentage milieubelasting voor het breken van gres in rekening moeten worden gebracht dan bij beton het geval is. Er zijn evenwel geen kwantitatieve gegevens bekend zodat het percentage van 23,6 is gehanteerd. Dit is relatief gunstig voor de milieumaten van de gres buis. De pur ringen worden gestort. De betonnen putten gaan eveneens naar de breker en volgen het scenario van de LCA voor beton.

06.09 CLASSIFICATIE (GRES)

Drie bronnen waren van belang:

- een studie in opdracht van Feugrès (Fédération Européenne des Fabricants des Tuyaux et Grès), uitgevoerd door I. Boustead, 1983 [15]. Deze studie geeft energiegegevens omtrent gres buizen. De keramische industrie lijkt nog steeds achter deze gegevens te staan. INTRON heeft een energiebesparing van 5% sinds 1983 aangenomen. De studie bevat geen emissiegegevens;
- informatie van de keramische industrie inzake emissies in de gresfabriek. Deze gegevens zijn niet compleet: NO^x en CO (verbrandingsproducten) worden niet genoemd. NO^x draagt bij aan verzuring, vermisting en humane toxiciteit; CO draagt bij aan humane toxiciteit;
- gegevens over de Nederlandse grofkeramische industrie, opgesteld door het RIVM in 1992 (SPIN-rapport) [16]. De emissiegegevens lijken completer, maar aan de hoge kant. Het energieverbruik lijkt te laag in vergelijking met de Feugrès-studie. In de RIVM-studie wordt gewag gemaakt van 2% productie-afval. Dit geldt evenwel niet de gres buizen omdat, zoals eerder beschreven, productie-afval wordt geretourneerd naar de chamotte-malerij.

Deze gegevens zijn gecombineerd en waar nodig aangevuld. De LCA-studie legt daaromtrent nauwkeurig verantwoording af.

De milieumaten voor gresbuizen zijn verwoord in de tabellen 8 en 9 op pagina 62.

(*Vervolg op pagina 64*)

milieumaat	eenheid	buistype Ø 300 mm	
		beton	gres kl.160
grondstoffen	10^{-10} jr	0,32	1,14
energie (eerste orde) ¹⁾	MJ	$252 \cdot 10^3$	$474 \cdot 10^3$
emissies ²⁾	10^{-10} jr	243	340
afval			
- gewoon	kg	628	1468
- gevaarlijk	kg	37,5	62,1

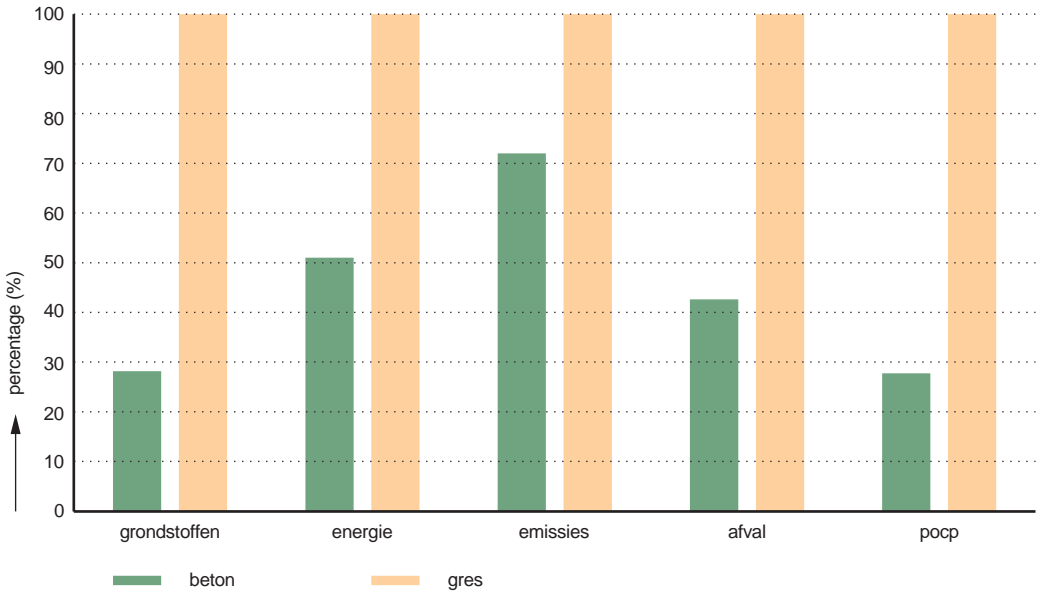
- 1) eerste orde energie; ook wel primaire energie genoemd, dit wil zeggen dat rekening is gehouden met de efficiëntie van de opwekking van de energie. Zo is er om 1 MJ elektrische energie te verkrijgen ca. 2,6 - 2,7 MJ primaire energie benodigd.
- 2) niet-weegbare emissies: fotochemische oxidantvorming pocp (genormaliseerd) resp. in 10^{-10} jr: 16,2; 230; aquatische ecotoxiciteit (genormaliseerd) resp. in 10^{-10} jr: 0,0511; 0,182.

Tabel 8: milieumaten voor de functionele eenheid (stelsel)

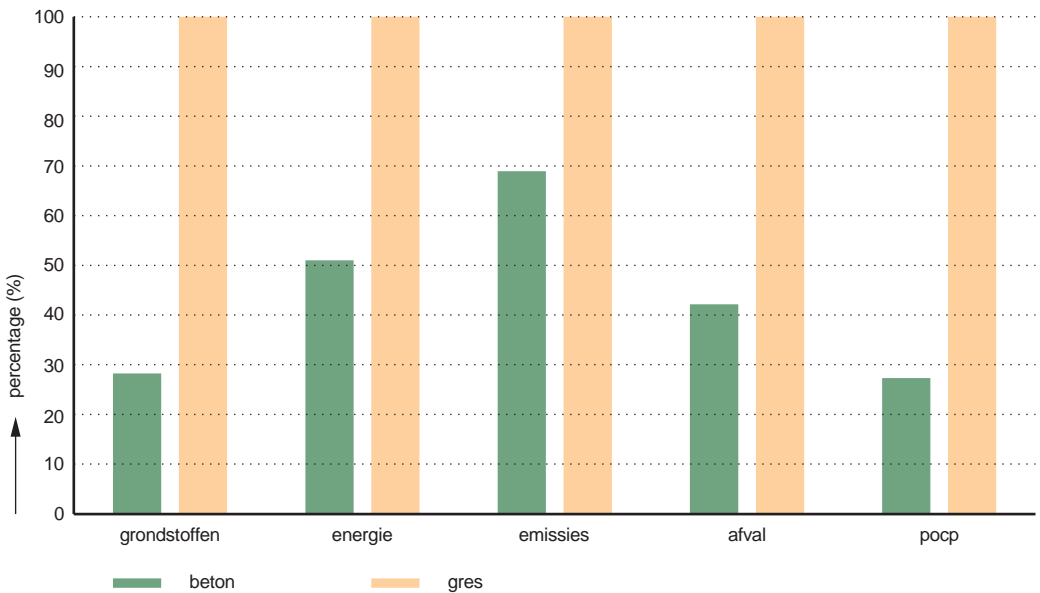
milieumaat	eenheid	beton	
		beton	gres kl.160
grondstoffen	10^{-10} jr	0,00029	0,00122
energie (eerste orde) ¹⁾	MJ	223	443
emissies ²⁾	10^{-10} jr	0,215	0,312
afval			
- gewoon	kg	0,56	1,41
- gevaarlijk	kg	0,03	0,06

- 1) eerste orde energie; ook wel primaire energie genoemd, dit wil zeggen dat rekening is gehouden met de efficiëntie van de opwekking van de energie. Zo is er om 1 MJ elektrische energie te verkrijgen ca. 2,6 - 2,7 MJ primaire energie benodigd.
- 2) niet-weegbare emissies: fotochemische oxidantvorming pocp (genormaliseerd) resp. in 10^{-10} jr: 0,0147; 0,232; aquatische ecotoxiciteit (genormaliseerd) resp. in 10^{-10} jr: $0,5 \cdot 10^{-4}$; $1,82 \cdot 10^{-4}$.

Tabel 9: milieumaten voor de functionele eenheid (1 representatieve meter buis)



Figuur 25: *relatieve milieumaten voor de functionele eenheid (stelsel)*



Figuur 26: *relatieve milieumaten voor de functionele eenheid (1 meter rioolbuis)*

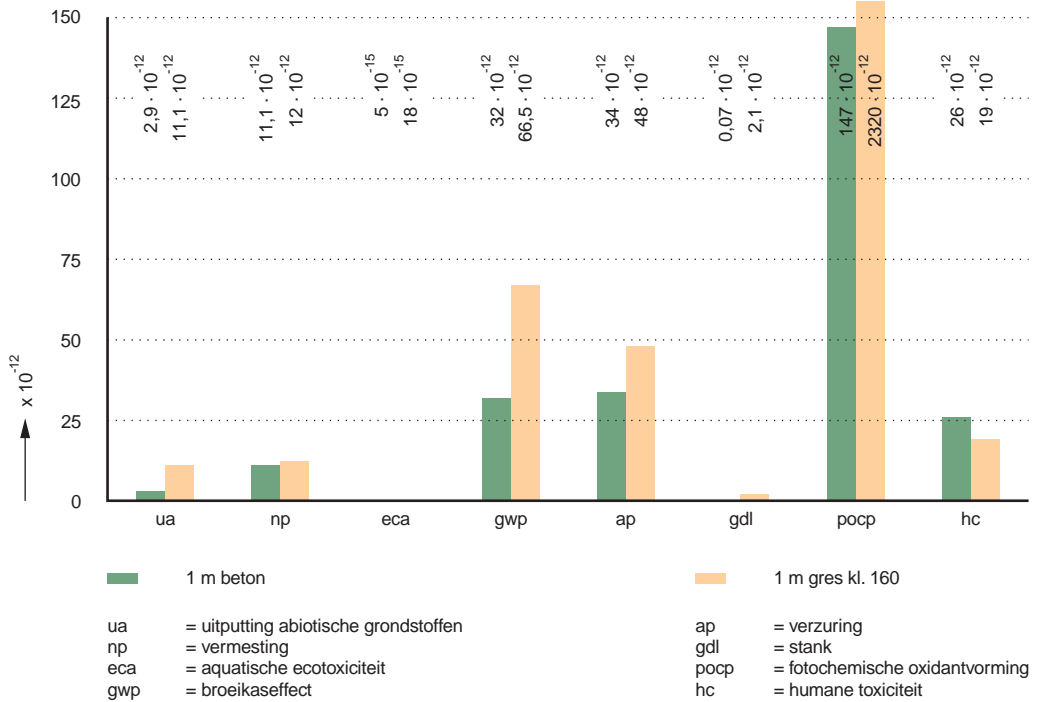
(Vervolg van pagina 61)

06.10 EVALUATIE (GRES)

Uit de tabellen 8 en 9 op pagina 62 en uit de figuren 25 en 26 op pagina 63 blijkt dat beton ook ten opzichte van gres op alle milieumaten beter scoort. Ook hier is het verschil in energieverbruik de belangrijkste oorzaak van de verschillen.

In figuur 27 is te zien dat de fotochemische oxidantvorming ten opzichte van de mondiale belasting wél van belang lijkt, de aquatische toxiciteit niet.

Met betrekking tot de milieumaat hinder scoort gres op het effect stank slechter dan beton. Dit is geheel te wijten aan de productie van de pur ring. Voor het overige geldt ook hier, net als bij beton en pvc, dat het effect stank ten opzichte van de mondiale milieubelasting verwaarloosbaar is. Zie figuur 27.



Figuur 27: genormaliseerd milieuprofiel van de functionele eenheid (1 meter rioolbuis), uitgevoerd in beton en gres

HOOFDSTUK 7: EVALUATIE EN CONCLUSIES

07.01 ALGEMEEN

In de figuren 28, 29, 30 en 31 zijn de milieumaten voor de functionele eenheden in beton, pvc en gres (1 representatieve meter) weergegeven. Het volgende blijkt:

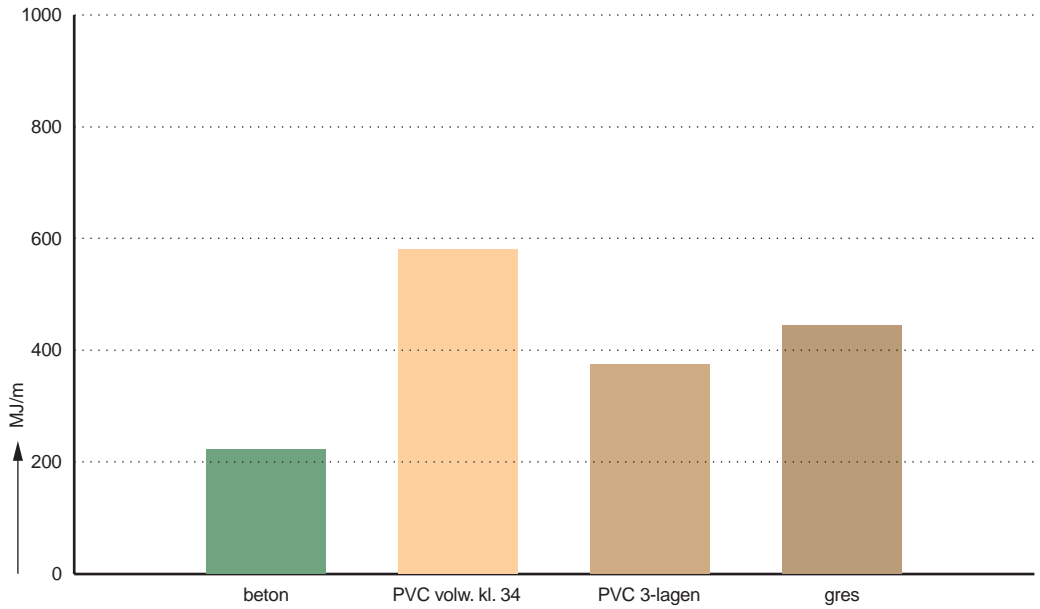
- 1 In de verschillende rioolstelsels bestaande uit buizen en putten van verschillende materialen is de **buis** doorslaggevend gebleken voor de totale milieubelasting.
- 2 Bij vergelijking blijkt dat beton ten opzichte van pvc (volwandig én drielaags) op alle milieumaten het beste scoort (zie ook bijlage 1).
- 3 Het energieverbruik is bepalend gebleken voor de milieubelasting van rioolbuizen. Grondstoffen en emissies zijn direct gerelateerd aan het energieverbruik.
- 4 Met betrekking tot de grondstofuitputting kan worden vermeld dat pvc aardolie als bron voor zowel energie als grondstof gebruikt.
- 5 Wat emissies betreft wordt opgemerkt dat de milieumaat voor gres lager is dan die voor pvc ondanks het hogere energieverbruik ten opzichte van de drielaags-buis. De oorzaak is waarschijnlijk gelegen in de omstandigheid dat bij de productie van gres relatief schoon aardgas wordt gebruikt.

In de LCA's is de aanname gedaan dat de milieubelasting voor de aanleg voor alle materialen gelijk is. Deze aanname is gebaseerd op gegevens van aannemers. Centraal daarbij staat dat het grondwerk voor alle materialen nagenoeg hetzelfde is.

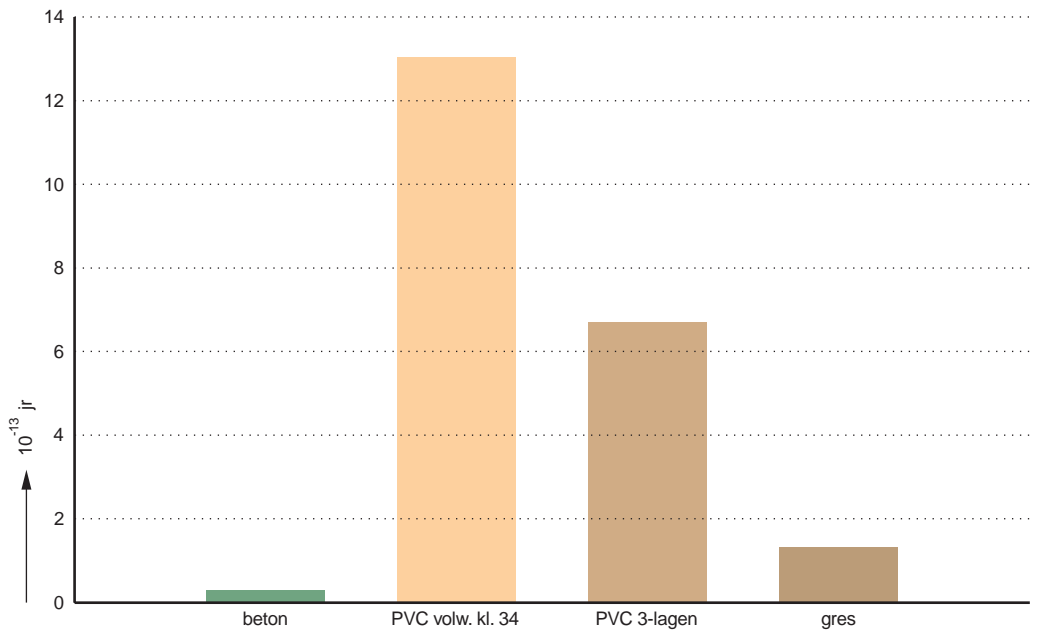
In sommige publicaties wordt uitgegaan van verschillen in milieubelasting bij de aanleg. Dit heeft geleid tot de gevoeligheidsanalyses die in de bijlage zijn afgedrukt.

07.02 VERGELIJKEND OVERZICHT

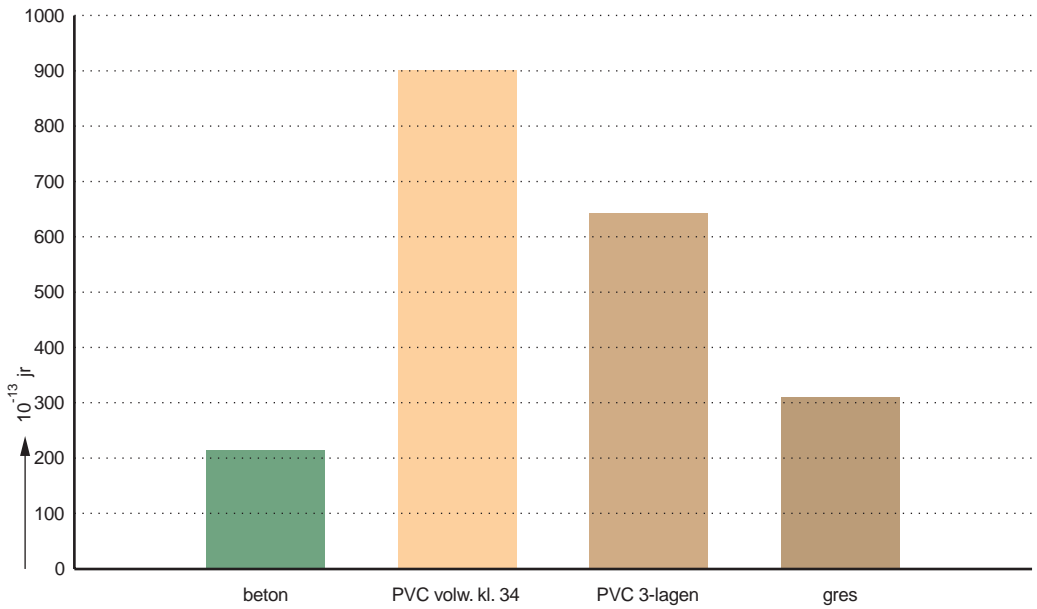
Men kan hetgeen hiervoor geschreven is, terugbrengen tot de essentie en die kaderen in grafische informatie of getalsmatige informatie. Zie hiervoor de figuren 28 en 29 op pagina 66; de figuren 30 en 31 op pagina 67 en tabel 10 op pagina 68.



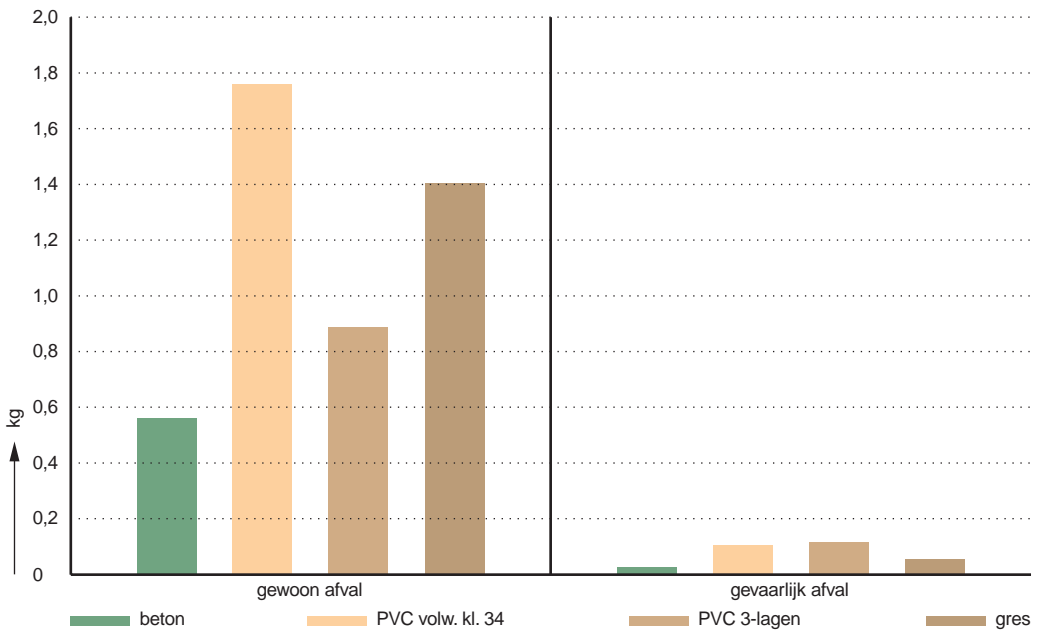
Figuur 28: milieumaat energie MJ/m 1e orde per functionele eenheid (1 representatieve meter rioolbuis)



Figuur 29: milieumaat grondstoffen per functionele eenheid (1 representatieve meter rioolbuis)



Figuur 30: milieumaat emissies per functionele eenheid (1 representatieve meter rioolbuis)



Figuur 31: milieumaat afval en gevaarlijk afval per functionele eenheid (1 representatieve meter rioolbuis)

milieumaat	eenheid	buisstype Ø 300 mm				
		beton	volw. pvc klasse 34	volw. pvc klasse 41	pvc 3-lagen klasse 34	gres klasse 160
grondstoffen	10 ⁻¹⁰ jr	0,00029	0,0130	0,0109	0,0066	0,00122
energie (eerste orde) ¹⁾	MJ	223	581	489	376	448
emissies ²⁾	10 ⁻¹⁰ jr	0,215	0,903	0,756	0,643	0,312
afval						
- gewoon	kg	0,56	1,76	1,47	0,89	1,41
- gevaarlijk	kg	0,03	0,11	0,095	0,12	0,06

samenvoeging van de tabellen 7 en 9, zie voor noten aldaar

Tabel 10: de vergelijking in cijfers voor de functionele eenheid (1 representatieve meter rioolbuis)

BIJLAGE: GEVOELIGHEIDSANALYSES

De FKS gaat bij haar vergelijking uit van zogenoemde Thalmann-equivalenten. Dit zijn maten die in Duitsland worden gebruikt. Die komen niet overeen met die van de door de Nederlandse overheid en het Milieuberaad Bouw MBB gekozen LCA-methode.

Bij een LCA weegt men de milieu-effecten uit het milieuprofiel met objectieve weegfactoren tot vijf milieumaten. In de Thalmann-methode is het milieuprofiel (uitgedrukt in iets andere eenheden) weliswaar objectief, maar worden subjectieve weegfactoren gebruikt om tot een eindscore te komen. De Thalmann-methode is op zich niet eenvoudiger, want zij vergt dezelfde stappen. Het eindresultaat oogt eenvoudiger, maar is subjectief.

Voorts zijn er twee omstandigheden die van invloed zijn geweest:

1 De FKS heeft aanleg en verwijdering in haar berekeningen meegenomen, ervan uitgaande dat die beide verschillen bij pvc, beton en gres. Op basis van de gegevens van aannemers blijkt zulks niet het geval te zijn en zijn aanleg en verwijdering derhalve niet onderscheidend.

De FKS heeft voor beton een bepaald percentage stort in rekening gebracht. INTRON gaat ervan uit dat 100% van het beton wordt gerecycleerd. Voor het overige is laatstgenoemde aanneme ongunstig voor beton.

2 Een nadere analyse van de door de FKS gehanteerde gegevens leert dat er verschillen zijn ontstaan doordat van een ander energieverbruik per meter buis is uitgegaan.

De FKS hanteert Zwitserse gegevens voor de productie van virgin pvc. INTRON hanteert gemiddelde Europese gegevens zoals die door de APME voor dat doel zijn opgesteld. De Zwitserse gegevens zijn wellicht iets gunstiger dan de Europese.

Belangrijker is evenwel de aanname van de FKS voor de verwerkingsenergie van beton (dosen, mengen, verdichten, verharden): 1,1 MJ/kg. Op basis van gegevens van de VPB-leden is berekend dat de verwerkingsenergie slechts 0,12 MJ/kg bedraagt. Dit scheelt een **factor 10 per kg** en lijkt het verschil tussen FKS en INTRON te verklaren. Zie ook tabel A.

Dit is in tegenspraak met de resultaten zoals de FKS die heeft gepubliceerd. De verschillen zijn echter niet gelegen in de milieukentallen, die in beide studies in dezelfde orde van grootte liggen, maar in de omstandigheid dat de FKS het energieverbruik voor beton te hoog heeft ingeschat.

energiegegevens	FKS	INTRON/VPB
3-lagen PVC	342	376
beton	411	223

Tabel A: energiegegevens (1e orde) zoals gehanteerd door FKS en INTRON

Teneinde duidelijkheid te verschaffen omtrent de milieumaat van een functionele eenheid (1 representatieve meter rioolbuis) bij aanleg en verwijdering waarbij die bij pvc en gres 50% minder energie behoeven (quod non volgens de aannemers): zie de uitkomst conform tabel B.

milieumaat	eenheid	beton	volw. PVC klasse 34	volw. PVC klasse 41	PVC 3-lagen	gres kl. 160
energie (eerste orde)	MJ	516	728	636	523	590

Tabel B: milieumaat energie aanleg en verwijdering van 1 representatieve meter rioolbuis bij pvc en gres 50% minder energiebehoefte dan bij beton

Gaat men uit van de door de FKS gehanteerde gegevens voor plaatsing (aanleg) en demontage (verwijdering), waarbij de getallen lager liggen dan die welke door de aannemers zijn gehanteerd, dan leidt zulks tot de uitkomst conform tabel C.

milieumaat	eenheid	beton	volw. PVC klasse 34	volw. PVC klasse 41	PVC 3-lagen	gres kl. 160
energie (eerste orde)	MJ	303	584	492	379	462

Tabel C: milieumaat energie aanleg en verwijdering van 1 representatieve meter rioolbuis op basis van gegevens FKS

De resultaten van beide varianten leiden tot de vaststelling dat beton beter blijft scoren. Er is dan ook geen reden om op basis van deze gevoeligheidsanalyse de conclusies aan te passen.

LITERATUUROVERZICHT

Alle literatuur die aan de LCA-onderzoeken ten grondslag lag, is opgenomen in onderstaande lijst. Niet aan alle publicaties wordt in het boek gerefereerd. Sommige waren voor de LCA-studie van belang, echter niet voor het boek. Niettemin is de volledige literatuurlijst vermeld.

- [1] VPB, "Rioleringstechniek deel 4: Inzameling en transport van afvalwater", VPB, Woerden, 1992.
- [2] Guinée, J. B. et al. (Centrum voor Milieukunde Rijksuniversiteit Leiden, CML), A. M. M. Ansems, P. G. Eggels (TNO), H. de Goede, R. van Duin (bureau Brand- en Grondstoffen: B&G), "Milieugerichte levenscyclusanalyse van produkten". Deel I: Handleiding. Deel II: Achtergronden, in het kader van het Nationaal Onderzoeksprogramma Hergebruik van Afvalstoffen (NOH), NOH rapport 9253/54, oktober 1992.
- [3] Mondelinge mededeling werknemers Heijmans BV, januari 1995.
- [4] Ballast Nedam Beton & Waterbouw, ombouw weggedeelte N32 tussen Heerenveen en Grouw tot snelweg, artikel "Drie zusterbedrijven werken samen in het noorden" in nieuwsblad Pijler van Ballast Nedam N.V., nr. 5, 1994.
- [5] RIONED, verslag symposium 'Ervaringen met rioolrenovaties' 3 november 1994 te Bunnik.
- [6] RIONED/NVA Symposium Thema Veiligheid en Arbeidsomstandigheden, 30 september 1994, Amsterdam.
- [7] Nota Gegronnd Ontgronden.
- [8] Heijningen, R. J. J. (Van Heijningen Energie- en Milieu-advies), De Castro, J. F. M. (Castro Consulting Engineer), Worrell, E. (RUU, NW&S), "Energiekentallen in relatie tot preventie en hergebruik van afvalstromen", in het kader van het Nationaal Onderzoeksprogramma Hergebruik van Afvalstoffen (NOH), in opdracht van NOVEM (RIVM), NOH-rapport 9210, februari 1992.
- [9] Boustead, I., "Eco-profiles of the European plastic industry, Report 2: Olefin Feedstock Sources", in opdracht van European Centre for Plastics in the Environment (PWMI), Brussel, mei 1993.
- [10] Heijningen, R. J. J. (Van Heijningen Energie- en Milieu-advies), De Castro, J. F. M. (Castro Consulting Engineer), Worrell, E. (RUU, NW&S), "Meer energiekenntallen in relatie tot preventie en hergebruik van afvalstromen", in het kader van het Nationaal Onderzoeksprogramma Hergebruik van Afvalstoffen (NOH), in opdracht van NOVEM (RIVM), NOH-rapport 9210, december 1992.
- [11] Huizinga, K., Verburgh, J. J. (Haskoning), Matthijssen, A. J. C. M. (RIVM/LAE), "Procesbeschrijvingen industrie Rubberverwerking", SPIN, juni 1992.
- [12] Potting, J., Bolk, K., "De milieugerichte levenscyclusanalyse van vier typen vloerbedekking", Vakgroep NW&S, in opdracht van de Utrechtse Wetenschapswinkels, P-UB-934; 93012, 1993.
- [13] Nationaal Milieubeleidsplan, 1989 en Nationaal Milieubeleidsplan Plus, bijlage 2: Duurzaam Bouwen, TK Vergaderjaar 1989-1990, 21137, nr. 22.
- [14] Nationaal Milieubeleidsplan 2, december 1993.
- [15] Nota Produkt & Milieu, VROM, december 1993.
- [16] Hoefnagels, F. E. T. et al., IVAM (Interfacultaire Vakgroep Milieukunde Amsterdam), "Minimalisering van de milieubelasting van buitenkozijnen in de woningbouw", IVAM onderzoeksreeks nr. 54, maart 1992.
- [17] Roskamp, H., Hoefnagels, F., (CREM), "Drie bestemmingen van fosforgips: een LCA leerproject", in opdracht van Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, DWW rapport MAOR-94036 (CREM rapport 93.049), 16 mei 1994.
- [18] Guinée, J. B., (Centrum voor Milieukunde Rijksuniversiteit Leiden, CML), "Data for the Normalization Step within Life Cycle Assessment of Products", CML paper no. 14, Leiden, september 1993.
- [19] Corten, F. G. P. et al. (CE), "Weging van milieu-effecten voor het produktbeleid. Verslag fase 1", Delft, 6 september 1994.
- [20] Schuurmans, A., Bijen, J., "MBB Milieumaten in de bouw. Fase 1: milieumaten van de bouwproductgroepen niet-dragende binnenwanden, dakgoot-systemen en bouwverven", Intron rapport 94215, november 1994.
- [21] VPB, "Rioleringstechniek deel 1: Het materiaal beton/componenten van het betonnen rioolstelsel", VPB, Woerden, 1992.
- [22] Schriftelijke informatie van de Stichting Zand Nijmegen, brief kenmerk PvS/AR/93.0267, 9 juli 1993.
- [23] Schriftelijke informatie van de Stichting Grind, Heel, C. van Deusen, brief kenmerk vDeu/ms/93.824, 9 augustus 1993.
- [24] a. Gesprek Intron en ing. J. M. F. A. Koekkelkoren, VPI (Nederlandse Vereniging van Producenten en Importeurs van Wegen- en waterbouwmaterialen), 21 juli 1993.
b. Brief van ing. J. M. F. A. Koekkelkoren, 23 augustus 1993.
- [25] Schuurmans, A., Bijen, J., "MBB Milieumaten in de bouw. Fase 1: milieumaten van de bouwproductgroepen, niet-dragende binnenwanden, dakgoot-systemen en bouwverven", Intron rapport 94215, november 1994.
- [26] Gegevens VNC, 1993.
- [27] Digital of United Kingdom Energy Statistics, HMSO, Londen.
- [28] Gijzen, R. J. L. et al., "Betonnen riolerings": bundeling van een serie artikelen eerder verschenen in het maandblad Cement 1989-1991, Den Bosch, VNC, 1991.
- [29] VPB, "Rioleringstechniek deel 2: Betonnen buizen in de grond", VPB, Woerden, 1992.
- [30] VPB, "De man in de sleuf, een boek voor mannen in de sleuf en er boven", VPB, Woerden, 1982.
- [31] Telefonische informatie de heer Boorhols, projectleider plan De Rietkamp, Gemeente Ede, 22 maart 1995.

- [32] Brief LB 95/05.010, Babit Riooltechniek Venlo, L. Bastiaans, 17 mei 1995.
- [33] Vereniging Nederlandse Particuliere Milieudienstbedrijven (VNPM), Branchedocument Milieudienstverlening, VROM 03054/a/3-93.
- [34] CML, "Milieugerichte levenscyclusanalyse van steenwol als isolatiemateriaal", CML rapport 114, juli 1994.
- [35] Telefonische informatie de heer Van den Meijdenberg, Heijmans Bouw Rosmalen.
- [36] Telefonische informatie Martens beton, april 1995.
- [37] Fax Aannemingsbedrijf Van Lee aan Bonna Vianen, 20 april 1995.

Literatuurlijst indicatief LCA-onderzoek PVC en gres:

- [1] Guinée, J. B. et al. (Centrum voor Milieukunde Rijksuniversiteit Leiden, CML), A. M. M. Ansems, P. G. Eggels (TNO), H. de Goede, R. van Duin (bureau Brand- en Grondstoffen: B&G), "Milieugerichte levenscyclusanalyse van producten". Deel I: Handleiding. Deel II: Achtergronden, in het kader van het Nationaal Onderzoeksprogramma Hergebruik van Afvalstoffen (NOH), NOH rapport 9253/54, oktober 1992.
- [2] Schuurmans, A., Bijen, J. (Intron), "Milieuprofiel en milieumaten van een betonnen buitenriolerings", Intron-rapport 95027, juni 1995.
- [3] Prijslijst Wavin, maart 1995.
- [4] NEN 7045 Buizen van ongeplastificeerd PVC voor binnen- en buitenriolerings.
- [5] Beoordelingsrichtlijn BRL 2023/02, buizen en hulpstukken met gestructureerde wand van PVC-U voor buitenriolerings onder vrij verval, SBK/Vecibin 1993-07-15.
- [6] FKS, Milieu-vergelijking beton, gres en PVC in hoofdriolerings, brochure voorjaar 1995.
- [7] Telefonische informatie dhr. Bink, Wavin, mei 1995.
- [8] PRé, "Milieu-vergelijking buitenriolerings", niet voor publikatie, 1992.
- [9] KIWA, TNO, "Leidingen voor het inzamelen en transporteren van afvalwater van bedrijfsterreinen. Inventarisatie van beschikbare kennis", in opdracht van het Ministerie van VROM, 1 augustus 1994.
- [10] WAVIN, Handboek Straatriolerings.
- [11] PRé, "Milieu-effecten van kunststof binnenriolerings in Nederland anno 1991", mei 1991.
- [12] FKS, "Rapport Milieuprofiel beton, gres en PVC in hoofdriolerings", voorjaar 1995.
- [13] APME, "Eco-profiles of the European polymer industry. Report 6: Polyvinyl chloride", Ian Boustead, Brussel, april 1994.
- [14] Jeschar, J. et al., "Energieverbrauch und CO₂-Emission bei der Herstellung und Entsorgung von Abwasserrohren aus verschiedenen Werkstoffen", Abwasserleitung 4/95, p. 537.
- [15] Feugrès, Energy Requirements for Vitrified Clay Drainage and Sewerage Systems, Ian Boustead et al., april 1983.
- [16] SPIN rapport Grofkeramische industrie (zoals door bureau PRé geïnterpreteerd in de database van SimaPro 3.0), RIVM, 1992.
- [17] Smit, J. R. K. (RIVM/LAE), "Productie van cement", SPIN, RIVM rapport nr. 736301136, RIZA notanr. 92.003/36, DGM, januari 1993.
- [18] Heijningen, R. J. J. (Van Heijningen Energie- en Milieu-advies), De Castro, J. F. M. (Castro Consulting Engineer), Worrell, E. (RUU, NW&S), "Energiekentalen in relatie tot preventie en hergebruik van afvalstromen", in het kader van het Nationaal Onderzoeksprogramma Hergebruik van Afvalstoffen (NOH), in opdracht van NOVEM (RIVM), NOH-rapport 9210, februari 1991.
- [19] Fraanje, P. et al., Interfacultaire Vakgroep Milieukunde Universiteit van Amsterdam (IVAM), "Milieubelasting van twee aanbruggen. Een pilot study", IVAM-onderzoeksreeks 57, mei 1992.
- [20] Kortman, J. G. M., Lim, R. G., "Minimalisering van de milieubelasting van niet-dragende binnenwanden in de woningbouw", Interfacultaire Vakgroep Milieukunde Universiteit van Amsterdam (IVAM), IVAM onderzoeksreeks nr. 65, mei 1993.
- [21] APME, "Eco-profiles of the European plastics industry. Report 2: olefin feedstock sources", Ian Boustead, Brussel, mei 1993.
- [22] SPIN, "Productie van titaanpigment", RIVM rapport nr. 736301122, 1992.
- [23] Manders-Maanders, E. H. C., "Milieumatenstudie van vier bouwverven. Een oefenproject", NOH-rapport 9223, mei 1992.
- [24] APME, "Eco-profiles of the European plastics industry. Report 4: polystyrene", Ian Boustead, Brussel, mei 1993.
- [25] CREM, KIWA, "Milieu-effecten van leidingsystemen van asbestcement, PVC, gietijzer, staal en glasvezelversterkte kunststoffen", in opdracht van VEWIN, SWE 91.035, samenvatting van SWE 91.023, 1992.
- [26] IVAM database LCA 1.0, mei 1995.
- [27] Heijmans Bouw Rosmalen, tel. informatie van dhr. Van den Meijdenberg, april 1995.
- [28] Babit Riooltechniek, brief LB 95/05.010, 17 mei 1995.

COLOFON

De serie van zeven handboeken onder de gezamenlijke titel Rioleringsstechniek is verzorgd door het Team for Scientific and Technical Publications & Industrial Design (TSTP) te Brouwershaven. De handboeken werden gezet uit de Times.

De milieubelasting van buismaterialen

Deel 6

Addendum:

LCA VAN BUIZEN VAN NODULAIR GIETIJZER
IN VERGELIJKING MET GEWAPEND BETON

De betreffende LCA-onderzoeken werden verricht op instigatie van Bonna Vianen, Vianen en Beton Son, locatie Arkel en vriendelijkerwijs aan de VPB voor publicatie ter hand gesteld.

In opdracht van de Vereniging van Producenten van Betonleidingsystemen VPB heeft het Instituut voor Materiaal- en Milieu-onderzoek INTRON bv in Sittard/Geldermalsen opnieuw een LCA-onderzoek (LCA= levenscyclusanalyse) uitgevoerd. Na het in kaart brengen van de milieu-aspecten van beton, pvc en gres zijn nu die van nodulair gietijzer op een rij gezet. Dat resulteert in een indicatieve LCA van buizen van voornoemd materiaal en in het verlengde daarvan de vergelijking met een qua functie gelijkwaardige betonnen buis, voorzien van wapening in de vorm van wapeningsstaal, voorspanstaal of een plaatstalen kern (INTRON-rapport nummer 95343 en bijlagen-rapport R95343B).

Zoals bekend stelt het Nederlandse milieugerichte productenbeleid dat producenten zelf milieugerichte informatie over hun producten moeten opstellen. Die wordt verkregen via een integrale ketenanalyse op basis van de LCA.

De milieugerichte LCA is uitgevoerd volgens de in opdracht van het ministerie van VROM door het Centrum voor Milieukunde van de Rijksuniversiteit Leiden (CML) ontwikkelde methode. Het Milieuberaad Bouw heeft die bestempeld tot de methode om milieugerichte informatie over bouwproducten op te stellen.

Net als dat bij pvc en gres het geval is, is bij nodulair gietijzer sprake van een volledige, zij het indicatieve LCA. Voor een niet-indicatieve LCA zou medewerking van de producenten van nodulair gietijzeren buizen een voorwaarde zijn. Milieuprofiel en milieumaten van nodulair gietijzer zijn dus gebaseerd op de recentste literatuurgegevens en openbare informatie over nodulair gietijzer. De aldus verkregen kentallen liggen daardoor naar verwachting in de juiste orde-grootte. Net als in de voorgaande onderzoeken is alleen de Nederlandse situatie in ogenschouw genomen.

FUNCTIONELE EENHEID

In de studie zijn twee ontwerpen in beton bekeken, waarop twee verschillende functionele eenheden van toepassing zijn:

1. 1 representatieve meter waterleidingbuis met een diameter van 700 mm die kan worden toegepast in een riool voor transport van drinkwater en communaal afvalwater richting rwzi, waarbij geen inwendige krachten worden uitgeoefend (drukloos);
2. 1 representatieve meter waterleidingbuis met een diameter van 700 mm die kan worden toegepast in een riool voor transport van drinkwater en communaal afvalwater richting rwzi, waarbij de inwendige krachten maximaal 6 bar bedragen.

Voor nodulair gietijzer geldt de functionele eenheid: 1 representatieve meter waterleiding van nodulair gietijzer met een diameter van 700 mm die kan worden toegepast in een stelsel voor transport van communaal afvalwater richting rwzi, waarbij de inwendige krachten de 6 bar niet te boven gaan.

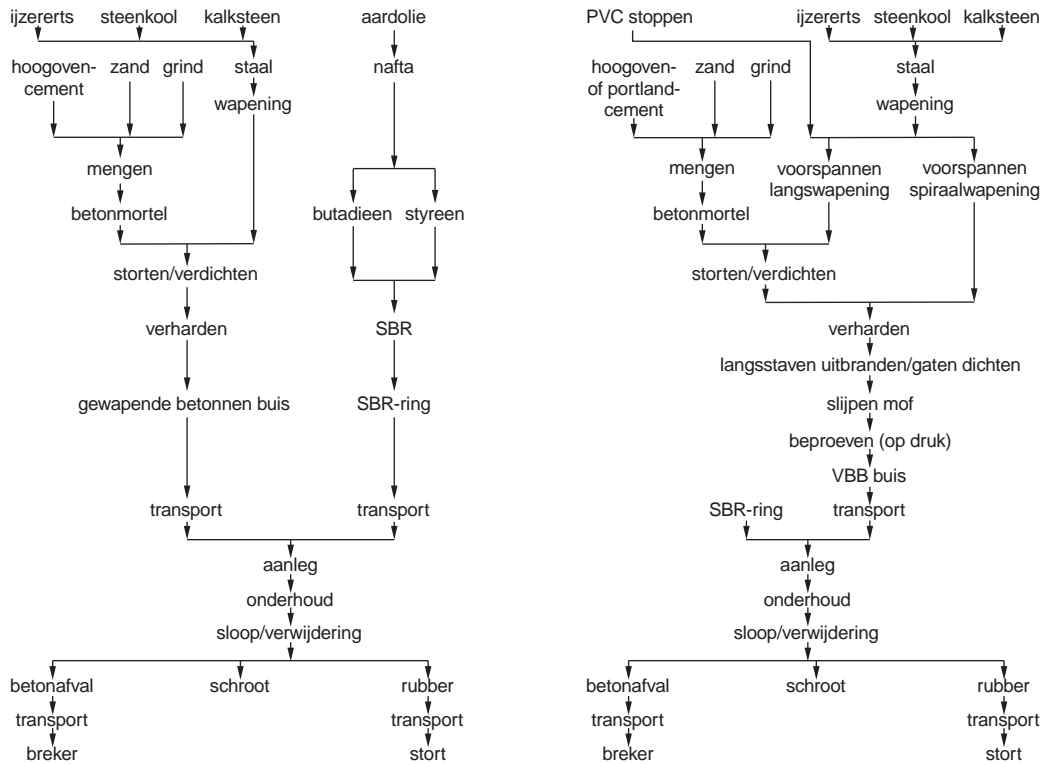
De functionele eenheden zijn alleen voor de onderscheidende aspecten uitgewerkt: productie (van de wieg tot het graf), transport naar de bouwplaats, verbinding van de buizen, transport naar de verwerker en afvalverwerking/recyclage. De ontwerp-levensduur van de leiding is voor alle varianten gelijk geacht (veertig jaar) en overschrijdt voor geen der buizen de technische levensduur.

GEWAPENDE BETONNEN BUIZEN

Beschouwd zijn drie typen van wapening voorziene betonnen buizen: gewapende buizen (GBB), voorgespannen buizen (VBB) en plaatstalen kern buizen (PLS). De laatste worden vanwege de inwendige krachten die kunnen ontstaan vooral in bochten toegepast. Een groot aantal grondstoffen en processen voor deze buizen is vergelijkbaar. De belangrijkste verschillen hebben betrekking op de totale massa's en de productiewijzen. Er kunnen twee ontwerpen worden onderscheiden. Het eerste voldoet aan functionele eenheid 1 en bestaat uit een combinatie van GBB en PLS-buizen (bochten) in een verhouding van 1.180 : 20. Functionele eenheid 2 is van toepassing op het tweede ontwerp. Het gaat hier om een combinatie van VBB en PLS-buizen (bochten) in een verhouding 948 : 52.

Classificatie/keuze milieu-effecten

Alle in de LCA geoperationaliseerde milieu-effecten zijn in beschouwing genomen. Ze zijn niet alle relevant. Zo is de uitputting van biotische (vernieuwbare) grondstoffen nul, omdat die niet worden verbruikt.



Figuur 1, links: globale procesboom van gewapend betonnen buizen

Figuur 2, rechts: globale procesboom van voorgespannen betonnen buizen

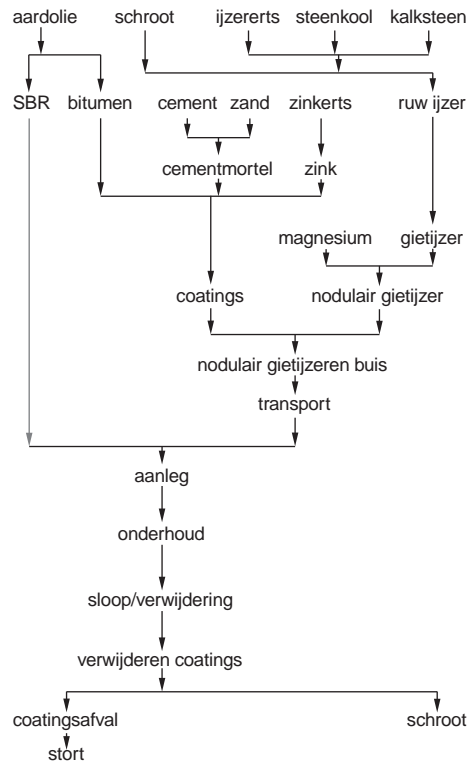
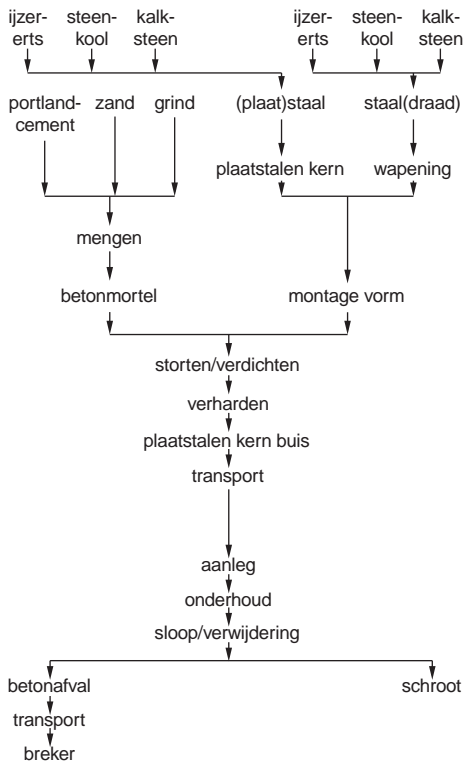
Milieuprofielen

De genormaliseerde milieuprofielen zijn grafisch weergegeven in de figuren 5 en 6 op pagina VI en VII.

Uit de genormaliseerde kentallen kan worden afgeleid aan welk milieuprobleem de gewapende betonnen buizen relatief het meeste bijdragen. Slechts door middel van weging kan aangegeven worden wat de ernst van elk milieu-effect is!

NODULAIR GIETIJZER

Gietijzeren buizen worden geleverd met twee coatingsystemen: een uitwendige PE-laag met inwendig een cementmortellaag en uitwendig een zink- en bitumenlaag met inwendig een cementmortellaag. In ons land worden voornamelijk de laatste toegepast. Daarom is alleen die variant meegenomen. De globale procesboom voor een gietijzeren buis staat in figuur 4.



Figuur 3, links: globale procesboom van plaatstalen kern buizen

Figuur 4, rechts: globale procesboom van nodulair gietijzeren buizen

Classificatie/keuze milieu-effecten

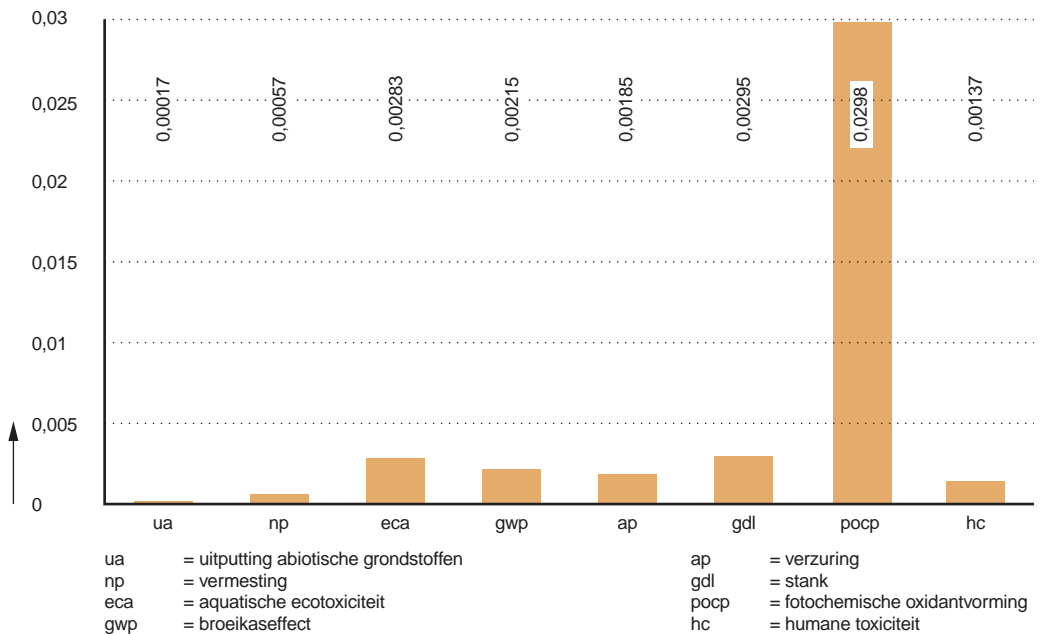
De milieu-effecten zijn niet alle relevant. Analoot aan de betonnen buizen is bijvoorbeeld van uitputting van biotische grondstoffen geen sprake.

Milieuprofiel

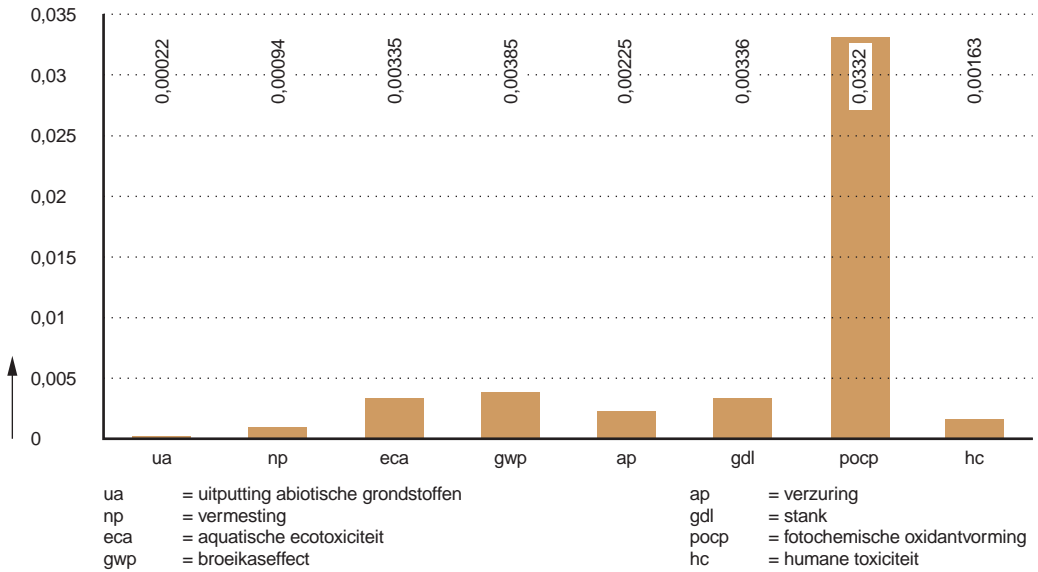
Figuur 7 is een grafische weergave van het genormaliseerde milieuprofiel van de nodulair gietijzeren buis.

EVALUATIE (VERGELIJKING GEWAPEND BETON/NODULAIR GIETIJZER)

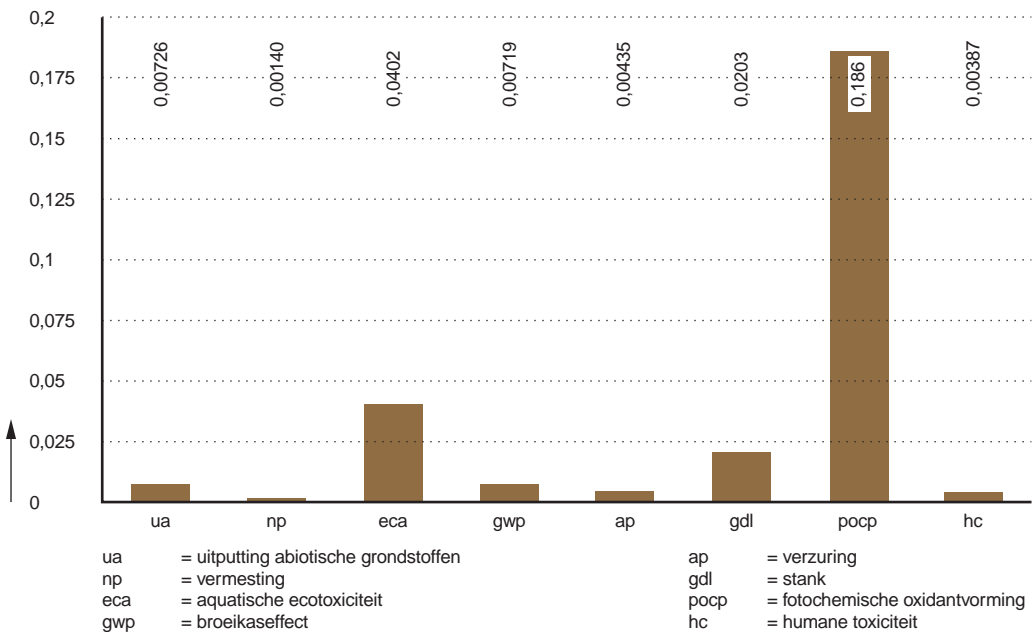
In de figuren 8, 9, 10, en 11 op de pagina's VIII en IX zijn de milieumaten van de functionele eenheden in beton (ontwerp 1 en 2) en die in nodulair gietijzer afgebeeld. Uit de LCA's blijkt dat de productie van de buis doorslaggevend is voor de totale milieubelasting en dat voor de twee ontwerpen in beton geldt dat ontwerp 1 (GBB/PLS, drukloos) over het algemeen beter scoort dan ontwerp 2 (VBB/PLS, max. 6 bar). Ieder ontwerp heeft echter zijn eigen toepassingsgebied, waardoor ze alleen al wat de technische eisen betreft niet vergelijkbaar zijn. Vergelijking op basis van milieumaten is daarom niet reëel.



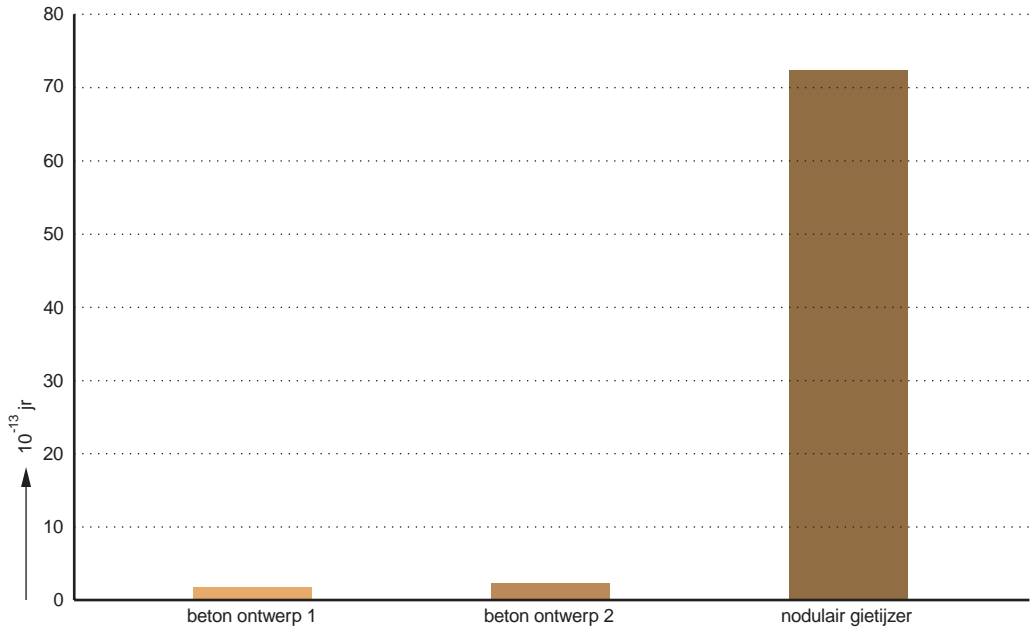
Figuur 5: grafische weergave van het genormaliseerde milieuprofiel van ontwerp 1 (drukloos)



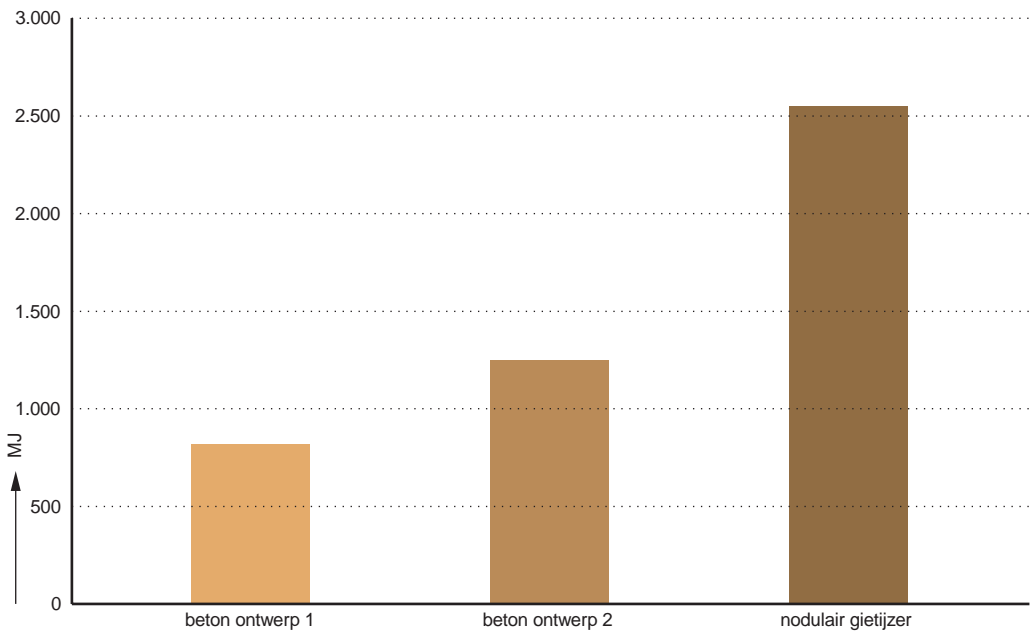
Figuur 6: grafische weergave van het genormaliseerde milieuprofiel van ontwerp 2 (inwendige druk max. 6 bar)



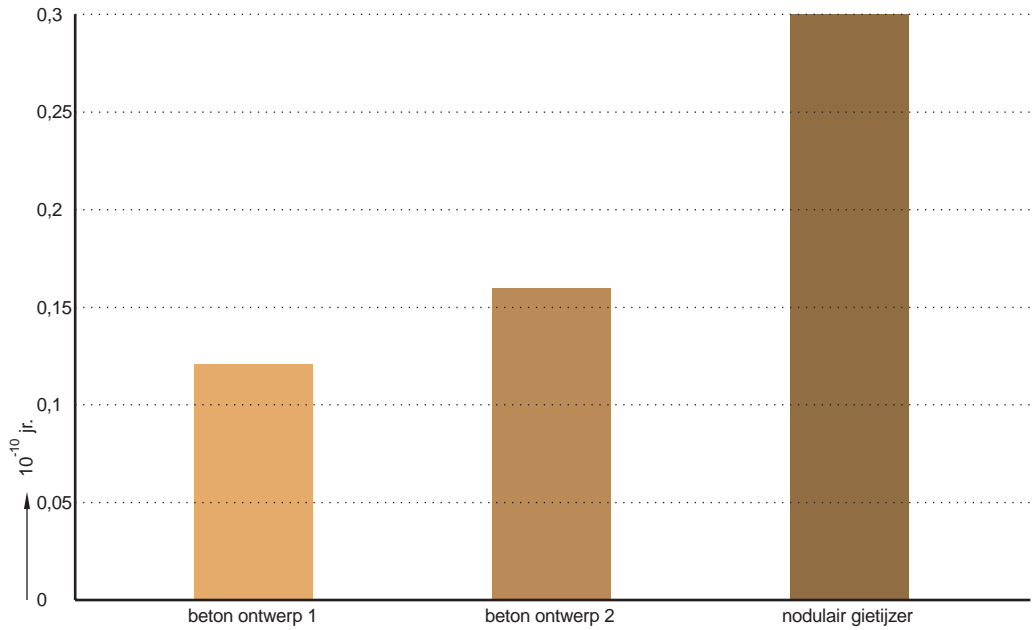
Figuur 7: grafische weergave van het genormaliseerde milieuprofiel van 1 representatieve meter waterleiding van nodulair gietijzer



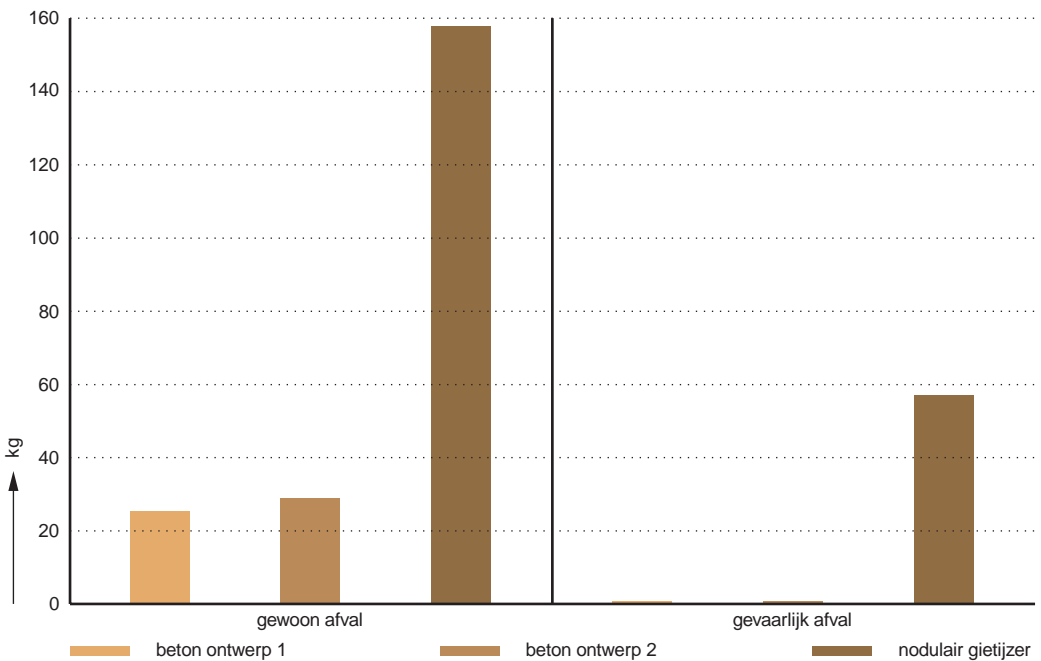
Figuur 8: milieumaat energie MJ/m 1e orde per functionele eenheid (1 representatieve meter rioolbuis)



Figuur 9: milieumaat grondstoffen per functionele eenheid (1 representatieve meter rioolbuis)



Figuur 10: milieumaat emissies per functionele eenheid (1 representatieve meter rioolbuis)



Figuur 11: milieumaat afval en gevaarlijk afval per functionele eenheid (1 representatieve meter rioolbuis)

CONCLUSIES

Vergelijking van de milieumaten van buizen van gewapend beton en van nodulair gietijzer wijst uit dat bij zowel drukloze toepassingen als bij die tot max. 6 bar **de betonnen varianten op alle milieumaten beter scoren**. In het geval van nodulair gietijzer is dan bovendien nog gekozen voor een best case-scenario: aangenomen is dat de bijdrage aan de milieubelasting van de processen waarvan de gegevens ontbreken verwaarloosbaar klein is. Worden die processen wel meegewogen, dan zal de totale milieubelasting van die buis hoger uitvallen, vooral voor de milieumaten energie en emissies.

LITERATUURVERZICHT

- [1] Schuurmans, A., Bijen, J. (INTRON), "Milieuprofiel en milieumaten van een betonnen buitenriolerings", INTRON-rapport 95027, juni 1995
- [2] Schuurmans, A., Bijen, J. (INTRON), "Indicatieve LCA van pvc en gres rioolbuizen in vergelijking met beton", INTRON-rapport 95195, augustus 1995
- [3] Guinée, J. et al. (CML), A. Ansems, P. Eggels (TNO), H. de Goede, R. van Duin (Bureau Brand- en Grondstoffen B&G), "Milieugerichte LCA van producten", deel 1: Handleiding; deel 2: Achtergronden, NOH-rapport 9253/54, oktober 1992
- [4] Mondelinge mededeling werknemers Heijmans bv, januari 1995
- [5] Rioned, verslag symposium "Ervaringen met rioolrenovaties", 3 november 1994, Bunnik
- [6] Rioned/NVA-symposium "Veiligheid en arbeidsomstandigheden", 30 september 1994, Amsterdam
- [7] Nota Gegrond Ontgronden
- [8] CREM, KIWA, "Milieu-effecten van leidingssystemen van asbestcement, pvc, gietijzer, staal en gvk", in opdracht van VEWIN, SWE 91035, samenvatting van SWE 91023, 1992
- [9] Pont-à-Mousson, "A comprehensive ductile iron Pipeline System", 1992
- [10] Nationaal Milieubeleidsplan 1989 en Nationaal Milieubeleidsplan plus, bijlage 2: "Duurzaam bouwen", TK vergaderjaar 1989-1990, 21137, nr. 22
- [11] Nationaal Milieubeleidsplan 2, december 1993
- [12] Nota Produkt & Milieu, VROM, december 1993
- [13] Hoefnagels, F. et al., IVAM, "Minimalisering van de milieubelasting van buitenkozijnen in de woningbouw", IVAM-onderzoekreeks nr. 54, maart 1992
- [14] Roskamp, H., Hoefnagels, F. (CREM), "Drie bestemmingen van fosforgips: een LCA-leerproject", in opdracht van Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, DWW-rapport MAO-R 94036 (CREM-rapport 93049), 16 mei 1994
- [15] Guinée, J. (CML), "Data for the Normalisation Step within Life Cycle Assessment of Products", CML-paper 14, Leiden, september 1993
- [16] Corten, F. et al. (CE), "Weging van milieu-effecten voor het produktbeleid. Verslag fase 1", Delft, 6 september 1994
- [17] Schuurmans, A., Bijen, J., "MBB Milieumaten in de bouw. Fase 1: milieumaten van de bouwproductgroepen niet-dragende binnenwanden, dakgootsystemen en bouwverven", INTRON-rapport 94215, november 1994
- [18] CML, "Milieugerichte LCA van steenwol als isolatiemateriaal", CML-rapport 114, juli 1994
- [19] Schriftelijke informatie stichting Zand Nijmegen, brief kenmerk PvS/AR930267, 9 juli 1993
- [20] Schriftelijke informatie stichting Grind, Heel, C. van Deusen, brief kenmerk vDeu/ms/93824, 9 augustus 1993
- [21] a. Gesprek INTRON en ing. J. Koekkelkoren, Nederlandse Vereniging van Producenten en Importeurs van Wegen- en Waterbouwmaterialen", 21 juli 1993;
b. brief van ing. J. Koekkelkoren, 23 augustus 1993
- [22] Gijzen, R. et al., "Betonnen riolerings: bundeling van een serie artikelen eerder verschenen in het maandblad Cement 1989-1991", Den Bosch, VNC, 1991
- [23] Digital of United Kingdom Energy Statistics, HMSO, London
- [24] Gegevens VNC, 1993
- [25] Van Heijningen, R. (Van Heijningen Energie- en Milieu-advies), De Castro, J. (De Castro consulting engineer), Worrell, E. (RUU, NMW&S), "Energiekentallen in relatie tot preventie en hergebruik van afvalstromen", in het kader van het Nationaal Onderzoeksprogramma Hergebruik van Afvalstoffen (NOH), NOH-rapport 9210 i.o.v. NOVEM/RIVM, februari 1991
- [26] Boustead, I., "Eco-profiles of the European Plastics Industry, Report 2: Olefin Feedstock Sources", in opdracht van European Centre for Plastics in the Environment PWMI, Brussel, mei 1993
- [27] Telefonische informatie de heer Van den Meijdenberg, Heijmans Bouw, Rosmalen
- [28] Telefonische informatie Martens beton, april 1995
- [29] Fax Aannemingsbedrijf Van Lee aan Bonna Vianen, 20 april 1995
- [30] Van Heijningen, R. (Van Heijningen Energie- en Milieu-advies), De Castro, J. (De Castro consulting engineer), Worrell, E. (RUU, NMW&S), Hazewinkel, J. (Milieu-adviesbureau Infoplan bv), "Meer energiekentallen in relatie tot preventie en hergebruik van afvalstromen", in het kader van het NOH, NOH-rapport 9210 i.o.v. NOVEM/RIVM, december 1992