

Milieuanalyses PVC

Ten behoeve van prioritaire stromen ketengericht afvalbeleid

Eindrapport

Harry van Ewijk

Amsterdam, 21 april 2010



IVAM

research and consultancy on sustainability

Plantage Muidersgracht 14 - 1018 TV Amsterdam - Postbus 18180 - 1001 ZB Amsterdam
Tel. 020-525 5080, Fax 020-525 5850, internet: www.ivam.uva.nl, e-mail: office@ivam.uva.nl

Colofon

ISO Doc. nr.	1012-o
Titel	Milieu-analyse PVC
	Ten behoeve van prioritaire stromen ketengericht afvalbeleid
Auteur(s)	Ir H.A.L. van Ewijk
Interne review door	Dr N. Jonkers

Deze rapportage is tot stand gekomen in opdracht van het ministerie van VROM.

Contactpersonen opdrachtgever:

Robbert Thijssen (VROM) en Guus van den Berghe (AgentschapNL)

Voor meer informatie over deze rapportage kunt u contact opnemen met:
Harry van Ewijk via hvewijk@ivam.uva.nl of 020 525 5080.

Gegevens uit deze rapportage mogen worden overgenomen mits onder uitdrukkelijke bronvermelding. IVAM UvA b.v. aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Samenvatting	1
1. Inleiding	3
1.2 Doel	3
1.1 Aanleiding	3
1.3 Leeswijzer	3
2. Methode	5
2.1 Werkwijze	5
2.1.1 PVC nulmeting en alternatieven	5
2.2 Scope & afbakening	5
2.3 Data	8
2.4 Impact assessment, milieuthema's & weegmethode	8
2.4.1 ReCiPe	8
2.4.2 ReCiPe combineert mid- and endpoints	9
2.4.3 Korte toelichting per ReCiPe midpoint	11
3. Inventarisatie	13
3.1 PVC productie	13
3.1.1 Chloor productie	13
3.1.2 Vinylchloride productie	15
3.1.3 Polyvinylchloride productie	16
3.2 Additieven en vormgevingstechnieken	17
3.2.1 Additieven	17
3.2.2 Vormgevingstechnieken	19
3.3 Productie kozijn, buis, kabels	20
3.3.1 Productie van een PVC kozijn	20
3.3.2 Productie van een PVC leiding/buis	21
3.3.3 Productie van kabels	21
3.4 Gebruik van kozijn, buis, kabels	22
3.4.1 Gebruik van kozijnen	22
3.4.2 Gebruik van leidingen/buizen	23
3.4.3 Gebruik van kabels	23
3.5 Afdanking kozijn, afvoerbuis, kabelmantel	24
3.5.1 AVI	24
3.5.2 Stort	25
3.5.3 Recycling algemeen	25
3.5.4 Kozijnen recycling	26
3.5.5 Buizen recycling	27
3.5.6 Kabels recycling	27
4. Resultaten PVC	29
4.1 PVC kozijnen	29
4.2 PVC buizen	33
4.3 PVC kabels	35

5.	Alternatieven voor PVC	39
5.1	Kozijnen	39
5.2	Buizen	40
5.3	Kabels	42
6.	Conclusies en aanbevelingen	45
	Bronnen	47
	Bijlage 1: ReCiPe factoren	49
	Bijlage 2: Window frame, plastic (PVC) in Ecoinvent	51
	Bijlage 3: Resultaattabellen behorend bij de figuren	53

Samenvatting

Ketengericht Afvalbeleid is een nieuwe aanpak in het kader van het Tweede Landelijk Afvalbeheerplan (LAP2). Voor zeven prioritaire materiaalstromen zal gedurende de tweede planperiode (2009-2015) de ketenaanpak in het afvalbeleid verder worden ingevuld. Richtinggevende doelstelling is om 20% vermindering van milieubelasting over de keten te realiseren in 2015.

Eén van deze stromen is polyvinylchloride (PVC). De voorliggende studie geeft een analyse van de milieubelasting voor PVC kozijnen, PVC leidingen en PVC kabels en snoeren. Uitgangspunt is een LCA-benadering waarbij gebruik gemaakt wordt van de recente impactmethode ReCiPe. Voor de genoemde PVC-toepassingen worden twee zaken bekeken. Enerzijds wordt de milieubelasting van PVC in de betreffende toepassing bekeken over de hele keten - van de huidige PVC productie, het gebruik en de afvalverwerking - waarbij het effect van verschillende vormen van afvalbewerking wordt belicht. Daarnaast worden de betreffende PVC-toepassingen vergeleken met het gebruik van alternatieve materialen. Voorzover het de vergelijking tussen diverse materialen betreft wordt niet volledig voldaan aan de LCA normen ISO14040/44, dat wil zeggen dat niet alle belanghebbenden zijn betrokken (voor de andere materialen dan PVC is slechts teruggevallen op standaardgegevens uit internationale bronnen) en er geen externe review heeft plaatsgevonden.

De belangrijkste conclusies zijn:

- Over de productie van het PVC polymeer zelf is veel bruikbare informatie voorhanden. Voor de toevoegingen (met name stabilisatoren en weekmakers) die het PVC de gewenste materiaaleigenschappen geven, is dat niet het geval, terwijl bijvoorbeeld zacht PVC, toegepast als kabelmantel, voor 30% uit weekmaker bestaat.
- Zowel voor kozijnen als voor leidingen is recycling zeer lonend (positief milieueffect in vergelijking tot verbranden en storten). Deze winst wordt behaald doordat veel primair PVC wordt uitgespaard. Het verhogen van de recycling van PVC biedt reductiepotentieel. Voor zacht PVC is dit minder zeker omdat voor recycling onvoldoende gegevens zijn gevonden om dit met een LCA door te rekenen. Gelet op de uitkomsten voor hard PVC mag er echter - zelfs wanneer er rekening mee wordt gehouden dat recycling van zacht PVC minder gunstig is dan van hard PVC omdat het bijvoorbeeld minder primair PVC uitspaart - vanuit gegaan worden dat ook voor zacht PVC recycling milieuwinst oplevert ten opzichte van verbranden en storten.

Enkele kanttekeningen zijn

- Voor nauwkeurige uitspraken is het is zaak de inventarisatie van de recyclesystemen (inzet van energie en emissies voor de scheiding, reiniging en granuleren van PVC) te verifiëren. De data waarop alle recycleresultaten in dit rapport zijn gebaseerd komen van één bron (VKG MRPI dossier).
- Voor nascheiding is - bij gebrek aan betere data - dezelfde mate van uitval aangenomen als voor het systeem van gescheiden inzameling van kozijnen. Enerzijds kan dit betekenen dat nascheiding iets te positief wordt neergezet omdat de mate van uitval daar groter kan zijn. Anderzijds richt nascheiding zich primair op hergebruik in leidingen wat iets minder strikte eisen stelt dan hergebruik in kozijnen (en dus tot minder uitval hoeft te leiden).
- Omdat zowel hergebruik in leidingen als hergebruik in kozijnen als belangrijkste voordeel het uitsparen van de productie van primair PVC heeft, maakt het in deze studie geen verschil of PVC een de oorspronkelijke toepassing wordt gerecycled (kozijnen als kozijnen en buizen als buizen) of dat dit door elkaar loopt.
- Het afsluiten en in de grond achterlaten van niet meer gebruikte buizen en leidingen - hetgeen in ieder geval tot voor kort nog wel gebeurde - is vanuit duurzaamheid geen goede optie. De

achtergelaten materialen veroorzaken lokaal weliswaar geen milieuproblemen maar het niet uitsparen van de productie van primair PVC doordat het materiaal achterblijft en niet wordt hergebruikt is milieuhygiënisch gezien een relevante 'gemiste kans'.

- Voor kozijnen lijkt inzetten op recyclen hét alternatief. Van de onderzochte alternatieve materialen voor kozijnen heeft aluminium nagenoeg dezelfde milieubelasting als PVC, terwijl hout minder goed scoort wanneer effecten van landgebruik onverkort worden meegenomen, en in dezelfde ordegrutte wanneer landgebruik buiten beschouwing blijft. Cruciaal hierbij is wel dat PVC-kozijnen daadwerkelijk worden gerecycled. In het geval zij worden verbrand scoort aluminium - waarvoor wel vast staat dat dit in hoge mate wordt gerecycled - beter dan PVC.
- Ook voor buizen lijkt het opschalen van recycling de manier om tot reductie te komen. PVC doet het van de onderzochte materialen in deze toepassing het best, mits er wordt gerecycled. In het geval PVC-buizen niet worden gerecycled scoort beton gunstiger (er vanuit gaande dat daarvoor recycling wel zeker is).
- Overgaan van PVC naar rubber vergroot bij elektriciteitskabel de milieubelasting. Het verkennen van de mogelijkheden voor verdere recycling van PVC bij kabels lijkt, gezien de resultaten bij kozijnen, vanuit LCA oogpunt een goede optie. Specifieke data over recyclen van PVC kabel bruikbaar in een kwantitatieve milieuanalyse ontbreekt vooralsnog.

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

In het kader van de nieuwe ketenaanpak in het Tweede Landelijk Afvalbeheerplan (LAP2) is een aantal prioritaire afvalstromen geselecteerd. Met behulp van deze stromen zal gedurende de tweede planperiode (2009-2015) de ketenaanpak in het afvalbeleid verder worden ingevuld. Voor elk van de zeven geselecteerde stromen zal daarom een plan van aanpak worden opgesteld om 20% vermindering van milieudruk over de keten te realiseren in 2015. Een van de zeven prioritaire stromen is polyvinylchloride (PVC)¹.

Ter ondersteuning van het plan van aanpak is een milieuanalyse nodig van zowel de 'status quo' (nulmeting), als een beoordeling van het reductiepotentieel van een aantal alternatieven. Deze nulmeting moet uiteraard een beeld geven van de huidige situatie, maar kan ook inzicht geven in mogelijke aangrijpingspunten voor verbetering.

1.2 Doel

Het centrale doel van dit project is het uitvoeren van de nulmeting van de milieubelasting van de PVC stroom. In deze nulmeting wordt de hele keten vanaf de ruwe grondstoffen tot en met de afvalfase meegerekend, zodat niet alleen duidelijk wordt hoe groot de impacts zijn, maar ook waar deze impacts precies ontstaan. Mede op basis van de nulmeting worden een aantal verbeteropties aangewezen, en zo wordt een beoordeling gemaakt van de potentieel te behalen milieuwinst.

1.3 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de nulmeting voor de PVC stroom en de alternatieven om tot vermindering van de milieudruk te komen. Bij gebrek aan accurate data over hoeveelheden PVC per toepassing² worden alle resultaten gepresenteerd per gewichtseenheid (toegepast) PVC en per kenmerkende vergelijkingseenheid (vierkante meter, strekkende meter afhankelijk van de productcategorie). Dit betekent ook dat wanneer de resultaten voor bijvoorbeeld recycling worden gepresenteerd, het 100% recycling betreft³. De lezer kan zodoende zelf een scenario opbouwen met een verdeling over stort, verbranden en recycling. In hoofdstuk 2 wordt de methode toegelicht. Hier wordt onder andere beschreven voor welke afbakening is gekozen, welke bronnen gebruikt zijn, welke milieuthema's meewegen en welke wegingsmethode gebruikt is. Hoofdstuk 3 bevat de inventarisatie. Hoofdstuk 4 geeft de resultaten weer: de impact per eenheid PVC voor winning, productie, gebruik en afvalverwerking. In hoofdstuk 5 wordt voor de verschillende alternatieven gepresenteerd wat hun milieu-impact is. Hoofdstuk 6 bevat de conclusies en aanbevelingen. Bijlage 3 bevat de tabellen behorende bij de figuren in het hoofdrapport.

¹ De andere 6 stromen zijn textiel, bouw- en sloopafval, grof huishoudelijk afval, papier en karton, aluminium en voedselresten. Voor deze stromen is een eigen 'nulmeting' gedaan. Dit rapport betreft uitsluitend PVC.

² Een separaat onderzoek naar de omvang van de stromen is april 2010 gestart.

³ Behoudens uitval die inherent is aan de recyclingsroute en die vervolgens alsnog volgens een andere route is verwerkt.

2. Methode

2.1 Werkwijze

In dit rapport wordt de milieubelasting van de PVC subketens kozijnen, buizen en kabels (aan wit- en bruingoed en draden in leidingen) met verbeteropties gepresenteerd.

2.1.1 PVC nulmeting en alternatieven

De PVC nulmeting en alternatieven betreffen:

1. Kozijnen
 - Alternatieven zijn recycling, verbranden en storten.
 - Daarnaast is een vergelijking tussen PVC, aluminium en hout opgenomen.
2. Leidingen/buizen (hard PVC)
 - Alternatieven zijn recycling, verbranden en storten.
 - Daarnaast is ook het alternatief afvoerbuizen ‘afsluiten en achterlaten zonder ze op te graven’ (dus geen verwerking) bekeken.
 - Tot slot is een vergelijking gemaakt tussen afvoerbuizen van PVC met gres, beton en polyetheen.
3. Kabels (aan wit- en bruingoed en draden in leidingen = zacht PVC) en installatiedraad
 - Alternatieven zijn strippen (om het koper) en PVC vervolgens naar stort, verbranden of recycling.
 - Daarnaast is bekeken wat bij uitvoer naar bijvoorbeeld China gebeurt: kabelbranderijen, met luchtmissies als dioxinen.
 - Tot slot is tevens gekeken naar een vergelijking met tussen PVC en rubber voor deze toepassing.

Voorzover het de vergelijking tussen diverse materialen betreft wordt niet volledig voldaan aan de LCA normen ISO14040/44, dat wil zeggen dat niet alle belanghebbenden zijn betrokken (voor de andere materialen dan PVC is slechts teruggevallen op standaardgegevens uit internationale bronnen) en er geen externe review heeft plaatsgevonden.

2.2 Scope & afbakening

PVC-keten

De nulmeting dient als ondersteuning om de ketenaanpak van het afvalbeleid in te vullen, waarbij wordt uitgegaan van de hoeveelheid PVC-afval die in Nederland jaarlijks ontstaat.

Er is begin 2010 een separaat onderzoek gestart naar de hoeveelheden PVC die vrijkomen in de verschillende subketens. Om deze reden worden de LCA resultaten in dit rapport per massa-eenheid (of eenheid product waarin PVC is toegepast) weergegeven, voor zover mogelijk apart voor de ketenstappen “winning”, “productie”, “gebruik” en “afval” (afdanke). Wanneer de volumeresultaten uit het aanvullend onderzoek bekend zijn dan kan de bijbehorende milieubelasting van huidige situatie en verbeteropties eenvoudig worden berekend.

Systeemafbakening

De gehele productketen wordt beschouwd, dus vanaf de ruwe grondstoffen tot en met de afvalfase:

- grondstofwinning
- productie (bulk) materiaal
- vormgeving (zoals extrusie en spuitgieten)
- gebruik en onderhoud
- afdankingsalternatieven

- transport en energiegebruik in de genoemde stappen, inclusief productie van de energiedragers.

In hoofdstuk 3 is meer in detail aangegeven welke zaken per PVC subketen zijn meegenomen.

Allocatie

In LCA speelt allocatie bij een drietal processen:

- multi-input processen, zoals afvalverwerking;
- multi-output processen, zoals chloorproductie (waarbij ook waterstof, NaOH en NaOCl vrijkomen);
- allocatie van vermeden emissies of productie, in het geval van recycling.

In deze nulmeting is voor multi-input en multi-output processen gebruik gemaakt van economische allocatie. Bij economische allocatie gaan we er vanuit dat het 'coproduct' dat het meeste oplevert, in financiële zin, ook verantwoordelijk is voor het grootste deel van de milieu-impact van de voorgaande keten. Hierbij is weliswaar enige variabiliteit in de loop van de tijd mogelijk, maar als gekeken wordt naar langjarige gemiddelden dan is dit over het algemeen beperkt.

Een allocatie van vermeden emissies of productie speelt in het geval van recycling van materialen in open kringloop. Als materiaal uit keten A wordt ingezet in keten B dan is er in het algemeen sprake van vermeden productie (met bijbehorende emissies), maar het is niet eenduidig welke keten hiervoor 'verantwoordelijk' is. In theorie zou in dergelijke situaties systeemuitbreiding kunnen worden toegepast, maar zoals in de projectbijlage is gesteld is dit niet wenselijk. In de PVC keten speelt dit bij afvalverwerking: inzet van recyclaat (zie paragraaf 3.5.1) en terugwinning energie in AVI. We hebben de winst van deze vermeden productie in alle gevallen 100% toegerekend.

Kortcyclisch CO₂

In een LCA is het belangrijk om een beslissing te nemen over hoe kortcyclisch CO₂ meegenomen wordt in de analyse. Biotische grondstoffen als hout nemen in de productiefase immers CO₂ op. In de afvalfase komt deze CO₂ weer vrij. Er zijn dus twee mogelijkheden:

1. De opgenomen CO₂ meerekenen als hij wordt opgenomen aan het begin van de keten, en ook als hij weer vrijkomt aan het eind van de keten.
2. Kortcyclische CO₂ buiten beschouwing laten.

Voor een Cradle-to-Grave LCA, waarin de complete keten wordt meegenomen, maakt het niet uit welke mogelijkheid gekozen wordt. De resultaten per ketenstap zullen verschillend zijn, maar het overall resultaat is hetzelfde. Voor een Cradle-to-Gate LCA, waarin alleen de emissies tot en met productie worden meegenomen, leveren de verschillende methodes echter een verschillend resultaat op. Wordt er voor gekozen kortcyclische CO₂ mee te rekenen, dan wordt bij een Cradle-to-Gate LCA de kortcyclische CO₂ wel opgenomen in het product, maar omdat de afvalfase niet meegerekend wordt, wordt de uitstoot van kortcyclische CO₂ ook niet meegerekend. Wordt er voor gekozen kortcyclische CO₂ buiten beschouwing te laten, dan wordt de opname van kortcyclische CO₂ in het product niet meegerekend, waardoor er bij de Gate een verschil tussen de twee benaderingen is ter grootte van de CO₂-opname⁴. In deze studie speelt dit geen rol omdat we hier geen 'Cradle to Gate' maar een 'Cradle to Grave' benadering hanteren.

⁴ Dit is in praktijk met name lastig bij Cradle-to-Gate LCA's waarin fossiele en biotische producten vergeleken worden.

Alleen als het kortcyclisch CO₂ wordt omgezet in methaan, zoals bij spijsvertering van met name herkauwers (productie van vlees, melk), dan zou strikt genomen de karakterisatiefactor (*global warming potential*) van methaan moeten worden gecorrigeerd⁵. In deze studie over PVC speelt dit echter geen rol.

Binnen de in deze studie gebruikte impactmethode, ReCiPe (zie paragraaf 2.3), wordt kortcyclische CO₂ volledig buiten beschouwing gelaten en dat is in deze studie dan ook gedaan. Dit betekent dat cijfers voor de productie van biotische materialen (hout, voedsel) geen CO₂ opname bevatten en cijfers voor afvalverwerking van deze materialen geen emissies van CO₂. Over de hele keten is het effect netto nul, maar het is wel relevant voor de vraag welke fase van de levenscyclus de grootste milieu-impact heeft. Voor dit rapport heeft deze keuze overigens nauwelijks effect omdat kortcyclisch CO₂ feitelijk geen rol speelt, maar voor andere prioritaire stromen (zie paragraaf 1.1) kan dit anders zijn.

Landgebruik en LULUCF⁶

Landgebruik is een belangrijk thema, maar het heeft een aparte status ten opzichte van de andere te beschouwen thema's. Landgebruik op zich is in feite geen milieubelasting maar een 'milieu-ingreep' die tot effecten leidt, zoals verlies aan biodiversiteit, veranderde waterhuishouding, et cetera. Al deze effecten zijn in grote mate afhankelijk van de precieze locatie waar het landgebruik optreedt en dit is in een levenscyclusinventarisatie over het algemeen slecht in kaart te brengen. Omdat de effecten potentieel zeer belangrijk zijn, is landgebruik als indicator opgenomen. Het al of niet meenemen van landgebruik is bijvoorbeeld cruciaal in het beoordelen van recycling van hernieuwbare materialen zoals hout.

Daarnaast kan er sprake zijn van landtransformatie (land use change; LUC), zoals ontbossing voor nieuwe landbouwgronden. Hierbij treden zeer significante verliezen van biodiversiteit op en daarnaast emissies van broeikasgassen. Het precies toerekenen van landtransformatie aan een bepaald product is lastig, omdat het meestal ondoenlijk is een product terug te traceren tot een bepaald stuk landoppervlak. Vanwege deze onduidelijkheid wordt LUC en de effecten van LUC niet meegenomen in de nulmetingen van de prioritaire stromen. Ook sinks⁷ en emissies als gevolg van landgebruik worden niet meegerekend.

Voor bijvoorbeeld voedselketens - wat één van de 6 andere prioritaire stromen is die naast PVC centraal staan in de in hoofdstuk 1 van dit rapport genoemde ketenaanpak in LAP2 - betekent dit zeer waarschijnlijk een onderschatting van de totale impact, omdat in diverse ketens sprake is van ontbossing en van intensieve landbouwpraktijken. Beide hebben een belangrijke invloed op de soortenrijkdom en de koolstofhuishouding. Vanwege grote onzekerheid in zowel meting als toerekening van deze effecten is dit zoals gezegd buiten beschouwing gelaten. Dit betekent uiteraard dat het ook bij het berekenen van verbeteropties buiten beschouwing moet worden gelaten. Hiermee is dus zowel de nulmeting als het reductiepotentieel in absolute zin lager. Bij eventuele reductiemaatregelen moet wel worden opgelet dat deze niet tot toename van landtransformatie leiden, aangezien dit buiten beeld valt. Bij de analyse van de PVC stroom spelen landgebruik, kortcyclisch CO₂ en emissies door LULUCF een relatief kleine rol, vergeleken met bijvoorbeeld voedselketens. In dit rapport speelt dit eigenlijk alleen een rol voor kozijnen de vergelijking tussen PVC en hout (paragraaf 5.1).

⁵ Dit wordt o.a. voorgeschreven in de PAS2050-richtlijn, maar buiten die context wordt het in praktijk (nog) weinig toegepast.

⁶ Land Use, Land Use Change and Forestry.

⁷ Opslag van koolstof in de bodem als gevolg van natuurlijke processen.

2.3 Data

Er is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van openbare procesdatabases (zoals bijvoorbeeld de Ecoinvent LCI⁸ database en IVAM LCA Data) en andere gerapporteerde LCA studies. Deze zijn veelal gericht op gemiddelde Europese of zelfs wereldwijde productie. Voor subketens die aangrijpen op Nederlandse consumptie zijn zulke data in het algemeen goed representatief. Wanneer er keus is uit meerdere processen, en er zijn geen of slechts lichtwegende argumenten voor één van de processen, dan heeft gebruik van Ecoinvent de voorkeur omwille van de systematische aanpak aldus fouten bij vergelijking (door gebruik van bijvoorbeeld verschillende achtergronddata) voorkomend. Daarnaast zijn data verzameld bij betreffende bedrijfstakken, bijvoorbeeld via de Vereniging Kunststof Gevelelementenindustrie (VKG) en het Buizen Inzamel Systeem (BIS), en uit literatuurbronnen.

De gebruikfase is wel in beschouwing genomen, maar later in dit rapport wordt onderbouwd dat de impact daarvan nihil is en wordt het voor de berekeningen uiteindelijk niet meegenomen. Voor PVC kozijnen betreft het m.n. warmtetransport door kozijnen en onderhoud in de vorm van wassen/reinigen en - puur esthetisch – lakken. Bij kabels betreft het waarschijnlijk ook het vrijkomen van weekmakers. Bij buizen is nauwelijks sprake van onderhoud tot aan het einde van de levensduur. De afvalverwerking is Nederlands, met uitzondering van het deel van het PVC-afval dat geëxporteerd wordt voor hergebruik.

Bij de inventarisatie worden kapitaalgoederen in principe buiten beschouwing gelaten. In databases zoals Ecoinvent is het op dit moment echter nog niet mogelijk om kapitaalgoederen consequent uit te sluiten. Op sommige impactcategorieën, zoals ecotoxiciteit, kunnen kapitaalgoederen belangrijk bijdragen, zoals bijvoorbeeld via metalen infrastructuur in fossiele productieketens. Dit zal in voorkomende gevallen uit de zwaartepuntanalyses naar voren komen en dan indien nodig worden bijgesteld.

2.4 Impact assessment, milieuthema's & weegmethode

Nadat in de LCA-methode het doel en het kader zijn vastgesteld en data zijn verzameld, wordt een totaal inventarisatieresultaat berekend. Dit inventarisatieresultaat is een lange lijst van emissies, verbruikte grondstoffen en soms ook andere onderwerpen. De interpretatie van deze lijst is moeilijk. Een levenscyclusimpact beoordeling (life cycle impact assessment, LCIA) methode helpt bij de interpretatie. De LCIA resultaten in dit rapport zijn berekend met de ReCiPe methode, die voortbouwt op de veelgebruikte Eco-indicator 99 en CML 2 methoden.

2.4.1 ReCiPe

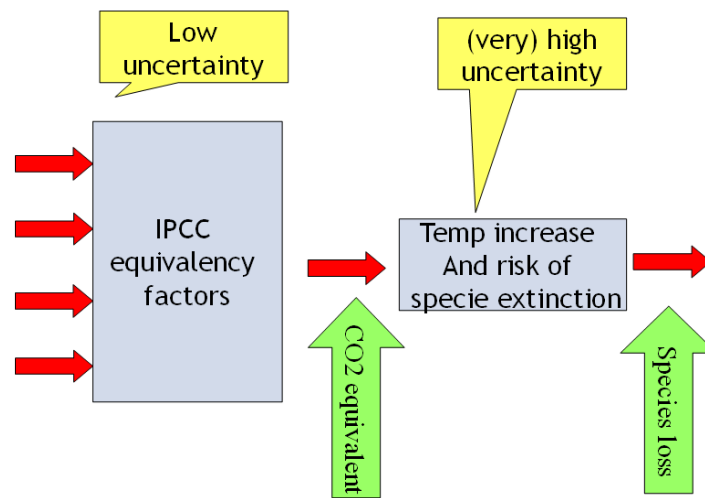
Het hoofddoel van de ReCiPe methode is om de lange lijst met inventarisatie resultaten om te zetten in een beperkt aantal indicator scores. Deze indicator scores geven de relatieve ernst van een milieu-impact categorie weer. In ReCiPe worden indicatoren op drie niveaus onderscheiden:

1. Achttien midpoint indicatoren
2. Drie endpoint indicatoren
3. Een single score indicator

ReCiPe gebruikt een milieumechanisme als basis voor de modellering. Een milieumechanisme kan worden gezien als een reeks van effecten (oorzaak-gevolgketen) die samen een bepaald niveau van schade veroorzaken aan bijvoorbeeld humane gezondheid of ecosystemen. Voor klimaatverandering bijvoorbeeld weten we dat een aantal stoffen de stralingsforcering laten toenemen, hetgeen betekent dat voorkomen wordt dat warmte wordt uitgestraald van de aarde naar de ruimte. Het resultaat is dat meer energie op

⁸ LCI = Life Cycle Inventory, de data op ingreepniveau waaruit de milieu-impact kan worden berekend.

aarde blijft en dat de temperatuur stijgt. Als gevolg daarvan kunnen we verwachten dat veranderingen in natuurlijke leefomgeving voor levende organismen optreden, met als mogelijke consequentie dat soorten kunnen uitsterven. Dit voorbeeld wordt weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Voorbeeld van een geharmoniseerd midpoint-endpoint model voor klimaatverandering, gekoppeld aan ecosystemenschade [bron: www.lcia-recipe.net]

Uit dit voorbeeld wordt duidelijk dat naarmate men het milieumechanisme langer maakt, de onzekerheden toenemen. De stralingsforcering (in de figuur “IPCC equivalency factors”) is een fysieke parameter, die relatief eenvoudig in een laboratorium kan worden gemeten. De temperatuurtoename als gevolg daarvan is minder eenvoudig vast te stellen, omdat er vele parallele positieve en negatieve consequenties zijn. Ons begrip van de verwachte verandering in natuurlijke leefomgeving is ook niet volledig, enzovoorts.

Het duidelijke voordeel van alleen de eerste stap nemen is dus de relatief lage onzekerheid, maar het nadeel is dat de stralingsforcering ons niet direct iets zegt over de merkbare gevolgen. Daarom is het minder makkelijk te interpreteren en te vergelijken met andere milieu-impacts.

2.4.2 ReCiPe combineert mid- and endpoints

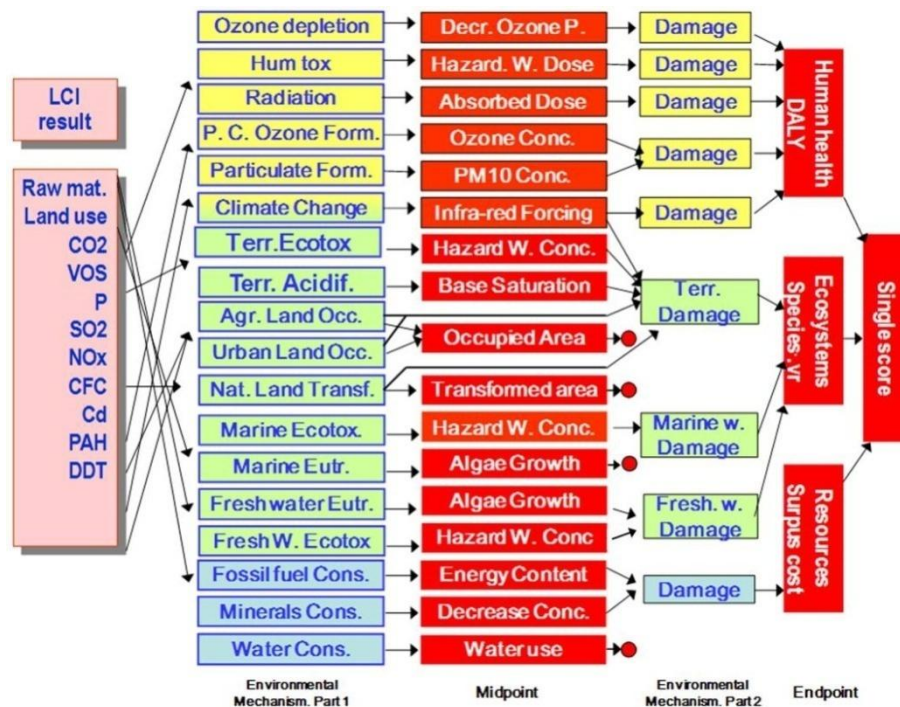
In ReCiPe zijn factoren berekend voor achttien van dergelijke midpoint indicatoren, maar ook voor drie veel onzekerder endpoint indicatoren. De reden om ook de endpoint indicatoren te berekenen, is dat het grote aantal midpoint indicatoren erg moeilijk te interpreteren is, deels omdat het er zoveel zijn, deels omdat ze een erg abstracte betekenis hebben. Hoe moet je stralingsforcering vergelijken met basis verzadigingsgetallen die verzuring uitdrukken? De indicatoren op het endpoint level zijn bedoeld om eenvoudiger interpretatie te faciliteren, doordat het er maar drie zijn en doordat ze begrijpelijker zijn.

Het idee is dat elke gebruiker kan kiezen op welk niveau hij het resultaat wil hebben:

- Achttien relatief robuuste midpoints, die echter niet eenvoudig te interpreteren zijn
- Drie eenvoudig te begrijpen, maar onzekerder, endpoints:
 - Schade aan humane gezondheid (“verloren levensjaren/kwaliteit”)
 - Schade aan ecosystemen (“verloren soorten maal tijdsduur”)
 - Schade aan grondstoffen beschikbaarheid (“toegenomen kosten van winning”)

De gebruiker kan zo kiezen tussen onzekerheid in de indicatoren zelf en onzekerheid in de correcte interpretatie van de indicatoren. Omdat in dit onderzoek het bepalen van een relatieve reductie centraal staat, is juist de interpretatie van de indicatoren (onderlinge verhouding van verschillende impactcategorieën) van belang. Daarom is de keuze gemaakt voor endpoint.

Onderstaande figuur geeft de globale structuur van de methode.



Figuur 2: Globale structuur van de ReCiPe methode [bron: www.lcia-recipe.net]

Merk op dat water consumptie en mariene vermessing niet op endpoint meetellen. Het thema klimaatverandering (met de eenheid CO₂-equivalenten) valt uiteen in twee midpoint categorieën: één die bijdraagt aan de endpoint categorie gezondheid (eenheid “verloren levensjaren/kwaliteit”) en één die bijdraagt aan de endpoint categorie ecosystemen (eenheid: “verloren soorten maal tijdsduur”). De factoren die tussen midpoint- en endpoint categorieën zitten, worden gegeven in Bijlage 1.

In Tabel 1 staat een overzicht van de milieuthema’s die in de nulmeting meegenomen worden, met de Engelse en Nederlandse namen en namen zoals gebruikt in figuren en tabellen. In de nulmeting is de categorie landtransformatie buiten beschouwing gelaten (zie paragraaf 2.2). Om de totale impact te kunnen bepalen, is het nodig om de scores op de verschillende impactcategorieën te wegen. Hiervoor wordt de ReCiPe H/A weegset gebruikt, met Europese normalisatie. Deze weegset is standaard in ReCiPe beschikbaar en geeft een gewicht van 40% aan humane gezondheid en ecosystemen en een gewicht van 20% aan uitputting van grondstoffen. Wanneer in deze rapportage “milieubelasting” zonder nadere toelichting staat, dan wordt het éénpuntsresultaat bedoeld volgens deze weegset⁹. Dit is de basis voor de nulmetingen ten behoeve van het toetsen van de milieubelasting reductiedoelstellingen.

Alle resultaten in dit rapport zijn uitgedrukt in Pt, dat wil zeggen genormaliseerd en gewogen.

⁹ ReCiPe 2008 method, version 1.02, October 19th 2009 via www.lcia-recipe.net. Aangepast aan deze analyse door expliciet uitsluiten van land transformation en CO₂ van land transformation, normalisatie zonder de bijdrage van land transformation en karakterisatiefactor PM formation voor PM2.5 die 1,577 maal hoger is dan voor PM10.

Tabel 1: Impactcategorieën (Midpoint indicatoren)

Impact category	Unit	NL naam	NL naam - kort
Climate change Human Health	DALY ^(a)	Klimaatverandering, humane gezondheid	Klimaat, gezond
Climate change Ecosystems	Species.yr	Klimaatverandering, ecosystemen	Klimaat, eco
Ozone depletion	DALY	Ozonlaagaantasting	Ozonlaag
Terrestrial acidification	Species.yr	Verzuring, bodem	Verzuring
Freshwater eutrophication	Species.yr	Vermesting, zoetwater	Vermesting
Marine eutrophication ^(b)			
Human toxicity	DALY	Humane toxiciteit	Humane tox
Photochemical oxidant formation	DALY	Smogvorming	Smog
Particulate matter formation	DALY	Fijnstof vorming	Fijnstof
Terrestrial ecotoxicity	Species.yr	Ecotoxiciteit, bodem	Ecotox, bodem
Freshwater ecotoxicity	Species.yr	Ecotoxiciteit, zoetwater	Ecotox, zoetw
Marine ecotoxicity	Species.yr	Ecotoxiciteit, zoutwater	Ecotox, zoutw
Ionising radiation	DALY	Ioniserende straling	Straling
Agricultural land occupation	Species.yr	Landgebruik, agrarisch	Land, agr
Urban land occupation	Species.yr	Landgebruik, urbaan	Land, urb
Water depletion ^(b)			
Minerals depletion	\$	Uitputting, mineralen/metalen	Uitp. mineraal
Fossil depletion	\$	Uitputting, fossiel	Uitp. fossiel
(a) Disability Adjusted Life Year.			
(b) Deze categorieën tellen niet mee op endpoint niveau.			

2.4.3 Korte toelichting per ReCiPe midpoint

Klimaatverandering, humane gezondheid en Klimaatverandering, ecosystemen

Klimaatverandering, het versterkt broeikas effect, veroorzaakt een aantal milieumechanismen die zowel de endpoint humane gezondheid als ecosystemen beïnvloeden. Omdat deze endpoints in verschillende eenheden worden uitgedrukt (DALY en Species.yr) zijn ze al op midpoint niveau opgesplitst.

Koolstofdioxide (CO₂) is het bekendste broeikasgas.

Ozonlaagaantasting

Tussen ongeveer 15 en 30 kilometer hoogte bevindt zich het meeste ozon en dat deel van de atmosfeer wordt daarom ook wel de ozonlaag genoemd. De ozonlaag neemt een belangrijk deel van de voor het leven schadelijke ultraviolette straling (UV) van de zon op. De dikte van de ozonlaag is vooral sinds de jaren tachtig afgenomen. Boven de zuidpool is steeds in het voorjaar enige tijd ruim de helft van het ozon verdwenen. Ook boven onze streken is de ozonlaag dunner geworden. Ook hier is deze ozonafname het grootst in het voorjaar, terwijl in de herfst nauwelijks minder is gemeten. De ozonlaag wordt aangetast door bepaalde gassen zoals chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's). Deze komen in de ozonlaag terecht, desintegreren daar en de chlooratomen breken de ozonmoleculen af tot chloormonoxide en gewone zuurstof ($Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2$). Vervolgens doet de UV-straling het chloormonoxidemolecuul weer uiteenvallen in twee vrije atomen, waarna het chlooratoom weer een nieuw ozonmolecuul ontbindt.

Verzuring, bodem

Verzuring van bodem (of water) is een gevolg van de emissie van vervuilende gassen door fabrieken, landbouwbedrijven, elektriciteitscentrales en voertuigen. De uitstoot bevat onder andere zwaveldioxide (SO₂), stikstofoxiden (NO_x), ammoniak (NH₃) en vluchtige organische stoffen (VOS). Deze verzurende stoffen komen via lucht of water in de grond terecht. Dat wordt zure depositie genoemd. De stoffen dringen via bladeren en wortels in planten en bomen, waardoor deze vatbaarder worden voor ziekten. Zure depositie tast ook rivieren en meren, en uiteindelijk de dieren die er in leven of uit drinken, aan door hogere zuur- en aluminiumconcentraties.

Vermesting, zoetwater

Vermesting (ook: eutrofiëring) is de vergroting van de voedselrijkdom in met name water. In de biologie wordt hiermee het verschijnsel aangeduid dat door toevoer van een overmaat aan voedingsstoffen een sterke groei en vermeerdering van bepaalde soorten optreedt, waarbij meestal de soortenrijkheid of biodiversiteit sterk afneemt. Eutrofiëring treedt bijvoorbeeld op in zoet water waar door uitspoeling veel meststoffen in terecht komen, met name stikstof en fosfaat afkomstig van mest en kunstmest uit de agrarische industrie. Het resultaat is een sterke algenbloei. Dit kan herkend worden aan donkere wateren die daarnaast ook behoorlijk stinken. Eutrofiëring kan leiden tot hypoxie, een tekort aan zuurstof in water.

Humane toxiciteit

Onder humane toxiciteit worden emissies naar lucht water of bodem beschouwd die (uiteindelijk) resulteren in schade voor de humane gezondheid.

Smogvorming

Smog, een combinatie van de Engelse woorden smoke en fog, is luchtvervuiling door rook en uitlaatgassen vervuilde mist die in een bepaalde periode opeens sterk toeneemt, met mogelijk nadelige gevolgen voor de gezondheid. De stoffen die invloed hebben op het ontstaan van smog zijn vooral ozon en fijnstof en in mindere mate stikstofdioxide en zwaveldioxide.

Fijnstof vorming

Tot fijnstof worden in de lucht zwevende deeltjes kleiner dan 10 micrometer gerekend. Fijnstof bestaat uit deeltjes van verschillende grootte, herkomst en chemische samenstelling. Fijnstof is bij inademing schadelijk voor de gezondheid. Bij mensen met luchtwegaandoeningen en hart- en vaatziekten verergert chronische blootstelling aan fijnstof hun symptomen en het belemmert de ontwikkeling van de longen bij kinderen. De normen voor fijnstof worden in Europa op veel plaatsen overschreden, vooral langs drukke wegen.

Ecotoxiciteit, bodem, zoetwater, zoutwater

Onder ecotoxiciteit worden emissies naar lucht, water of bodem beschouwd die (uiteindelijk) resulteren in schade voor het ecosysteem in respectievelijk bodem, zoetwater en zoutwater.

Ioniserende straling

Ioniserende straling (ook wel radioactieve straling genoemd) is het gevolg van het uiteenvallen van radioactieve atomen zoals Uranium-235, Krypton-85 en Jodium-129. Er zijn twee typen ioniserende straling: deeltjesstraling (alfastraling, bètastraling, neutronen, protonen) en hoog-energetische elektromagnetische straling (röntgenstraling, gammastraling). Ioniserende straling kan DNA-schade veroorzaken en kankerverwekkend zijn.

Landgebruik, agrarisch en urbaan

De landgebruik impact categorie geeft de schade weer aan ecosystemen door effecten van het bezet houden van land gedurende een bepaalde tijd.

Vanwege gebrek aan en onzekerheid over de inventarisatie data is de ReCiPe categorie transformatie bij de in dit rapport gepresenteerde resultaten buiten beschouwing gebleven (zie paragraaf 2.2).

Uitputting, mineralen en fossiel

Gebruik van minerale grondstoffen en fossiele brandstoffen wordt gewogen met een factor die hoger is naarmate het voorkomen op aarde beperkter en de concentratie lager zijn. De maat is marginale kostentoeename van de winning (in dollars per kg).

3. Inventarisatie

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de data op basis waarvan later de resultaten worden berekend.

3.1 PVC productie

De productie van vinylchloride bestaat uit twee stappen. Uit etheen en chloorgas wordt, met ijzer(III)chloride als katalysator, dichloorethaan geproduceerd. Vervolgens wordt dit dichloorethaan gekraakt tot vinylchloride (chlooretheen) en zoutzuur. Ongeveer 30% van de wereldwijde chloorproductie wordt voor vinylchloride productie gebruikt. Uit het vinylchloride monomeer (VCM) ontstaat de thermoplast polyvinylchloride (PVC; een wit poeder), na polymerisatie.

Ecoinvent baseert zich voor PVC op de meest recente 'ecoprofile' informatie van Plastics Europe¹⁰. Deze data, en de manier waarop ze zijn samengesteld, worden in de LCA wereld gezien als het best beschikbare. Deze data zijn als basis gebruikt om tot de in dit rapport gepresenteerde resultaten te komen.

De gegevens in de Ecoinvent proceskaarten voor PVC productie zijn, evenals de brongegevens van Plastics Europe, geaggregeerd. Dat houdt in dat zij weliswaar meerdere ketenstappen (Chloorproductie, productie van het monomeer) omvatten, maar dat niet zichtbaar is wat het aandeel is van deze onderliggende processen (bijvoorbeeld chloor- of monomeerproductie) in de totale milieubelasting van PVC. Omdat dat inzicht in dit kader wel gewenst is, is specifiek voor deze toerekening naar deelprocessen mede gebruik gemaakt van andere bronnen, al dan niet opgenomen in de Ecoinvent database. Om geen misverstand te laten ontstaan merken we dan ook nadrukkelijk op dat voor de productie en de vermeden productie van PVC in dit rapport is gerekend met de hiervoor genoemde meest actuele inzichten uit de Ecoinvent database. Daar waar in het vervolg van dit hoofdstuk ook andere bronnen worden genoemd zijn deze vooral bedoeld om een indruk te krijgen van de mate waarin de diverse deelstappen in de keten bijdragen aan de totale milieudruk

3.1.1 Chloor productie

Door elektrolyse van een natriumchloride oplossing wordt chloor geproduceerd. Het kan plaatsvinden volgens drie methoden:

- Kwikcel-elektrolyse (56%), verouderd en na 2010 verboden (nog volop in gebruik in 2005).
- Diafragma-elektrolyse (11%)
- Membraan-elektrolyse (33%), de tegenwoordig gangbare methode.

Bovenstaande percentages komen uit het Eco-profiles rapport over chloor (Ostermayer, 2006a). Daarin wordt geaggregeerde data voor chloorproductie gegeven, op basis van bovenstaande productie percentages en met allocatie op massabasis voor multi-output (bij chloorproductie wordt ook waterstof, natronloog en natriumhypochloriet geproduceerd). Dit proces zit niet als aparte proceskaart in de Ecoinvent database, zodat het niet geschikt is om meer in detail te analyseren. Bovenstaande mix van chloorprocessen is in dit rapport wel steeds gebruikt om de resultaten voor de PVC productie te berekenen (en ook om het vermijden van PVC-productie in het geval van recycling toe te rekenen).

¹⁰ Reports 2005; last calculations 2005-2007.

Om meer inzicht te krijgen in de chloorproductie zijn andere proceskaarten uit de Ecoinvent database beschouwd. Ecoinvent's "Chlorine, liquid, production mix, at plant/RER U"¹¹ baseert zich op data van the Association of European Chlorine Producers (EuroChlor). Ook hier vindt allocatie van Multi-output plaats op basis van massa. De data van de individuele processen zijn gebaseerd op gemiddelde waarden van de bandbreedtes uit EC IPPC-BAT documenten. De aandelen van de productiemethoden (de 'productiemix'), gebaseerd op official statistics from EuroChlor, verschillen enigszins met die van Plastics Europe:

- Kwikcel-elektrolyse (55,1%);
- Diafragma-elektrolyse (23,5%);
- Membraan-elektrolyse (21,4%).

Het proces bevat daarnaast de energie voor het vloeibaar maken van het gas.

Apart doorrekenen leert dat membraan- en diafragma elektrolyse ongeveer dezelfde milieubelasting hebben, en dat de kwikcel- elektrolyse zo'n 25% slechter scoort. Omdat de verschillen in de productiemixen met name membraan- en diafragma elektrolyse betreffen is het verschil in de milieubelasting nihil.

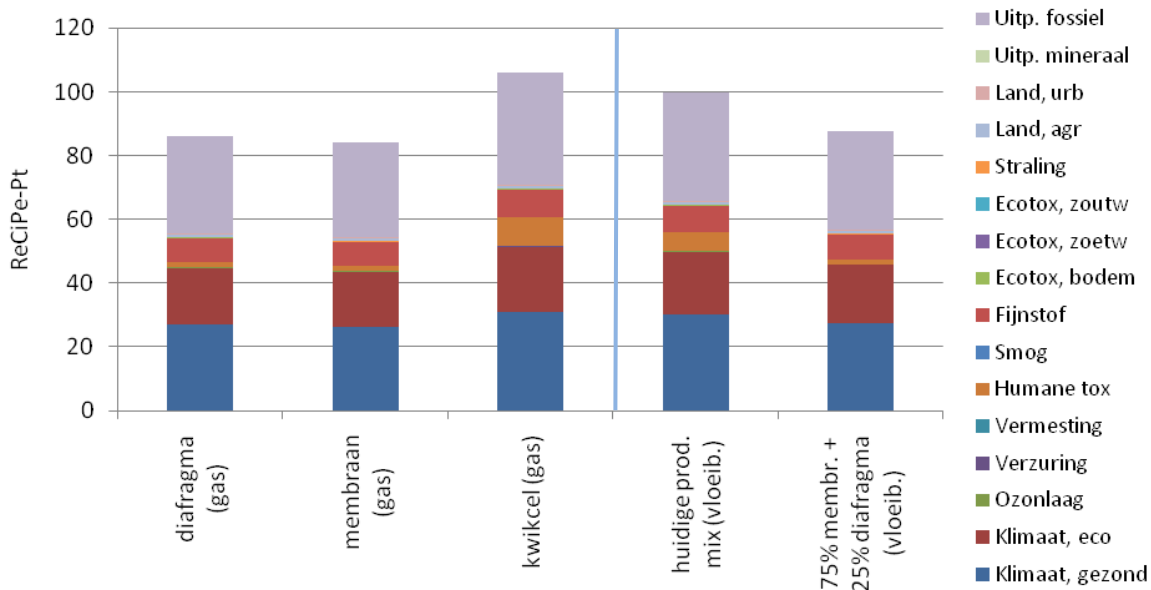
Deze processen worden gebruikt voor een gevoeligheidsanalyse, waarbij de 56% kwikcel-elektrolyse wordt vervangen door diafragma- en membraanelektrolyse (in een verhouding 1:3; zie laatste kolom figuur hieronder).

Een vierde productieroute voor chloor die Ecoinvent aanbiedt ("Chlorine, gaseous, lithium chloride electrolysis, at plant/GLO U"), waarbij wordt gealloceerd op basis van stoichiometrie, heeft een veel hogere milieuimpact. Omdat geen enkele bron deze productieroute noemt in relatie met PVC productie, blijft deze verder buiten beschouwing.

Figuur 3 presenteert de resultaten, steeds voor 1 ton chloorproductie, genormaliseerd en gewogen uitgedrukt in ReCiPe punten volgens:

1. Diafragma-elektrolyse
2. Membraanelektrolyse
3. Kwikcel-elektrolyse
4. Productiemix (vloeibaar): 11% diafragma-, 33% membraan- en 56% kwikcel-elektrolyse; dit is gebruikt als standaard in de berekeningen ten behoeve van deze rapportage
5. 75% membraan- en 25% diafragma- elektrolyse; dit is gebruikt voor een gevoeligheidsanalyse om het effect van deze keuze in beeld te brengen.

¹¹ "RER" is de Ecoinvent code voor Europa; "U" staat voor "unit process", dat wil zeggen opgebouwd uit eenheidsprocessen (dus niet geaggregeerd), in tegenstelling tot "S" dat in één proceskaart het hele onderliggende systeem beschrijft. Indien de bron geaggregeerde data bevat, dan is deze uiteraard overgenomen en is er geen onderscheid tussen het "U" en "S" proces.



Figuur 3: Chloorgasproductie volgens drie productieroutes, de huidige productiemix voor vloeibaar chloor en de aangepaste productiemix voor vloeibaar chloor (zonder kwikcel); elk per ton

Bij alle vormen van chloorproductie wordt ongeveer 85% van de score bepaald door gebruik van fossiele brandstoffen en klimaatverandering met effecten voor humane gezondheid en ecosystemen, steeds als gevolg van elektriciteitsverbruik. De toekomstige chloor productiemix op basis van 25% diafragma- en 75% membraanelektrolyse, betekent 12% reductie ten opzichte van de huidige chloor productiemix, waar de kwikcel-elektrolyse nog onderdeel vanuit maakt.

Op basis hiervan is besloten dat het niet noodzakelijk is om in aanvulling op de berekeningen gebaseerd op bij de recente ecoprofile van Plastics Europe (zie paragraaf 3.1) nog aanvullende berekeningen (gevoeligheidsanalyses) uit te voeren teneinde het effect van verschillende vormen van chloorproductie in beeld te brengen.

3.1.2 Vinylchloride productie

Het proces “Vinyl chloride, at plant/RER U” beschrijft cradle-to-gate de productie van het monomeer. De ingreepdata zijn geaggregeerd. In deze studie is dit proces overigens niet direct gebruikt voor de berekeningen omdat daarvoor is aangesloten bij de recente ecoprofile van Plastics Europe, maar wel om een beeld te krijgen van de mate waarin de deelstap 'productie vinylchloride-monomeer' de milieudruk bepaalt (zie paragraaf 3.1).

De productie van VCM en dichloorethaan is tevens een bron voor dioxine emissie. Dioxine is een POP¹². Deze dioxine emissie wordt binnen de LCA vaak niet meegenomen omdat de concentratie in de lucht op de werkplek beneden de maximaal toegestane concentratie ligt. Dit zegt echter niet direct iets over de totale hoeveelheid dioxines die tijdens de productie worden uitgestoten. Het is dus mogelijk dat met een dergelijke aanname dioxines onterecht niet worden meegenomen en daarbij niet bijdragen aan de totale milieubelasting van het PVC product. Dioxines maken in “Vinyl chloride, at plant/RER U” en ook in de recente ecoprofile van Plastics Europe deel uit van de inventarisatie en zijn daarmee in deze studie meegenomen.

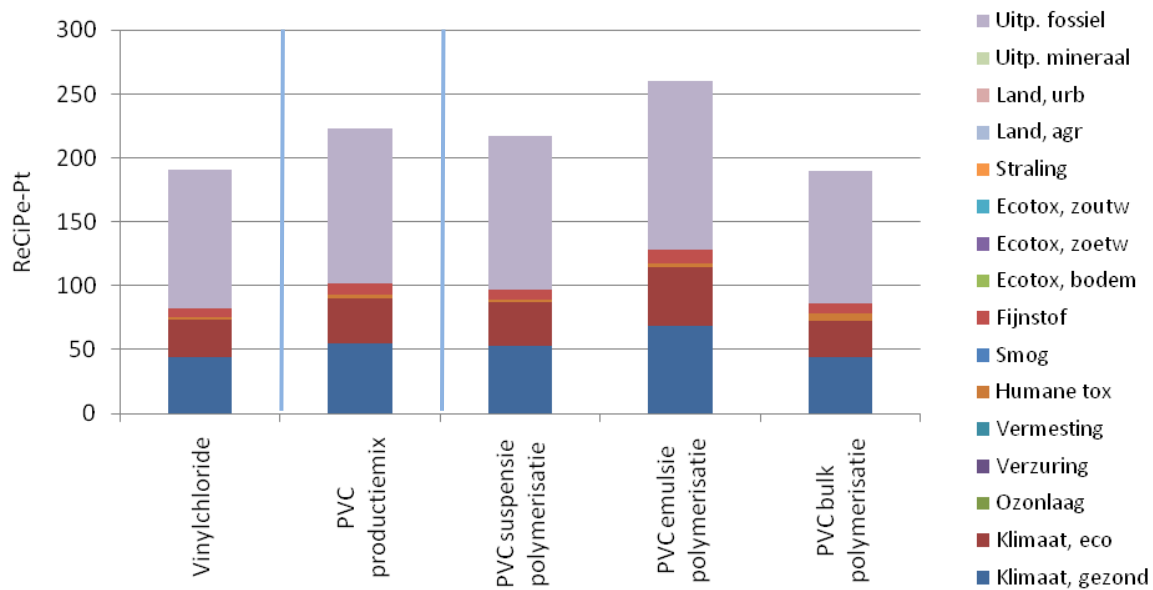
¹² Persistent Organic Pollutant

3.1.3 Polyvinylchloride productie

“Polyvinylchloride, at regional storage/RER U” rekt met het Europese gemiddelde van de drie productieroutes, die verschillen in wijze van polymerisatie:

- 85% suspension PVC (“Polyvinylchloride, suspension polymerised, at plant/RER U¹³”);
- 10% emulsion PVC (“Polyvinylchloride, emulsion polymerised, at plant/RER U¹³”); en
- 5% bulk PVC (“Polyvinylchloride, bulk polymerised, at plant/RER U¹³”).

Dit proces, “Polyvinylchloride, at regional storage/RER U”, bevat daarnaast weg- en railtransport van de bulkproductie naar regionale opslagcentra. Het is het best beschikbare proces, gebaseerd op de laatst bekende inventarisatie van Plastics Europe. Wel heeft dit het nadeel dat de processen van de drie genoemde productieroutes alle onderliggende data bevatten, aldus weinig mogelijkheid biedend voor analyse welke deelprocessen het meest bijdragen aan de milieudruk en waar dus potentiële milieuwinst behaald zou kunnen worden.



Figuur 4: Vinylchloride productie, de PVC productiemix en de drie verschillende productieroutes (wijzen van polymeriseren); elk per ton

In alle bovenstaande staafdiagrammen wordt ongeveer 95% van de score bepaald door gebruik van fossiele brandstoffen en klimaatverandering met effecten voor humane gezondheid en ecosystemen. Voor wat betreft de chloorproductie is dat als gevolg van elektriciteitsverbruik; het aardoliegebruik ten behoeve van PVC draagt sterk bij aan uitputting fossiele brandstoffen.

PVC bulkpolymerisatie scoort 15% beter ten opzichte van de PVC productiemix, PVC emulsie Polymerisatie 17% slechter.

Uit vergelijking van de verschillende staafdiagrammen in figuur 4 volgt dat de stap "productie van het PVC-monomeer" en de stap "polymerisatie tot PVC-polymeer" in eenzelfde orde bijdragen aan de milieudruk over de hele keten. Daarnaast zijn de verschillen tussen de diverse manieren van polymeriseren in absolute zin beperkt en is er geen sprake van grote verschillen ten aanzien van de aard van de milieudruk die zij veroorzaken (dezelfde thema's spelen een rol bij alle processen). Op basis hiervan is besloten dat het niet noodzakelijk is om in aanvulling op de berekeningen gebaseerd op bij de recente

¹³ Dit Unit-proces van Ecoinvent bevat uitsluitend geaggregeerde ingrepen en is daarmee gelijk aan het System proces.

ecoprofile van Plastics Europe (zie paragraaf 3.1) nog aanvullende berekeningen (gevoeligheidsanalyses) uit te voeren teneinde het effect van verschillende vormen van polymeriseren in beeld te brengen.

3.2 Additieven en vormgevingstechnieken

3.2.1 Additieven

Additieven geven het PVC de uiteindelijk gewenste eigenschappen en variëren per toepassing sterk. Het betreft onder meer specifieke toevoegingen als warmtestabilisatoren, smeermiddelen, weekmakers, vulmiddelen en kleurstoffen.

Omdat PVC een thermisch instabiele stof is, moeten stabilisatoren (0,02 tot 1,8 gewicht-%) zoals lood en calciumzink mengsels worden toegevoegd voor nagenoeg elke toepassing. Ze beschermen tegen degradatie door warmte en/of UV-straling.

Overige additieven zijn:

- Weekmakers, tot 50 gewichtsprocent: ftalaten, gechlloreerde paraffines, polyesters.
- Smeermiddelen: stearaten, paraffine oliën, paraffine was.
- Vulmiddelen, tot 50 gewichtsprocent: challac, zinkoxide, kaoline.
- Brandvertragers, tot 10 gewichtsprocent: gechlloreerde stoffen, boorhoudende stoffen, zinkoxide.
- Kleurstoffen, 0,5 tot 1 gewichtsprocent: Zn, Cu, Ni, Cr [Asif, 2005].

In veel LCA-studies worden additieven niet of slecht meegenomen terwijl hun milieubelasting aanzienlijk kan zijn. Ook in Ecoinvent worden additieven maar beperkt meegenomen. Zie ook paragraaf 3.2.2 en 3.3.1. Kwalitatieve informatie over additieven is wel te vinden, maar voor LCA bruikbare kwantitatieve informatie als receptuur en ingrepen (op LCI niveau) is schaars.

Stabilisatoren en weekmakers hebben in deze studie speciale aandacht gekregen vanwege hun vermeende belang.

Stabilisatoren

De Europese loodstabilisator producenten brancheorganisatie [ESPA (2009)] geeft het kenmerkende loodgehalte¹⁴ in de belangrijkste toepassingen, zoals zal worden gebruikt voor de nulmeting:

- Buizen 0,75%
- Raamprofielen 2,7%
- Draad en kabels 2,0%

Lood verdwijnt snel als stabilisator. Volgens (Vinyl 2010, 2009) werd in 2008 in de EU-15 50% minder loodstabilisator gebruikt dan in 2000 (2 jaar voor de interim 2010 doelstelling); het doel is om in 2015 helemaal geen loodstabilisator meer toe te passen in de EU-27. Er komen stabilisatoren op basis van calcium (m.n. calciumzink) voor in de plaats.

¹⁴ "lead metal content" (aanname: van PVC); loodgehalte in loodsulfaat is 68% → 2,7% bij raamprofielen betekent 4% stabilisator.

RECOMMENDED FORMULATION (Window Profile A)		
PVC (1000)	100	
CaCO ₃	8	(MICRONIZED HEAVY CaCO ₃)
TiO ₂	3-4	(SAKAI R-3L)
IM	7	(KANEACE FM-50)
PA	0.5-1.5	(KANEACE PA-10)
LHR-300 Series	3-4	(Ca/Zn Stabilizer)
ESTER-WAX	0.2	(INTERNAL LUBRICANT)
FATTY-ACID	0.2	(INTERNAL LUBRICANT)
ESTER WAX or PE WAX	0.3	(EXTERNAL LUBRICANT)

Figuur 5: Voorbeeld samenstelling PVC profiel met stabilisatoren ten behoeve van kozijn
(bron: [www.sakai-chem.co.jp / LHR-300 series](http://www.sakai-chem.co.jp/LHR-300-series))

Uit Figuur 5 blijkt dat men uitgaat van 3 à 4% calciumzink stabilisator uitgaande van 100% PVC. Voor buizen komt dezelfde bron (LHR-200 series) op 2,5 à 3% calciumzink stabilisator. Data over exacte samenstelling van calciumzink stabilisator ontbreekt, evenals LCI data. Uitgaande van puur CaZn bestaat 1 kg uit 0,62 kg zink en 0,38 kg calcium. Meestal wordt calcium geïsoleerd met behulp van elektrolyse van calciumchloride en calciumfluoride. Bij gebrek aan data is de calcium component genegeerd.¹⁵

Een vergelijking van deze grof geconstrueerde calciumzink stabilisator met loodstabilisator (“Leadstabilizer” uit IVAM LCA Data) laat een reductie in milieubelasting zien van ongeveer 75%, m.n. door afname van de toxische effecten. De scores bedragen respectievelijk 256 Pt/ton en 984 Pt/ton stabilisator (zie Figuur 6). De aanname dat de werking per gewichtseenheid vergelijkbaar is wordt gevoerd door “Deze reductie werd bereikt door een overgang naar stabilisatoren op basis van calcium, die een overeenkomstige toename hebben gekend in dezelfde periode (+ 50.879 ton)” (Vinyl 2010, 2009).

Weekmakers

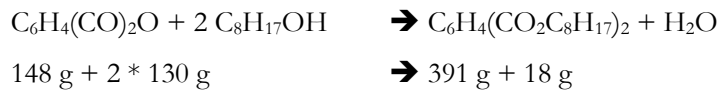
Weekmakers maken het van nature harde PVC flexibel. Zacht PVC kan tot wel 60% weekmaker bevatten (EC, 2004); gemiddeld is het 30%. Van de drie hoofdtoepassingen die in dit rapport onderwerp zijn, worden weekmakers alleen in kabels/installatiedraad toegepast. Weekmakers zijn meestal (95% volgens EC, 2004) ftalaten. In Ecoinvent is geen informatie over weekmakers te vinden. De data in (Ecobilan, 2001) is gemiddeld voor high volume commodity ftalaten (DEHP/DINP/DIDP) en geaggregeerd, reden waarom ze minder goed bruikbaar zijn in combinatie met de overige data.

Bis(2-ethylhexyl)ftalate (DEHP) is de belangrijkste weekmaker. Voor kabels waarin PVC is verwerkt is in deze studie daarom uitgegaan van 30% DEHP. Dit zacht PVC bestaat dus voor 70% uit PVC en 30% uit DEHP¹⁶.

¹⁵ Volgens [<http://www.pvc.org/What-is-PVC/How-is-PVC-made/PVC-Additives/Calcium-Zinc-stabilisers>] worden calcium-zink stabilisatoren in het algemeen gebaseerd op metaal carboxylaten, en dan vooral door neutralisatie van zuren daarvan met metaaloxides of -hydroxides. Nu in de berekeningen het elektrolyse toch al niet is meegenomen is het effect hiervan naar verwachting minimaal, zeker omdat PVC slecht voor enkele procenten wordt voorzien van deze stabilisatoren

¹⁶ De stuurgroep PVC en Ketenbeheer merkt op dat DEHP in 2008 nog maar 17,5% van de Europese weekmakers vertegenwoordigde en DINP en DIDP samen 67%, waarvan DINP (ook in kabels) de meest gebruikte is. Er zijn geen gedetailleerde LCI data voorhanden, maar we verwachten dat de milieueffecten van DINP in dezelfde orde grootte liggen als van DEHP aangezien ze vaak als groep worden gepresenteerd.

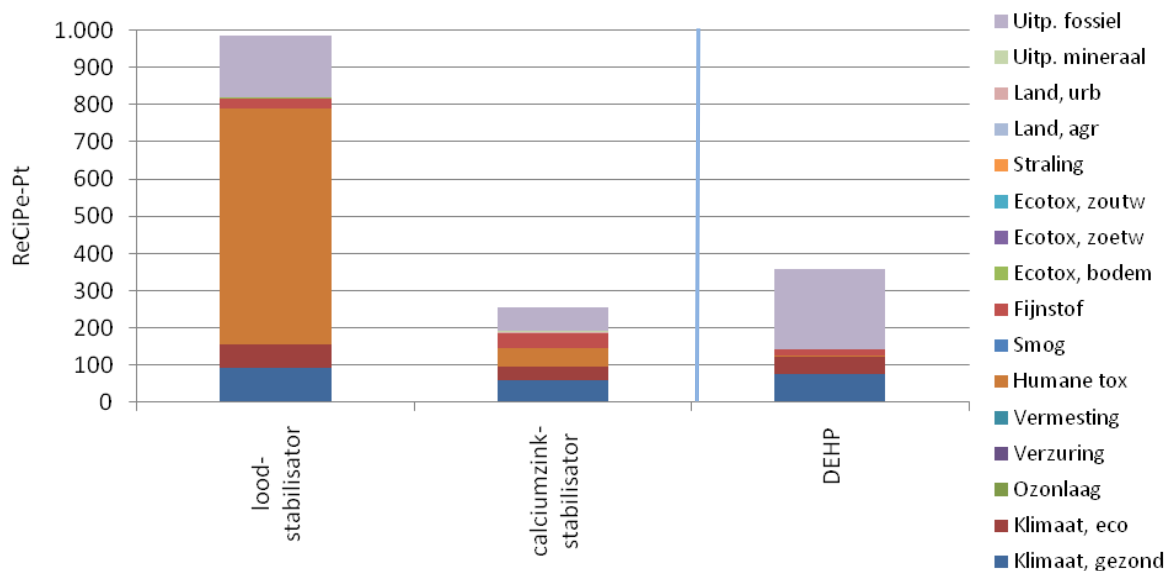
DEHP ontstaat uit de reactie van phthalic anhydride (PAN) met 2-ethylhexanol volgens:



Van de productie van PAN is LCI data beschikbaar in Ecoinvent. Van de productie van 2-ethylhexanol niet, maar wel van de groep waartoe het behoort: Fatty alcohol. Bij gebrek aan data is de voor deze reactie benodigde energie buiten beschouwing gebleven, evenals eventuele emissies. Het effect hiervan is waarschijnlijk klein, naar schatting minder dan 5 % voor de productie van DEHP.

De ftalaat DEHP wordt verdacht van een hormoonverstorende werking die de vruchtbaarheid en het ongeboren kind kan schaden [RIVM, 2009]. Dit mogelijke effect wordt in LCA (ecotoxiciteit en humane toxiciteit) niet meegenomen, waardoor de milieubelasting mogelijk hoger is dan hier gepresenteerd.

De milieubelasting van de productie van weekmaker ligt met 359 Pt per ton (zie Figuur 6) ruim 60% hoger dan die van PVC (zie Figuur 4).



Figuur 6: Productie van loodstabilisator, calciumzinkstabilisator en DEHP weekmaker (per ton)

Bij loodstabilisator verklaart loodemissie naar lucht de 65% aandeel in de totaalscore van humane toxiciteit; het overige deel van de score is grotendeels energiegerelateerd. Bij de calciumzinkstabilisator dragen diverse metalen (lood, zink en arsenicum) als emissie naar lucht bij aan de – veel lagere - score van humane toxiciteit. Het overige deel is voornamelijk energiegerelateerd. Bij DEHP zijn het de xyleen-, ethyleen- en paraffine productie en energie-inzet, die 95% van de score bepalen.

3.2.2 Vormgevingstechnieken

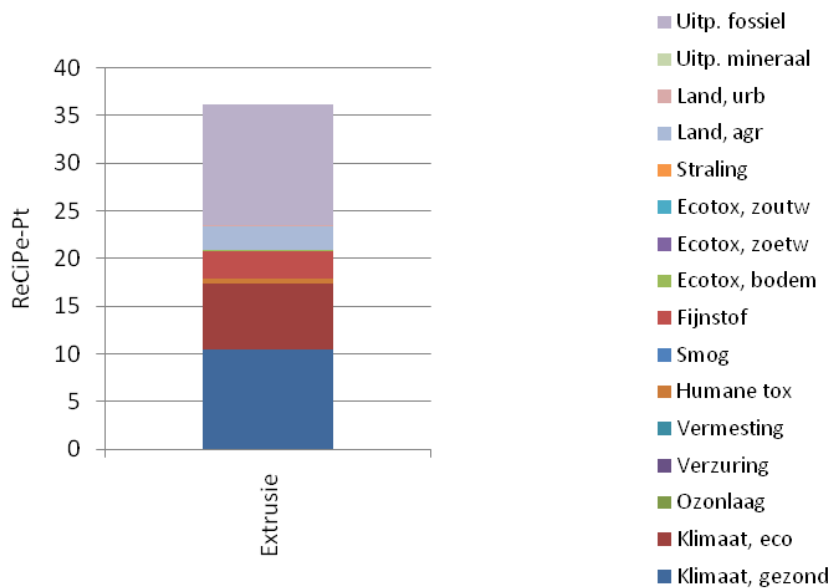
In Ecoinvent zijn diverse vormgevingstechnieken (“conversion of plastics”) opgenomen. Omwille van flexibiliteit - technieken kunnen voor meerder kunststoffen worden gebruikt - zijn de procesgegevens opgenomen exclusief de kunststoffen, op basis van verbruikte kunststof (dus niet gevormd product). De gebruiker van de data dient hier rekening mee te houden bij het modelleren. De verliezen (afval voor verwerking) die bij extruderen ontstaan zijn gering: voor 1 kg product gaat er 1,0037 kg kunststof in (“PVC pipe extrusion”) en ontstaat er 0,0037 kg afval voor verwerking.

- Voor extrusie wordt het Ecoinvent proces “Extrusion, plastic pipes/RER U” gebruikt, dat is gebaseerd op een PlasticsEurope rapport uit 1997 en een BUWAL rapport (voorloper Ecoinvent) uit

1998. “1 kg of this process equals 0.996 kg of extruded plastic pipes”, hetgeen 0,4% verlies betekent. Bij dit proces zijn geen hulpstoffen opgenomen, anders dan nodig voor het extruderen zelf. Extrusie heeft per ton verwerkt materiaal een milieubelasting van 36,2 Pt (zie Figuur 7).

- Voor spuitgieten wordt het Ecoinvent proces “Injection moulding/RER U” gebruikt, dat is gebaseerd op een PlasticsEurope rapport uit 1997 en een BUWAL rapport (voorloper Ecoinvent) uit 1998. In tegenstelling tot het extrusie proces zijn in dit proces stabilizer, pigment en filler opgenomen, zij het heel grof (blz 175 EI report 11 – part II): stabilizer als unspecified organic chemicals, pigment als titaniumoxide, en vulstoffen (niet nader gespecificeerd).

Voor de drie geselecteerde PVC subketens (kozijnen, buizen en kabels) is extrusie verreweg de belangrijkste vormgevingstechniek. Spuitgieten wordt alleen bij kozijn productie zeer beperkt gebruikt (voor de niet-profielen) en blijft verder buiten beschouwing.



Figuur 7: Extrusie per ton verwerkt materiaal

De score wordt voor grotendeels bepaald door elektriciteitsverbruik (66%) en ander energieverbruik.

3.3 Productie kozijn, buis, kabels

3.3.1 Productie van een PVC kozijn

Voor productie van een PVC kozijn heeft Ecoinvent “Window frame, plastic (PVC), U=1.6 W/m²K, at plant/RER U”. Dit proces, per 1 m² doorzichtig oppervlak, pretendeert volledigheid. Dat zou betekenen dat er erg weinig additieven in zitten, namelijk alleen die die er via het spuitgieten inkomen, terwijl het overgrote deel uit extrusie profielen bestaat. Zie voor de samenstelling van het kunststof kozijn, dat uit veel meer dan alleen PVC bestaat (maar geen beglazing), Bijlage 2. Vanwege de in het PVC ontbrekende stabilisator is de enige aanpassing op het oorspronkelijke proces dat stabilisatoren zijn toegevoegd. De 2,34 kg loodsulfaat, op basis van 4%¹⁴ loodstabilisator en de bruto input van 58,4 kg PVC voor 1 m² kozijn¹⁷, is voor 50% vervangen door calciumzink stabilisator vanwege de uitfasering van het gebruik van lood als stabilisator. Er is dus gerekend met 1,17 kg loodstabilisator en 1,17 kg calciumzink stabilisator per m²

¹⁷ In de VKG MRPI (Rouwette, 2006) is wel met lood als stabilisator gerekend. De Ecoinvent data worden nu als representatiever beschouwd.

kozijn. Hiermee wordt het stabilisatorgebruik in PVC geacht representatief te zijn voor de situatie in 2009. Het kunststof kozijn met 1 m² ‘zichtbaar oppervlak’ weegt 94,5 kg, waarvan 55,5 kg bestaat uit PVC.

3.3.2 Productie van een PVC leiding/buis

Omdat reeds bij de start van het project aan gres en beton als materiaalvarianten werd gedacht, naast een variant “afsluiten en laten liggen”, is voorgesteld de aandacht te richten op PVC afvoerbuizen (buitenriolering). De vergelijkingseenheid voor buizen (“Vrijval riool”) is 5 strekkende meters met een inwendige diameter van 200 mm. Een PVC buis weegt 21,9 kg per 5 meter¹⁸. Er is aangenomen dat vorming door middel van extrusie plaatsvindt en er is 1,1% loodstabilisator toegevoegd op basis van 0,75% loodgehalte (zie Stabilisatoren onder 3.2.1). Voor 50% is dit vervangen door calciumzink stabilisator vanwege de uitfasering van het gebruik van lood als stabilisator. Er is dus gerekend met 0,12 kg loodstabilisator en 0,12 kg calciumzink stabilisator per 5 meter buis. Hiermee wordt het stabilisatorgebruik in PVC geacht representatief te zijn voor de situatie in 2009.

3.3.3 Productie van kabels

Op basis van “Cable, printer cable, without plugs, at plant/GLO U” zijn kabels gemodelleerd. Installatiedraad (bouw) is in dit kader niet apart beschouwd. De resultaten met betrekking tot PVC in de gekozen kabel zijn naar verwachting evengoed van toepassing op installatiedraad. Volgens de Ecoinvent procesbeschrijving kan de geselecteerde dataset worden gebruikt om de productie van een gangbare voedingskabel voor computers in 2006 te beschrijven. Het totaalgewicht van 1 meter kabel is 0,065 kg (zonder de bijbehorende stekkers). De informatie voor deze dataset is gebaseerd op wegingen, metingen en analyse in de EMPA laboratoria. Het type kabel wordt wereldwijd geproduceerd en is verkrijgbaar over de hele wereld. Deze kabel bestaat voornamelijk uit: 0,0195 kg getrokken koperdraad, 0,0325 kg “Polyvinylchloride, at regional storage/RER U” (zonder enkel additief) en 0,0129 kg “Tube insulation, elastomere, at plant/DE U” (dat voor 93% uit rubber bestaat en ook een beetje PVC bevat, waarbij er “chemicals organic in het process gaan”); de beide kunststoffen worden geëxtrudeerd (0,0454 kg Extrusion, plastic pipes/RER U). Ook hier bevat het PVC geen enkel additief, dus ook geen weekmaker. Zoals aangegeven in paragraaf 3.2.1 is hier in deze studie voor gecorrigeerd dor te rekenen met 70% PVC en 30% DEHP.

Een blik op www.drakaservice.nl laat zien dat 230 volt kabels kunnen bestaan uit PVC isolatie en PVC buitenmantel, maar ook uit rubber isolatie en rubber buitenmantel. In het laatste geval komt er weinig of helemaal geen PVC in voor. Als rubber wordt EPR genoemd, Etheen Propeen Rubber.

Bovenstaande Ecoinvent printerkabel is gebruikt als uitgangspunt voor de berekeningen van kabel. Per strekkende meter bevat deze kabel 0,0454 kg isolatie en buitenmantel, die volledig uit PVC (met weekmaker) zouden kunnen bestaan. Als referentiekabel voor deze studie is de isolatie en buitenmantel uit de Ecoinvent printerkabel dan ook vervangen door 0,0454 kg zacht PVC, bestaande uit 70% PVC en 30% DEHP weekmaker (zie 3.2.1). Om inzicht krijgen in de bandbreedte van de nu op de markt verkrijgbare alternatieven is daarnaast een kabel met 0,0454 kg rubber doorgerekend. Zie paragraaf 5.3.

¹⁸ Op basis van Wavin PVC U3 buis met wanddikte van 4,9 mm; uitgaande van een soortelijk gewicht van 1390 kg/m³. Een andere 200 mm PVC buis (www.walraven.com) met 5,9 mm wanddikte, weegt 26,85 kg per 5 m.

3.4 Gebruik van kozijn, buis, kabels

ESPA (2009) geeft aan dat lood-gestabiliseerd PVC inert is. Bij gebruik en in geval van stort is dat in deze studie aangehouden. ESPA (2009) geeft verder aan dat lood opgesloten in de plastic matrix niet kan worden verwijderd.

3.4.1 Gebruik van kozijnen

In het algemeen zijn de volgende aspecten in de gebruiksfase van kozijnen vanuit milieuoogpunt van belang:

- Warmtetransport door de kozijnen.
- Onderhoud (met name schilderwerk)
- Vervanging

Warmtetransport door de kozijnen

De milieubelasting van warmtetransport door de kozijnen is van veel zaken afhankelijk, onder meer het type woning, het betreffende verliesoppervlak en de wijze van warmteopwekking (gas, elektrisch, rendement, etc.). De beschrijving in onderstaand kader is dan ook indicatief.

In (Vollebregt, 2006) blijkt het verschil tussen een U-waarde 2,4 W/m²K en 1,4 W/m²K voor kozijnen met HR⁺⁺ glas in diverse nieuwbouw referentiewoningen te resulteren in een verschil van 0,03 op de EPC-waarde. Met behulp van EPvar is berekend dat dat voor een Novem tuinkamer tussenwoning¹⁹ jaarlijks ongeveer 1800 MJ primaire energie aan gas scheelt. Met behulp van een model voor de opwekking van energie in een combiketel is berekend data dit overeenkomt met een jaarlijks milieubelasting van ruim 13 Pt. Dit is een indicatie van de milieubelasting voor het genoemde verschil in U-waarde. Deze milieubelasting, die jaarlijks optreedt heeft dezelfde orde grootte als de kozijnlevenscyclus per m² (zie Figuur 12). De relatie is niet lineair, met andere woorden: de helft van het verschil in U-waarde leidt niet tot 6,5 Pt.

Ter illustratie: de in dit rapport vergeleken kozijnen (zie paragraaf 5.1) uit Ecoinvent hebben een U-waarde die weinig verschilt: aluminium en PVC 1,6 W/m²K en hout 1,5 W/m²K. Volgens (Vollebregt, 2006) is de warmtedoorgang (U-waarde) voor gangbare kozijnprofielen 1,4-1,8 W/m²K.

Energieverlies door het kozijn is in absolute zin relevant. De verschillen in warmteweerstand tussen de in dit rapport vergeleken kozijnen (1,5 - 1,6 W/m²K) zijn echter klein ten opzichte van de verschillen in het kader, waardoor ook de verschillen in energieverlies klein zijn. Bovendien is het absolute energieverlies door kozijnen van veel andere factoren afhankelijk en, mede daardoor, lastig vast te stellen. Daarom blijft warmteverlies door kozijnen in het vervolg van dit rapport buiten beschouwing.

Onderhoud

Het voordeel van PVC-kozijnen is dat deze (nagenoeg) onderhoudsvrij zijn. Voor aluminium geldt min of meer hetzelfde. Voorzover al onderhoud plaatsvindt is dat voor deze beide materialen slechts 'met enige regelmaat schoonmaken', waarbij het nog de vraag is of dat altijd gebeurt en of dit afwijkt van het schoonmaken van houten kozijnen.

Bij houten kozijnen moet wel rekening worden gehouden met schilderwerk.

Vervanging

Vervanging is vooral van belang wanneer de levensduur van verschillende alternatieven verschilt. Volgens de meest recente bron met vergelijking van kozijn levensduren (SBR, 1998) kan de levensduur aanzienlijk variëren:

¹⁹ Deze woning heeft 4,9 m² ramen aan de voorgevel en 9,4 m² aan de achtergevel.

- niet-verduurzaamd vuren of grenen: 25 jaar (mits goed onderhouden schilderwerk)
- meranti: 50 jaar (mits goed onderhouden schilderwerk)
- merbau/iroko: 75 jaar (mits goed onderhouden schilderwerk)
- geanodiseerd aluminium: 25-50 jaar;
- PVC: 40 jaar.

De ontwikkelingen zijn echter dusdanig dat deze levensduren zeker voor PVC en aluminium niet meer als uitgangspunt kunnen dienen. Zo wordt in (Rouwette, 2006) uitgegaan van een levensduur van 75 jaar voor een PVC kozijn, met uitsluitend vervanging van hang- en sluitwerk en afdichtingrubbers iedere 25 jaar. Ook VMRG geeft, in 1999 en in 2009, 75 jaar levensduur voor aluminium kozijn aan met uitsluitend vervanging van enkele onderdelen. De vervanging van die onderdelen wordt in dit kader niet onderscheidend geacht voor de verschillende kozijn materiaalvarianten.

Gezien bovenstaande onzekerheid omtrent levensduren is er in dit kader voor gekozen om bij de kozijnenvergelijking voor een aluminium en PVC kozijn van 1 levenscyclus uit te gaan, en voor het zacht houten kozijn (zie paragraaf 5.1) van 2 levenscycli - met 1 levenscyclus als gevoeligheidsanalyse. Zie Figuur 19.

Samengevat

Gelet op het voorgaande kan de milieubelasting door gebruiksfase voor PVC kozijnen op “0” worden gesteld. Hetzelfde geldt voor aluminium kozijnen, bij houten kozijnen dient wel rekening te worden gehouden met onderhoud (schilderwerk). Bovendien moet voor houten kozijnen rekening worden gehouden met een kortere levensduur.

3.4.2 Gebruik van leidingen/buizen

Alle warmwateraanvoer pijpleidingen kennen warmteverlies, dat hier verder buiten beschouwing blijft. Bij afvoerbuizen in grond is warmteverlies geen issue.

Onderhoud vindt niet plaats.

Vervanging is vooral van belang wanneer de levensduur van verschillende alternatieven verschilt. In (SBR, 1998) zijn de volgende levensduren, afhankelijk van de stabiliteit van de ondergrond/trillingen) in de categorie “Terreinvoorzieningen-buitenriolering” opgenomen:

- PVC: 40 jaar (hogedruk reiniging);
- Gres: 40 jaar (hogedruk reiniging);
- (Beton komt in deze categorie niet voor).

Volgens (Breen, 2007) is de levensduur van PVC buizen minimaal 100 jaar. De levensduur van PVC afvoerbuizen en alternatieven worden in deze studie gelijk verondersteld. Daarmee wordt er aan de gebruiksfase van de buizen geen milieubelasting toegerekend.

3.4.3 Gebruik van kabels

De elektriciteit die door de kabels gaat, alsmede het energieverlies door weerstand, is niet onderscheidend en blijft buiten beschouwing. Weekmakers zullen het PVC kunnen verlaten.

Zoals genoemd onder 3.2.1. bij weekmakers, worden mogelijk hormoonverstorende effecten van DEHP niet in LCA meegenomen. Voor emissie naar lucht is er überhaupt geen karakterisatiefactor beschikbaar binnen ReCiPe; voor emissie naar water wel. Waarschijnlijk omdat het merendeel van de DEHP emissie plaatsvindt naar water bij een RWZI. Voor een gevoeligheidsanalyse is er extreem van uitgegaan dat de helft van de 30% DEHP, die zicht in zacht PVC bevindt, uitloopt naar water. Dat komt per ton zacht

PVC (150 kg DEHP emissie) neer op een score van 13,8 Pt. Dat is 5% van de score van de productie van zacht PVC (264 Pt). Deze uitkomst gecombineerd met ontwikkelingen als REACH en het kader van de analyse is het verantwoord om in de LCA de milieubelasting door het gebruik van kabels op 0 te stellen.

3.5 Afdanking kozijn, afvoerbuïs, kabelmantel

PVC kozijnen, buïzen en kabels kunnen na afdanking worden verbrand in een AVI, gestort of gerecycled. In geval van kabels is het vermoeden dat alleen het koper wordt gerecycled.

3.5.1 AVI

PVC levert een grote bijdrage aan chloor in AVI's, wat kan leiden tot de vorming van dioxine – een van de meest toxische synthetische chemicaliën. [Asif, 2005]²⁰ In de moderne AVI's in Nederland is het grootste probleem van chloor echter niet zozeer de emissie van dioxines, maar eerder het optreden van chloorcorrosie [HVC, 2009]. Op basis van “Disposal, polyvinylchloride, 0.2% water, to municipal incineration/CH U” is de verbranding van PVC in een AVI opgenomen²¹. Ecoinvent AVI processen vermelden wel verbrandingswaarden (voor PVC onderste verbrandingswaarde 21.51 MJ/kg), maar rekenen standaard geen vermeden productie toe. Elektriciteits- en warmtelevering is door IVAM toegerekend op basis van gemiddeld netto rendement van het Nederlandse afvalverbrandingsinstallatie (AVI) park 22% elektrisch en 7 % thermisch.

- Voor uitgespaarde elektriciteit is het Ecoinvent proces “Electricity mix/NL U” (>20 kV ; productie en import; geen transformatie- en transport/distributieverlies) gebruikt; en
- Voor uitgespaarde warmte “Heat, natural gas, at industrial furnace low-NOx >100kW/RER U”

De technologie die het gebruikte Ecoinvent proces beschrijft is gemiddeld voor Zwitserse AVI's in 2000 met elektrostatische precipitator voor vliegass (ESP), natte rookgasschrobber en 29,4% Selectieve Niet-katalytische Reductie (SNCR), Selectieve katalytische reductie-installatie (SCR) 32.2% SCR-‘high dust’ (voor stoffilter), 24.6% SCR-‘low dust’ (na stoffilter) -DeNOx installatie en 13,8% zonder DeNOx. Eén ton PVC afval produceert volgens dit Ecoinvent AVI-proces 48,4 kg slak en 13,8 kg residu, dat wordt gestort. Voor het verder binden wordt 5,5 kg cement per ton gebruikt. In de Nederland vindt echter voor een groot deel droge rookgasreiniging (RGR) plaats, hetgeen betekent dat het chloor uit de PVC (57% van het zuivere polymeer) wordt afgevangen, vaak als calciumchloride en soms als natriumchloride. Hierbij ontstaat veel meer RGR-residu dan in het Zwitserse Ecoinvent proces: ongeveer 900 kg per ton PVC verbrand in een AVI (uitgaande van 100% rendement). Dit RGR-residu bevat bovendien veel zware metalen. Omdat deze voornamelijk uit andere verbrande fracties afkomstig zijn kunnen ze niet worden toegerekend aan het PVC. Het storten zelf scoort in LCA relatief laag (zie Figuur 9 voor stort van PVC: 7,53 Pt/ton). Uitgaan van de productie van PVC (274 Pt) en de genoemde AVI verbranding (49,9 Pt, inclusief vermeden energieopwekking) betekent dit dat de score voor verbranden maximaal 2% te positief is weergegeven door met deze Zwitserse uitgangspunten t.a.v. rookgasreinigingsresidu te rekenen. Gelet hierop is besloten dit niet aan te passen en de Zwitserse proceskaart ongewijzigd te hanteren.

Voor PVC kabels was het idee ook de impact van kabelbranderijen in de open lucht in de analyse mee te nemen. Achtergrond hiervan is niet dat dit nog in Nederland plaatsvindt, maar het feit dat veel kunststoffen, waaronder mogelijk PVC, worden uitgevoerd naar landen waar dit nog wel gebeurt. Mede omdat deze wijze van verwerken in Nederland al lang niet meer voorkomt zijn betrouwbare (en recente)

²⁰ Andere bronnen (Dyka, 2009; waarin CML en TNO) geven juist aan dat het aanbod van PVC aan een AVI de dioxine-emissie niet beïnvloedt.

²¹ In dit proces gaat men voor de samenstelling van PVC uit van “Pb 16.002 ppm”. Dit is echter dusdanig weinig dat je kunt stellen dat er geen rekening is gehouden met stabilisator. Dioxine emissie naar lucht maakt geen deel uit van de (uitgebreide) inventarisatie (of is “0”).

data, geschikt om op te nemen in een vergelijking met andere alternatieven niet gevonden. Op basis van een RIVM rapport (Bremmer, 1993) zijn dioxinen metingen bij kabelbranderijen in Nederland wel uitgedrukt in een score (ReCiPe-Pt). Onzeker is of Nederlandse bedrijfsvoering van toen echt representatief is voor de wijze waarop kabelbranden in bepaalde andere delen van de wereld plaatsvindt. Daarnaast wijkt het uitgangsmateriaal dat indertijd is onderzocht waarschijnlijk sterk af van de hier onderzochte kabel. Buiten deze twee onzekerheden ten aanzien van de representativiteit is zelfs binnen de toen uitgevoerde metingen de gevonden bandbreedte in de resultaten (dioxinen emissies) groot: 3,3 tot 2280 µg I-TEQ/ton input kabelbranderijen. Bij vertaling naar ReCiPe-punten resulteert 1 µg I-TEQ/ton input kabelbranderijen in 1,40E-06 ReCiPe-Pt waarmee de bandbreedte van 3,3 tot 2280 µg I-TEQ/ton input kabelbranderijen overeenkomt met 4,62E-06 tot 3,19E-03 ReCiPe-Pt en dus te verwaarlozen is ten opzichte van andere bijdragen in de keten. Het resultaat lijkt dusdanig laag dat het geen dominante bijdrage heeft. Indien deze variant 'branden in de open lucht' verder wordt verkend moet het zeker verder worden onderzocht.

3.5.2 Stort

Stort lijkt niet aan de orde in de Nederlandse context, maar komt toch voor wanneer kleinere PVC delen (bijvoorbeeld gebroken profielen) onderdeel uitmaken van een te storten reststroom. Uit de Ecoinvent database is voor het storten van PVC "Disposal, polyvinylchloride, 0.2% water, to sanitary landfill/CH U" gehanteerd. Op basis van samenstelling van het PVC en een rekenmodel zijn in dit proces de (zeer geringe) effecten van waterzuivering door uitloging (korte termijn: binnen 100 jaar) naar RWZI en lange termijn emissies van stort naar grondwater (hetgeen door de afsluitende basis komt) opgenomen. Emissies samenhangend met energieverbruik en van metalen naar water, door gebruik van kapitaalgoederen, bepalen de score. Het genoemde proces is gehanteerd voor hard PVC, en vanwege gebrek aan specifieke data eveneens voor zacht PVC (met 30% DEHP). Naar verwachting is dit voor zacht PVC een onderschatting, echter niet dusdanig dat de resultaten voor stort (met relatief lage milieubelasting) veel slechter worden. Zie paragraaf 3.4.3.

3.5.3 Recycling algemeen

Enkele algemene overwegingen

Recycling van PVC-polymer producten vereist sorteren van het afval in materiaalcategorieën. De kwaliteit en toepassingsmogelijkheden van het recyclelaat hangen sterk af van

- [1] de aanwezigheid van andere materialen (zoals andere polymeren of wapeningsmateriaal), maar ook van
- [2] de homogeniteit aan PVC-vormen (PVC afvalstromen zijn een complexe mix van materialen van uiteenlopende bronnen met een grote variatie aan additieven) en niet in de laatste plaats van
- [3] de mate waarin de eerste twee variabelen binnen een bepaalde vaste bandbreedte kunnen worden gehouden (liever een wat hogere maar constante vermenging met andere materialen dan een soms heel lage en dan weer wat hogere mate van 'verontreiniging').

Dit alles maakt recycling technisch en economisch lastig omdat voor bepaalde toepassingen de juiste verhouding van additieven in het gerecyclede PVC niet kan worden bereikt met recyclelaat bestaande uit verschillende formuleringen en kan leiden tot een kwaliteit PVC-recyclelaat die niet voor alle oorspronkelijke toepassingen geschikt is (men zou kunnen spreken van 'downcycling').

Gescheiden inzameling versus nascheiding - algemeen

VKG en BIS hebben voor respectievelijk kozijnen en buizen/leidingen selectieve inzamelsystemen die een deel van bovengenoemde moeilijkheden bij recycling ondervangen. Hierop wordt nader ingegaan in paragrafen 3.5.4 en 3.5.5 Doordat inzameling bij deze systemen selectief is, kan het materiaal weer relatief hoogwaardig worden toegepast. Naarmate de verontreiniging toeneemt daalt de kwaliteit van het recyclelaat of ontstaat er meer uitval dat moet worden afgedankt. Nascheidingsroutes, waarbij PVC uit integraal

ingezameld afval wordt gehaald, hebben per massa-eenheid waarschijnlijk een iets slechtere milieuprestatie door milieubelasting van het extra sorteren en mogelijk meer uitval.

Ten tweede is PVC uit nascheiding niet geschikt voor alle toepassingen. Zo kunnen buizen en leidingen goed van PVC uit nascheiding geproduceerd worden en is het geen probleem wanneer er bijvoorbeeld PVC uit kozijnen in het recyclaat zit, terwijl kozijnen feitelijk alleen kunnen worden geproduceerd uit 'kozijnen-PVC' en de aanwezigheid van ander PVC in het recyclaat daar wel al snel een probleem is. Praktijkervaring leert dat gerecycled PVC uit nascheiding voor toepassing in buizen en leidingen een vergelijkbare kwaliteit kan hebben als gerecycled PVC uit het BIS-systeem [BRBS Recycling, 2010]. Ten derde is nog relevant dat - los van de vraag voor welke toepassing het ingezamelde PVC het meest geschikt is en of de milieuwinst bij nascheiding wel of niet lager is dan bij gescheiden inzameling - systemen die zich richten op nascheiding mogelijk wel een grotere omvang kunnen krijgen dan diverse systemen die zich selectief richten op de gescheiden inzameling van specifieke vormen van PVC.

Gescheiden inzameling versus nascheiding - uitwerking in deze studie

Voor deze studie zijn onvoldoende gegevens gevonden over de mate van uitval bij nascheiding en is voor het uitwerken van de recyclingroute primair aangesloten bij de data zoals die bekend zijn voor het VKG-systeem wat neerkomt op het vervangen van 900 kg primair PVC per ton ingezameld PVC-afval (paragraaf 3.5.4). Enerzijds kan dit betekenen dat de omvang van uitval voor de route 'nascheiding' wordt onderschat doordat dit materiaal in het algemeen meer vervuild is dan gescheiden ingezameld materieel, maar anderzijds is door aansluiting bij het VKG-systeem wel gekozen voor het systeem dat de hoogste eisen stelt aan de kwaliteit en homogeniteit van het recyclaat wat weer tot meer uitval kan leiden dan een systeem dat zich richt op hergebruik in leidingen.

In deze studie is verder geen onderscheid gemaakt in toepassing van secundair PVC in kozijnen, danwel in buizen en leidingen. In beide gevallen wordt eenzelfde hoeveelheid primair PVC vermeden en dus levert inzet van kozijn-PVC in kozijnen op dit punt hetzelfde op als inzet van kozijn-PVC in buizen en leidingen.

Andere vormen van recycling, niet meegenomen in deze studie

“Vinyloop” is een mechanische recycling technologie van Solvay gebaseerd op oplosmiddelen die rond deze tijd op grote schaal in praktijk zou moeten zijn. Uit 1425 kg PVC afval wordt 1 ton R-PVC (gerecycled PVC) teruggewonnen en ontstaat 285 kg filterresidu en 140 kg decanteringsresidu [Vinyl 2010, 2009]. Er zijn geen LCI of LCA data gevonden; dit alternatief blijft in deze studie verder buiten beschouwing.

Naast mechanische recycling bestaat er ook chemische recycling waarbij PVC wordt teruggebracht tot de elementen waaruit het werd opgebouwd [EC, 2004]. Er is geen LCI of LCA data gevonden; chemische recycling blijft in deze studie verder buiten beschouwing.

3.5.4 Kozijnen recycling

Data over recycling van kozijnen maakte onderdeel uit van een LCA ten behoeve van een MRPI-blad²², die op verzoek van opdrachtgever VKG beschikbaar is gesteld (Rouwette, 2006). De hierna volgende beschrijving van de verwerking aan het einde van de levenscyclus is deels daarop gebaseerd. In het kader van het PVC onderzoek gaat de aandacht uit naar PVC, maar de meeste overige materialen uit het kozijn kennen ook wat hogere recyclingpercentages dan dat anders gebruikelijk zijn. Dit neveneffect van het recyclen van PVC op andere materiaalketens is buiten beschouwing gelaten in deze studie.

²² MRPI = MilieuRelevante ProductInformatie, een ecolabel type III (LCA) van de Nederlandse toeleverende bouwindustrie (NVTB).

Kunststof gevelelementen bestaan uit materialen die hergebruikt en gerecycled kunnen worden. Vrijwel alle gevelelementen die vrijkomen worden in het recyclingsysteem teruggenomen, geshredderd en gescheiden in de verschillende materialen. Het recyclingsysteem garandeert dat alle materialen uit de gebruikte gevelelementen die worden ingeleverd weer worden ingezet in hernieuwde productie; 10% van het materiaal wordt echter afgekeurd en belandt in een AVI.

Voor de productie van nieuwe kunststof profielen wordt tot 70% secundair materiaal ingezet. Technisch is het zelfs mogelijk 100% secundair materiaal in te zetten bij de productie van nieuwe kozijnen, tenzij het hagelwitte kozijnen moeten worden. In de praktijk gebeurt dit echter niet, en zal tot 70% secundair materiaal worden ingezet. De profielleveranciers maken een coextrusie, waarbij met name de esthetische kwaliteit van de buitenlaag zorgt voor primair inzet van vaak een witte virgin laag. Het materiaal kan op deze wijze tien cycli worden gebruikt. Doordat de kozijnen in het geheel worden afgevoerd en pas na het shredderen de materialen worden gescheiden, ontstaat er geen verlies van materiaal.

Het afvalscenario voor kunststof gevelelementen in de MRPI-studie (Rouwette, 2006) is als volgt:

- PVC onderdelen: 100% recycling binnen het retoursysteem aan het eind van de 3de cyclus verbranding in een AVI
- Stelkozijn – PVC: 100% recycling binnen het retoursysteem aan het eind van de 3de cyclus verbranding in een AVI
- Overige onderdelen/materialen, die veelal ook hogere recyclingpercentages kennen dan gangbaar, blijven in het kader van dit PVC onderzoek buiten beschouwing.

Het PVC kan theoretisch 10 keer gerecycled worden. Vanwege de hardheidsclausule (in MRPI), die zegt dat het aantal cycli aantoonbaar moet zijn, is in de VKG LCA uitgegaan van slechts 3 cycli (twee keer recycling en daarna verbranding). Voor het PVC dat via het VKG systeem wordt verwerkt is op basis van aanvullend verstrekte procesgegevens uitgegaan van transport naar een verwerker, elektriciteitsverbruik voor shredderen en granuleren en een enkele emissie. Voorts wordt gemeld dat er 10% uitval is dat niet closed loop wordt ingezet. Daarvoor is verbranding in een AVI aangenomen. De vermeden inzet van primair PVC is toegerekend bij de recycling. In afwijking van de VKG MRPI wordt voor het doel van deze studie aangehouden dat elke ton PVC recycleert een ton primair PVC vermijdt. Met elke ton PVC kozijnschroot wordt zodoende 900 kg primair PVC (zoals ingezet bij kozijn productie; zie 3.3.1) vermeden en 100 kg verbrand in een AVI. Dat geeft het best weer wat er de komende decennia daadwerkelijk gebeurt: secundair PVC uit kozijnen vermijdt het gebruik van primair PVC. Om een idee te krijgen van de consequentie van deze aanname is het uitgangspunt uit de VKG LCA als gevoeligheidsanalyse ook doorgerekend. Zie paragraaf 4.1 onder Figuur 10.

3.5.5 Buizen recycling

Het BIS systeem staat open voor meerdere kunststoffen, waaronder PVC. Ook bij BIS en aangesloten leden zijn vragen om LCI informatie uitgezet. Omdat dat niet heeft geleid tot voor de LCA bruikbare data over het BIS recycle systeem en omdat de PVC recycling naar verwachting vergelijkbaar is met PVC recycling volgens het VKG systeem, zijn die procesdata gehanteerd voor wat betreft energieverbruik en transport. Verschil is dat hier 'PVC voor buizen' (met wat minder stabilisator; zie 3.3.2) wordt uitgespaard. Net als bij VKG is er gerekend met 10% uitval die in een AVI wordt verwerkt. Met elke ton PVC BIS schroot wordt zodoende 900 kg primair PVC, zoals ingezet bij buizenproductie, vermeden. De overige 100 kg wordt verbrand.

3.5.6 Kabels recycling

Kabelafval kan worden verwerkt door middel van cryogeen malen (bevroren gevolgd door malen) of via het eerder genoemde Vinylloop-proces, afhankelijk van de zuiverheid van de afvalstroom. Het gebeurt al wel, maar wat er precies wordt vermeden door inzet van dit recycleert is niet duidelijk. Er zijn geen LCI of

LCA data gevonden²³, waardoor de milieueffecten van het recyclen van PVC kabel niet kunnen worden gekwantificeerd zoals dat voor recycling van kozijnen is gebeurd. Het is, gezien de beschrijving van de zacht PVC recycleprocessen en het grote aandeel weekmaker, zeer waarschijnlijk dat recycling meer milieubelasting met zich meebrengt en mogelijk minder granulaat oplevert dat primair PVC vervangt dan in het geval van hard PVC. Gezien de goede resultaten van kozijnrecycling is recycling van zacht PVC echter ook interessant wanneer het bijvoorbeeld maar half zo veel milieuwinst oplevert.

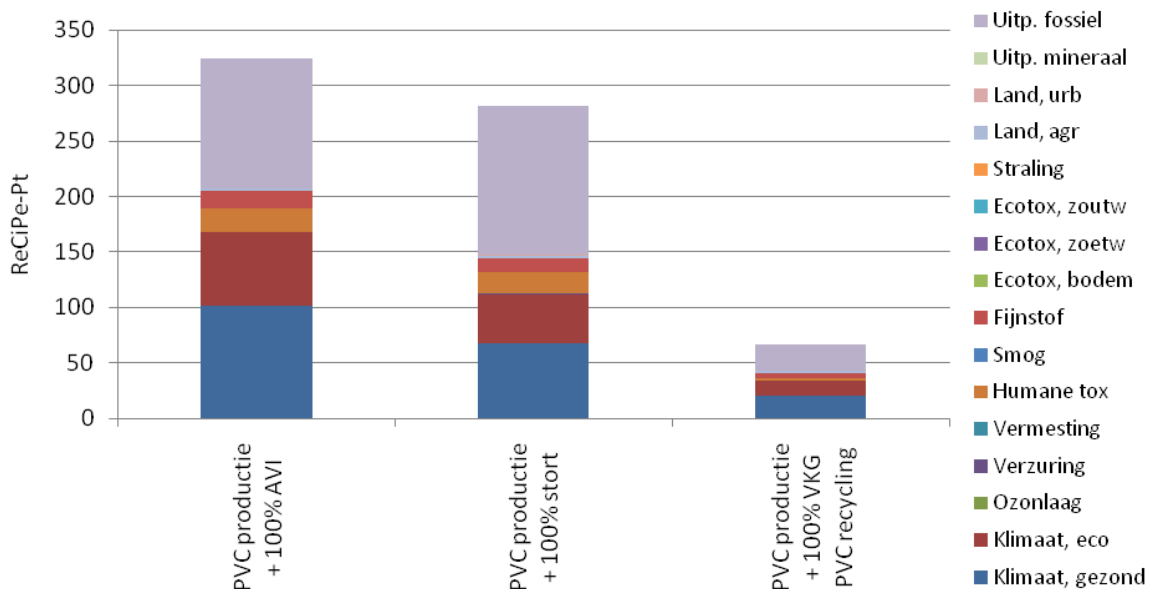
²³ De Stuurgroep PVC heeft bij lezing van het eindconcept gewezen op “PVC Recovery Options Environmental and Economic System Analysis” van PE Europe in opdracht van Vinyl 2010. Deze studie kan data bevatten die in een latere fase tot verdere verfijning kan leiden.

4. Resultaten PVC

In dit hoofdstuk worden voor de drie subketens (kozijnen, buizen en kabels) de milieubelasting beschreven van winning, productie, gebruik, afval per eenheid toegepast PVC, gebaseerd op de aannamen zoals verwoord in Hoofdstuk 3. Voor zover de data het toelaten, wordt verder ingezoomd op de ketenstappen die het meest bijdragen.

4.1 PVC kozijnen

Een kunststof kozijn bestaat uit veel meer materialen dan alleen PVC (zie voor samenstelling Bijlage 2). Een kunststof kozijn met 1 m² ‘zichtbaar oppervlak’ weegt 94,5 kg, waarvan 55,5 kg bestaat uit PVC. Om zicht te houden op PVC worden allereerst in Figuur 8 per ton PVC toegepast in een kozijn de levenscycli (productie en afvalverwerking via respectievelijk AVI, stort en VKG recycling) naast elkaar gezet.

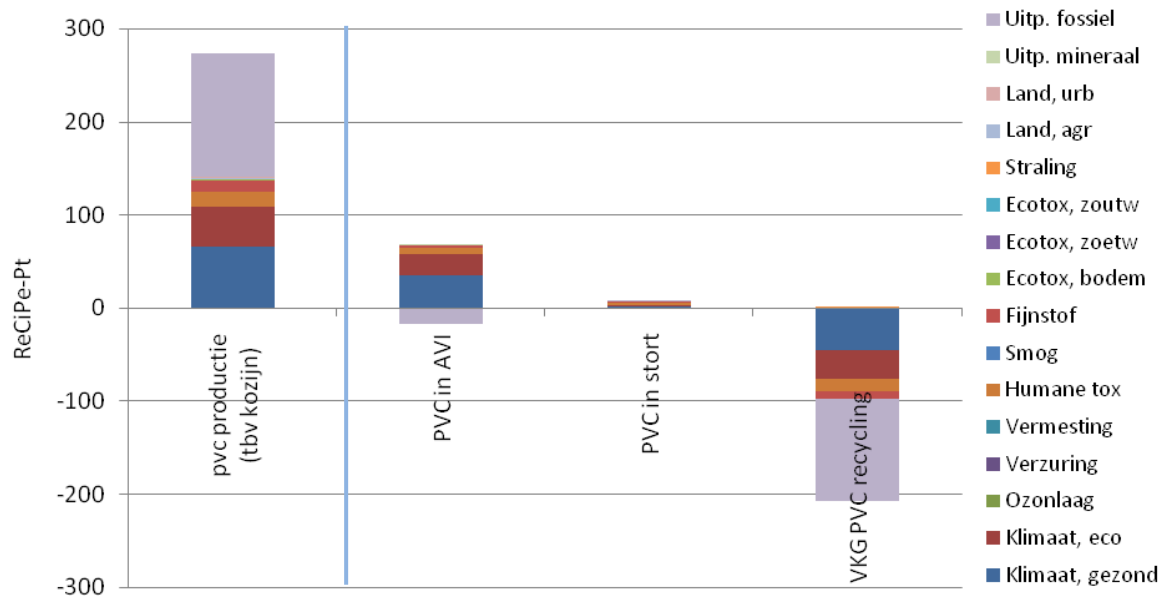


Figuur 8: PVC in kozijn, levenscyclus (per ton): productie + afdanking via AVI / stort / VKG²⁴

De levenscyclus met recycling scoort duidelijk veel beter dan de levenscycli met verbranding (-79%) en stort (-76%).

Figuur 9 laat per ton PVC toegepast in een kozijn de materiaalproductie en afvalverwerkingsopties apart zien. Figuur 8 en Figuur 9 geven de uitersten weer omdat steeds met 100% van de betreffende afvalverwerkingsoptie is gerekend.

²⁴ Afdanking via VKG betekent hier per ton PVC-afval het vervangen van 900 kg primair PVC en het verbranden van 100 kg PVC in een AVI; zie paragraaf 3.5.4.



Figuur 9: Productie PVC ten behoeve van kozijn en afdankingsopties apart (allen per ton)

De verklaring van de PVC productie score wordt beschreven in paragrafen 3.1.3 (polyvinylchloride), 3.2.1 (additieven) 3.2.2 (extrusie) en 3.3.1 (kozijnproductie).

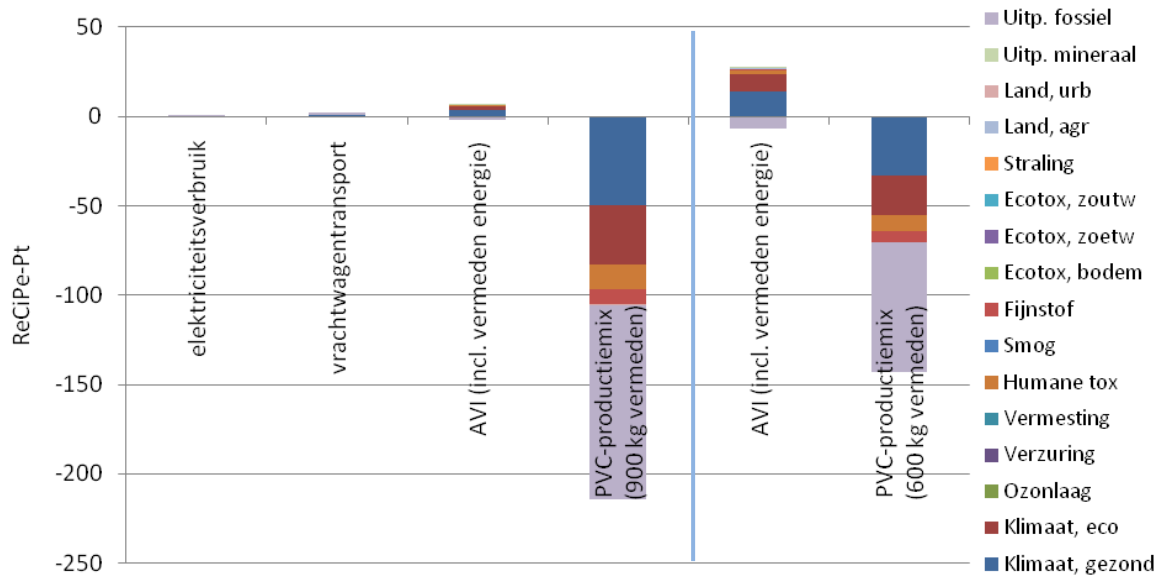
Bij PVC in AVI draagt elektriciteitsverbruik voor natriumhydroxideproductie voor meer dan een derde bij aan de bruto score boven de X-as (135 Pt), voor het overige bepalen emissies de score voornamelijk CO₂-emissie. De vermeden elektriciteitsproductie (bruto – 76 Pt) en warmteproductie (bruto -11 Pt) zorgen voor de netto score van PVC in de AVI: 50 Pt per ton verbrand PVC. Zie ook paragraaf 3.5.1.

Zie voor toelichting op PVC in stort paragraaf 3.5.2. De VKG PVC recycling wordt hierna beschreven.

Extrusie (Figuur 7), de productie van een kozijn uit het ruwe profiel (paragraaf 3.3.1) en het rekening houden met stabilisator (Figuur 6) verklaren het verschil in productie van PVC in deze figuur met de PVC-productiemix in Figuur 4. Dat stort beter scoort dan verbranden is, door de relatief lage verbrandingswaarde van PVC en de geringe impact van stort, geen verrassing. PVC recycling scoort veel beter dan stort (of verbranden in een AVI). Uit Figuur 10 blijkt dat het beetje elektriciteitsverbruik voor recycling en transport dusdanig is, dat het ruimschoots wordt gecompenseerd door de besparing op primair PVC.

Een nader onderscheid in winning grondstoffen en productie is op basis van de geaggregeerde data niet mogelijk. Zie Hoofdstuk 3 voor nadere toelichting en meer inzicht in de milieubelasting van onderliggende processen.

Figuur 10 presenteert in de eerste vier staven hoe de VKG PVC recycling (laatste staaf in Figuur 9) is opgebouwd. Zoals beschreven in paragraaf 3.5.4 is hierbij voor alle PVC die voor recycling wordt aangeboden uitgegaan van 90% vervanging van primair PVC en 10% dat naar de AVI gaat.

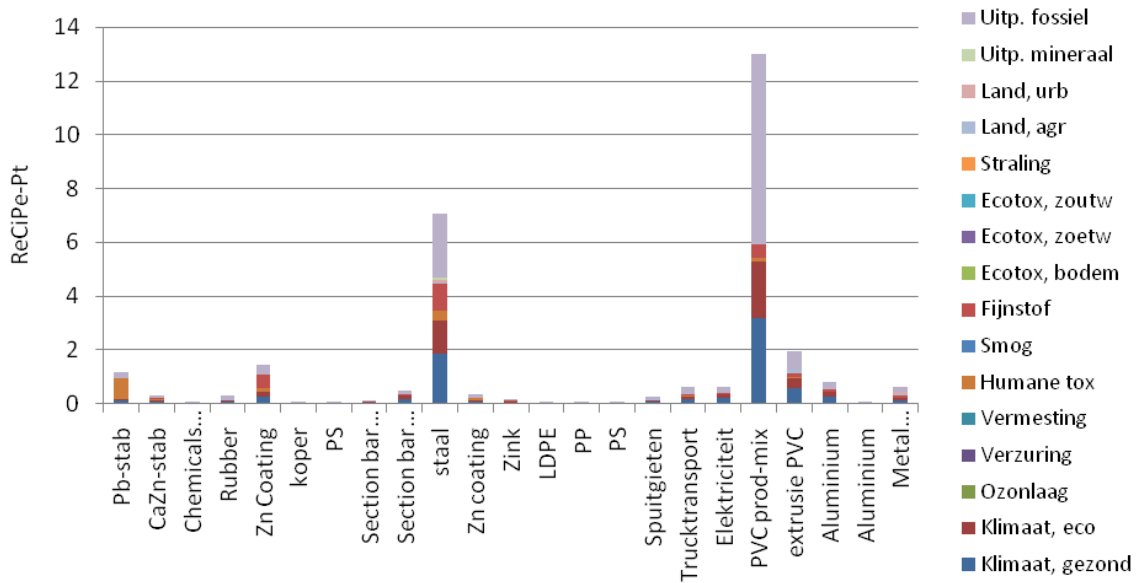


Figuur 10: VKG recycling per ton verwerkt PVC; bijdragen van de processen (totaal: -207 Pt) en gevoeligheidsanalyse met tweemaal recycling (rechts van de verticale lijn; totaal: -121 Pt)

De VKG MRPI LCA uitgangspunten, met tweemaal recycling en daarna AVI, zijn als gevoeligheidsanalyse doorgerekend. Dat levert een score van -121 Pt/ton, in plaats van -207 Pt/ton. Zie Figuur 10: de laatste staaf geeft nu 60% vermeden PVC productie weer en de voorlaatste staaf geeft nu 40% AVI weer (in plaats van 90% en 10%, zichtbaar in de vierde en derde staaf).

Deze gevoeligheidsanalyse laat zien dat het resultaat aanzienlijk verandert wanneer de VKG uitgangspunten strikt worden gehanteerd. Het zou echter niet tot een andere eindconclusie leiden: recycling van PVC kozijnen is verreweg de beste optie.

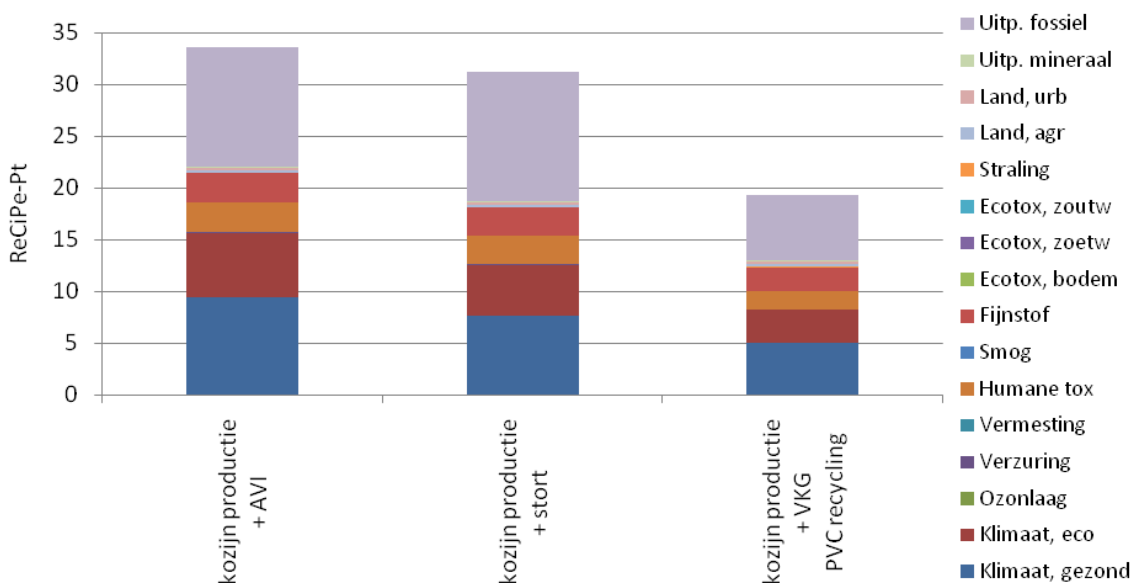
Zoals in 3.3.1 beschreven bestaat een PVC kozijn uit meer dan PVC. Figuur 11 geeft inzicht in de bijdragen van de productie van de diverse materialen waaruit het kozijn (warmtedoorgangscoefficient $U=1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$) is opgebouwd.



Figuur 11 PVC kozijnproductie, bijdragen van de verschillende processen (totaal = 29,4 Pt/m²)

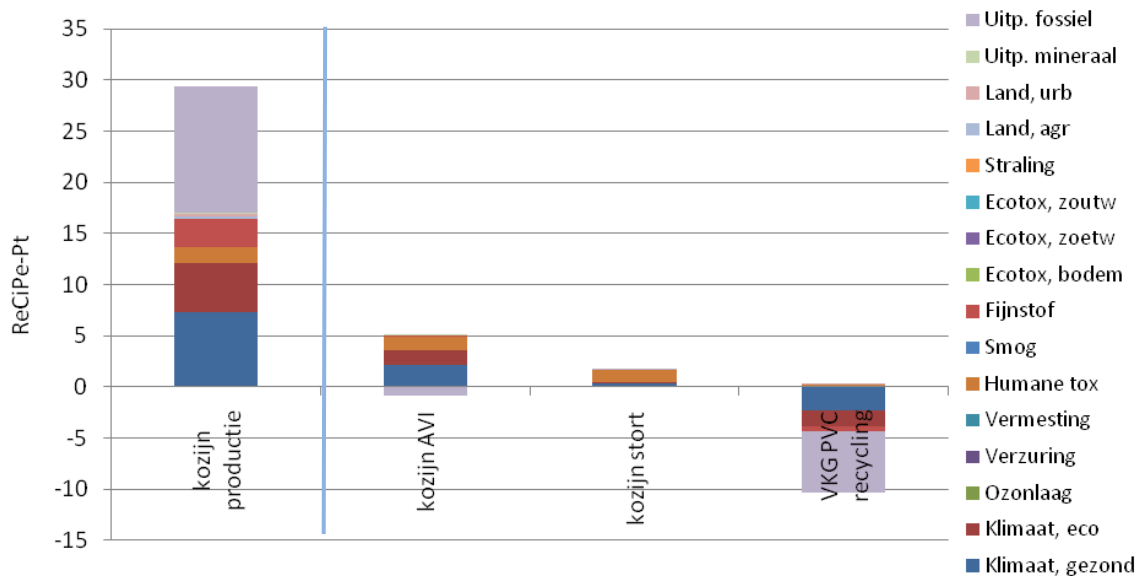
Het aandeel van PVC (inclusief stabilisator en extrusie) bedraagt met 16,4 Pt/m² ongeveer 56% in de productie van een kozijn. Voor de vergelijking met aluminium en houten kozijnen is het kunststof kozijn als geheel (inclusief hang- en sluitwerk) beschouwd, omdat niet alleen het hoofdmateriaal verschilt maar daarmee ook het ontwerp van het kozijn.

Een nadere beschouwing van de levenscycli (productie en afvalverwerking via respectievelijk AVI, stort en VKG-recycling) van 1 m² kozijn (PVC en overige materialen; zie Bijlage 2) levert Figuur 12. De vorm van Figuur 12 wijkt af van de vorm van Figuur 8 omdat de verschillen in het resultaat ‘gedempt’ worden door de productie en afvalverwerking van de overige materialen in het kozijn. Zo worden bijvoorbeeld de metalen, ongeacht de verwerkingsroute, steeds grotendeels gerecycled. Voor zicht op uitsluitend het PVC deel per m² kan Figuur 8 met gegevens per ton PVC als basis dienen, gecombineerd met het gegeven dat een kunststof kozijn met 1 m² ‘zichtbaar oppervlak’ voor 55,5 kg bestaat uit PVC.



Figuur 12: Kunststof kozijn levenscyclus (per m²): productie + afdanking via AVI / stort / VKG

Figuur 13 laat de uitsplitsing naar de materiaalproductie en verschillende afvalverwerkingsopties apart zien. De productie is opgebouwd uit de onderdelen die in Figuur 11 zichtbaar zijn. De niet PVC-delen bepalen 44% van de score.

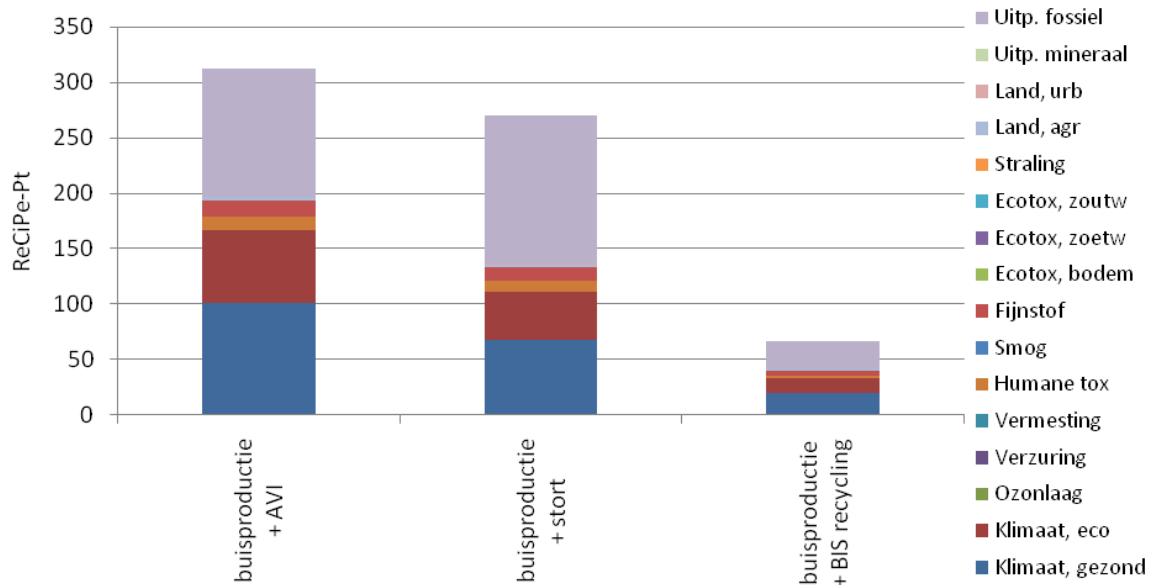


Figuur 13: Kunststof kozijn: productie en afdankingsopties apart (allen per m²)

Zoals eerder opgemerkt is bij productie geen nader onderscheid te maken in grondstofwinning en is de gebruiksfase op “0” gesteld. Zie 3.4.1.

4.2 PVC buizen

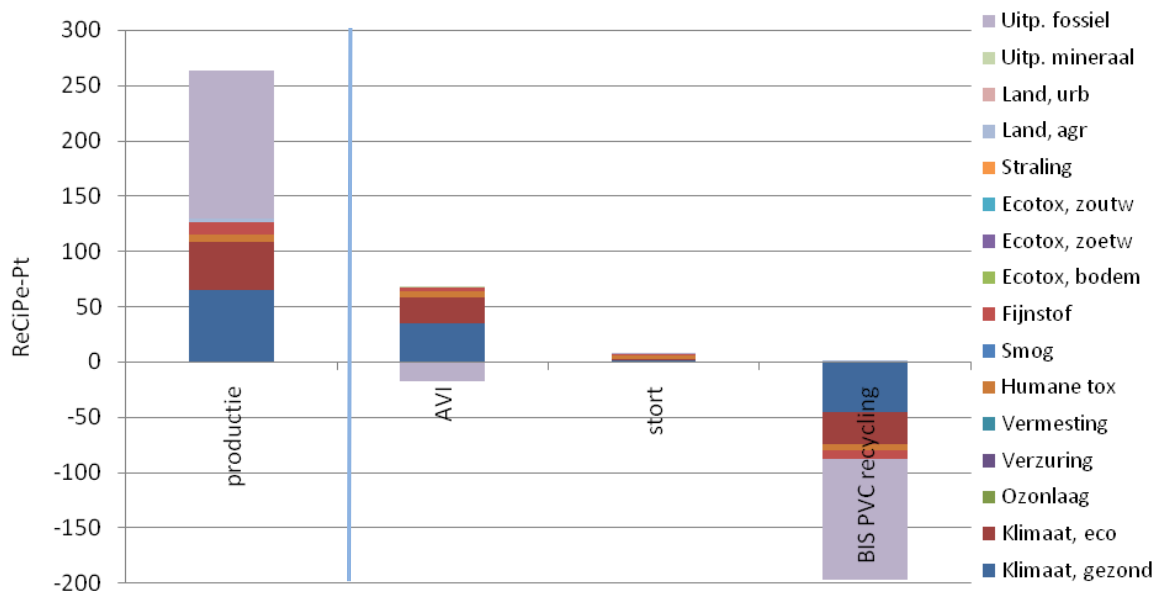
In deze paragraaf is de milieubelasting per ton PVC buis opgenomen: de materiaalproductie en afdankingsopties stort, AVI en recycling. De milieu-impact van de gebruiksfase is op “0” gesteld (zie paragraaf 3.4.2). Bij gebrek aan data aangenomen dat het kozijn recyclesysteem ook representatief is voor buizen, hetgeen gerechtvaardigd lijkt omdat beide systemen hard PVC verwerken, dat met relatief weinig verontreiniging wordt aangeboden. Ook hier kan de grondstoffenwinning niet apart worden onderscheiden van de productie. Figuur 14 en Figuur 15 geven de uitersten weer omdat steeds met 100% van de betreffende afvalverwerkingsoptie is gerekend.



Figuur 14: PVC buis, levenscyclus (per ton): productie + afdanking via AVI / stort / BIS recycling²⁵

Ook hier scoort de levenscyclus met recycling duidelijk veel beter dan de levenscycli met verbranding (-79%) en stort (-76%).

Figuur 15 laat per ton PVC toegepast in een kozijn de materiaalproductie en afvalverwerkingsopties apart zien.



Figuur 15: PVC buisproductie en -afanking via AVI, stort en BIS recycling apart (allen per ton)

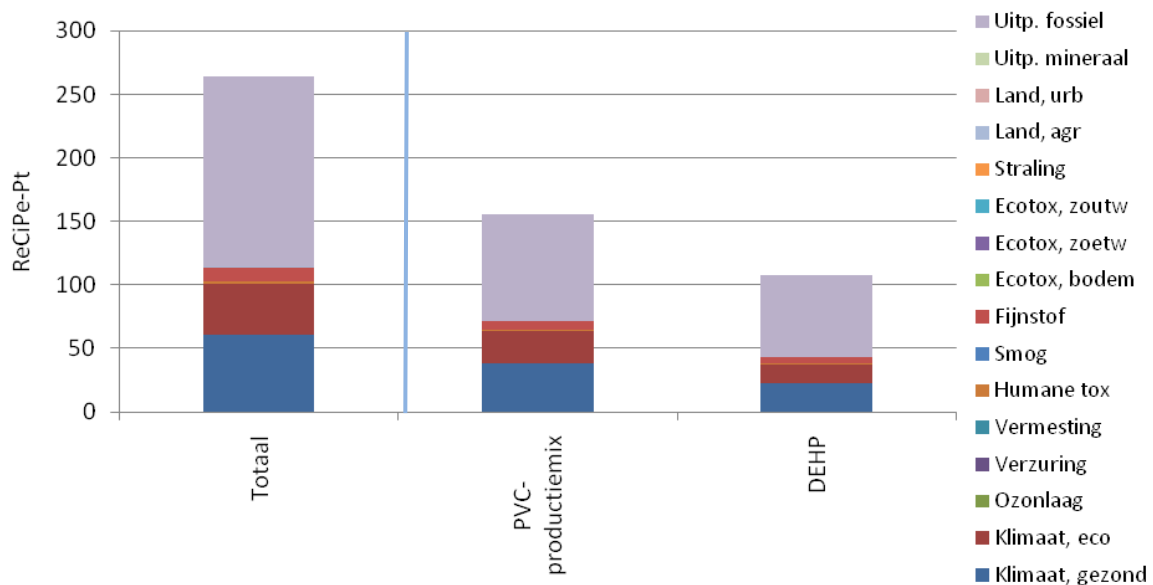
Bovenstaande figuur lijkt sterk op Figuur 9. Het verschil in productie tussen PVC voor kozijn en PVC voor buis wordt verklaard door de kleinere hoeveelheid stabilisator (50% lood- en 50% calciumzink stabilisator) bij buis. Omdat er voor buisproductie geen nadere bewerkingen bekend zijn, na extrusie,

²⁵ BIS recycling betekent hier per ton PVC-afval het vervangen van 900 kg primair PVC en het verbranden van 100 kg PVC in een AVI; zie paragraaf 3.5.5.

ontstaat uit deze cijfers per ton buis via omrekening naar strekkende meters het milieuprofiel dat in het volgende hoofdstuk gepresenteerd is naast alternatieven.

4.3 PVC kabels

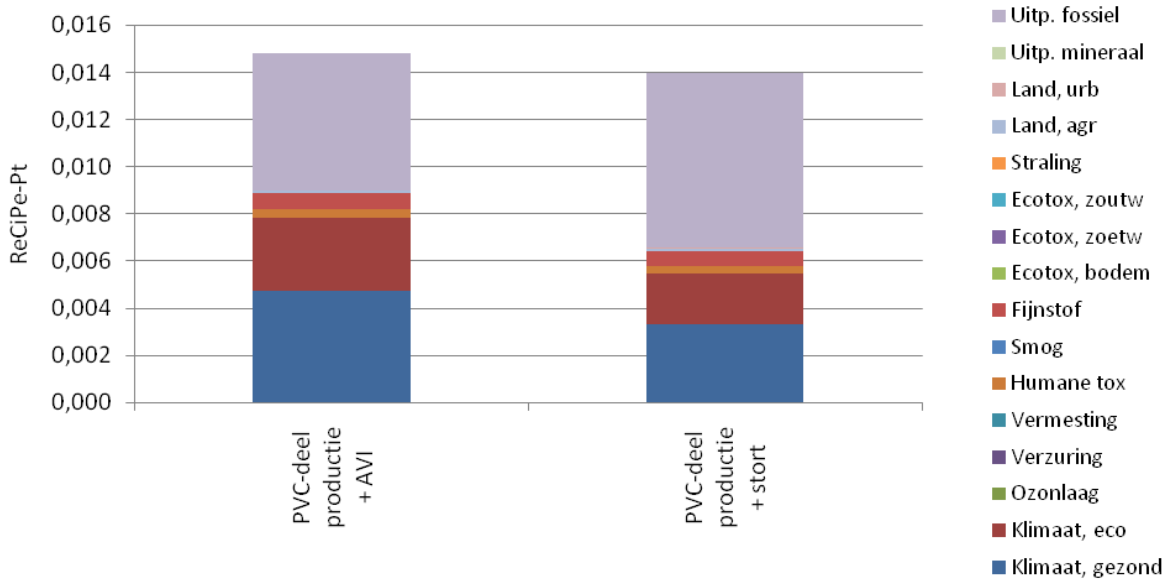
Figuur 16 laat de milieubelasting van PVC voor kabels, met 30% weekmaker, zien. De resultaten zijn uitgedrukt per ton zacht PVC.



Figuur 16: Productie zacht PVC ten behoeve van kabel (per ton zacht PVC)

Zoals opgemerkt in 3.2.1 is milieubelasting van weekmaker 60% hoger dan die van PVC, waarmee de 30% weekmaker in zacht PVC een belangrijke bijdrage heeft aan de milieubelasting van zacht PVC productie. Bij DEHP zijn het de xyleen-, ethyleen- en paraffine productie en energie-inzet, die 95% van de score bepalen.

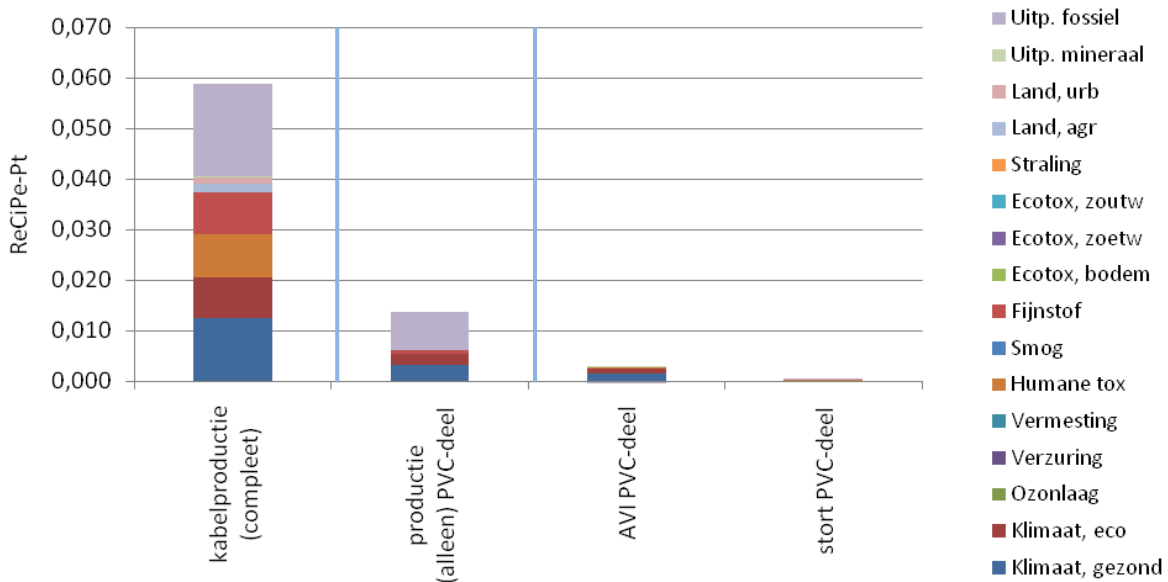
Figuur 18 laat de milieubelasting per meter kabel zien; eerst voor de complete kabel (zonder stekker) en vervolgens alleen voor het PVC deel. Per strekkende meter bevat de kabel 0,0454 kg isolatie en buitenmantel, die volledig uit PVC (met weekmaker) bestaan.



Figuur 17: PVC kabel (alleen PVC deel): productie + afdanking via AVI / stort (per m)

Ook hier is het verschil tussen PVC productie en afdanking via AVI en PVC productie en afdanking via stort gering (5%). Voor recycling van kabel kon onvoldoende kwantitatieve informatie worden gevonden, waardoor het niet in de LCA kon worden meegenomen.

Figuur 18 laat de PVC kabelproductie, compleet en alleen het PVC deel, zien en van het PVC-deel de verwerking in AVI en stort.



Figuur 18: PVC kabelproductie (compleet en alleen PVC deel) en PVC-deel AVI en stort (per m)

Doordat weekmaker een hogere verbrandingswaarde heeft dan PVC, heeft de AVI per saldo minder milieupact door meer vermeden energieopwekking ten opzichte van PVC zonder additieven.

Zoals beschreven in paragraaf 3.5.3 kon, bij gebrek aan data, het recyclen van PVC kabels niet worden gekwantificeerd. Het gebeurt echter al wel. Wat er precies wordt vermeden door inzet van dit recyclaat is

niet duidelijk. Gezien de goede resultaten van recycling van hard PVC is recycling van zacht PVC waarschijnlijk ook interessant, zelfs wanneer het bijvoorbeeld maar half zo veel milieuwinst oplevert.

5. Alternatieven voor PVC

Voor de PVC subketens kozijnen, buizen en kabels worden in dit hoofdstuk alternatieven toegelicht. Deels is dat het opschalen van wat al in de praktijk gebeurt (en dus onderdeel van de nul-meting), deels zijn het nieuwe initiatieven of ideeën. De alternatieven zijn:

1. Kozijnen
 - Alternatieven zijn recycling, verbranden en storten.
 - Daarnaast is een vergelijking tussen PVC, aluminium en hout opgenomen.
2. Leidingen/buizen (hard PVC)
 - Alternatieven zijn recycling, verbranden en storten.
 - Daarnaast is ook het alternatief afvoerbuizen ‘afsluiten en achterlaten zonder ze op te graven’ (dus geen verwerking) bekeken.
 - Tot slot is een vergelijking gemaakt tussen afvoerbuizen van PVC met gres, beton en polyetheen.
3. Kabels (aan wit- en bruingoed en draden in leidingen = zacht PVC) en installatiedraad
 - Alternatieven zijn strippen (om het koper) en PVC vervolgens naar stort, verbranden of recycling.
 - Daarnaast is bekeken wat bij uitvoer naar bijvoorbeeld China gebeurt: kabelbranderijen, met luchtmissies als dioxinen.
 - Tot slot is tevens gekeken naar een vergelijking met tussen PVC en rubber voor deze toepassing.

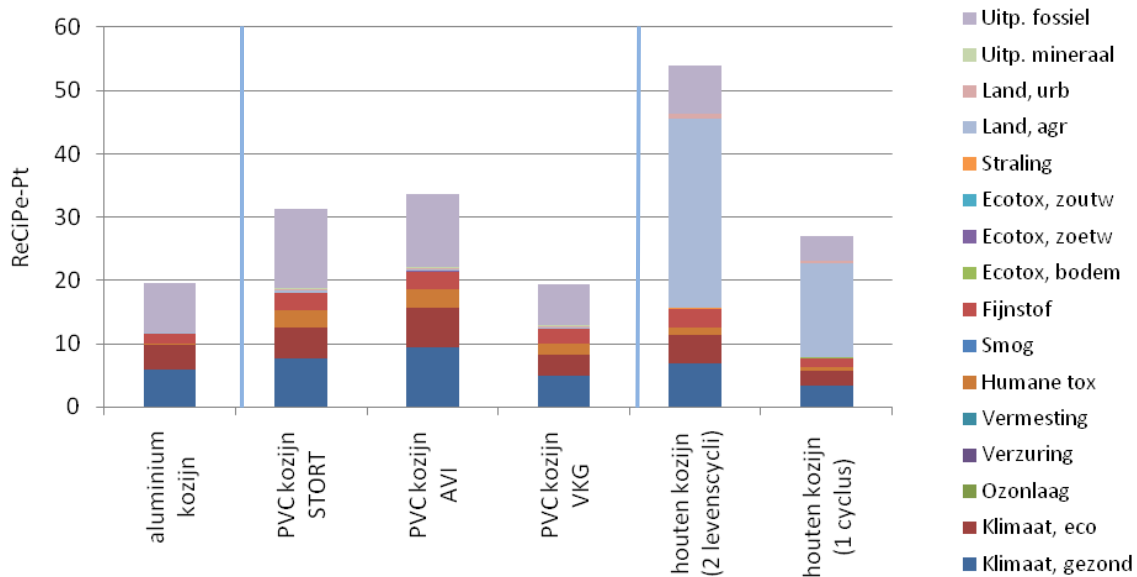
5.1 Kozijnen

Naast de voor PVC beschreven variaties in productie en afdankingsroutes kan het PVC kozijn worden vergeleken met alternatieven van aluminium en hout met vergelijkbare warmteweerstand (zie paragraaf 3.4.1). Om tot een zo goed mogelijke vergelijking te komen is uitgegaan van de levenscyclus (productie en afdanking) van de drie kozijntypen (compleet, dus inclusief alle andere benodigde materialen, maar exclusief glas) zoals die voor deze materialen in Ecoinvent zijn opgenomen. Bij PVC hebben hierop de eerder in dit rapport beschreven aanpassingen plaatsgevonden, met name is stabilisator aan PVC toegevoegd en is het VKG recycle systeem opgenomen, alsmede vermeden energieopwekking bij verbranding in een AVI.

Voor recycling van aluminium kozijnen wordt gerekend met het recyclingpercentage dat door de Vereniging Metalen Ramen en Gevelbranche (VMRG) is opgegeven: 94%. De overige 6% gaat naar de AVI, waarna 47% via eddy current wordt gescheiden uit de bodemassen. In het recyclingproces zelf is er een verlies van 10,8% [EAA 2008]. Vanwege de economische waarde van aluminium is het onwaarschijnlijk dat het recyclepercentage (94%) veel lager ligt, reden waarom er bij onderstaande vergelijking geen varianten zijn opgenomen. Alle aanpassingen aan het aluminium kozijn, zoals dat in Ecoinvent is opgenomen, zijn beschreven in het deelrapport rapport over aluminium dat in dit kader is opgesteld.

Voor het houten kozijn is uitgegaan van het enige houten kozijn in Ecoinvent “Window frame, wood, U=1.5 W/m²K, at plant/RER U”. Het betreft een zacht houten kozijn want het in dit proces gebruikte hout is 0,211 m³ zacht hout en 0,00171 m³ hardhout. Voor onderhoud gedurende de levensduur is extra verf opgenomen. Hierbij is aangenomen dat de totale hoeveelheid verf die initieel nodig is in de kozijnproductie nogmaals nodig is tijdens de levensduur: 5,49 kg. De invloed van deze aanname op het resultaat blijkt uit de bijdrage van 5,49 kg verf: 1,68 Pt (6,2%) op een totaal van 26,9 Pt voor een houten kozijn levenscyclus. Zie laatste staaf in Figuur 19. Het hout wordt aan het einde van de levenscyclus verbrand in een AVI, waarbij vermeden energieproductie is verrekend (zie paragraaf 3.5.1).

Gezien de onzekerheid omtrent levensduren (zie paragraaf 3.4.1) is er voor gekozen om bij de kozijnenvergelijking voor een aluminium en PVC kozijn van 1 levenscyclus uit te gaan, en voor het zachthouten kozijn van 2 levenscycli - met 1 levenscyclus als gevoeligheidsanalyse.



Figuur 19: Vergelijking van de levenscyclus van 3 typen complete kozijnen per m²: aluminium, PVC (afdanking via stort, AVI en VKG) en hout (2 en 1 levenscycli)

De meest in het oog springende zaken zijn:

- Het PVC kozijn met afdanking via VKG en aluminium scoren (nagenoeg even) goed. Net als bij PVC is dat bij aluminium dankzij het hoge recyclingpercentage van 94%.
- Hout scoort hoog op landgebruik. Deze impactcategorie kent relatief grotere onzekerheden. Indien landgebruik buiten beschouwing blijft dan valt hout in dezelfde range als aluminium en PVC.
- Hout scoort het slechtst ervan uitgaand dat het minder lang mee gaat dan aluminium en PVC, en mits zowel PVC als aluminium aan het einde van de kozijnlevensduur worden gerecycled.
- Voor PVC zijn de varianten stort, verbranden en recyclen opgenomen om inzicht te krijgen in de bandbreedte van de resultaten. Voor alle andere (niet-PVC) materialen is steeds de standaard Ecoinvent verwerkingsroute opgenomen (deze varieert niet).

5.2 Buizen

De vergelijkingseenheid voor buizen (“Vrijverval riool”) is 5 strekkende meters met een inwendige diameter van 200 mm. De levensduur van alle alternatieven wordt gelijk verondersteld (50 jaar)²⁶. Naast PVC, dat 21,9 kg per 5 meter weegt, zijn de materiaalalternatieven:

1. PVC weegt 21,9 kg per 5 meter (wanddikte 4,9 mm; zie 3.3.2)
2. Gres weegt gemiddeld 200 kg gres per 5 meter²⁷.
3. Beton weegt 260 kg per 5 meter²⁸.
4. Polyetheen (PE)²⁹ weegt 24,1 kg per 5 meter³⁰.

²⁶ Mededeling J. Driessen Grontmij, per e-mail december 2009.

²⁷ 100 kg per 2,5 meter (afhankelijk van het type verbinding; bron www.steinzeug.com Leveringsprogramma_dec09_5590.pdf)

²⁸ 52 kg per meter (<http://www.verhulstbeton.be/producten/betonbuizen>)

²⁹ Uitsluitend PE alternatieven voor **binnen**riolering zijn gevonden.

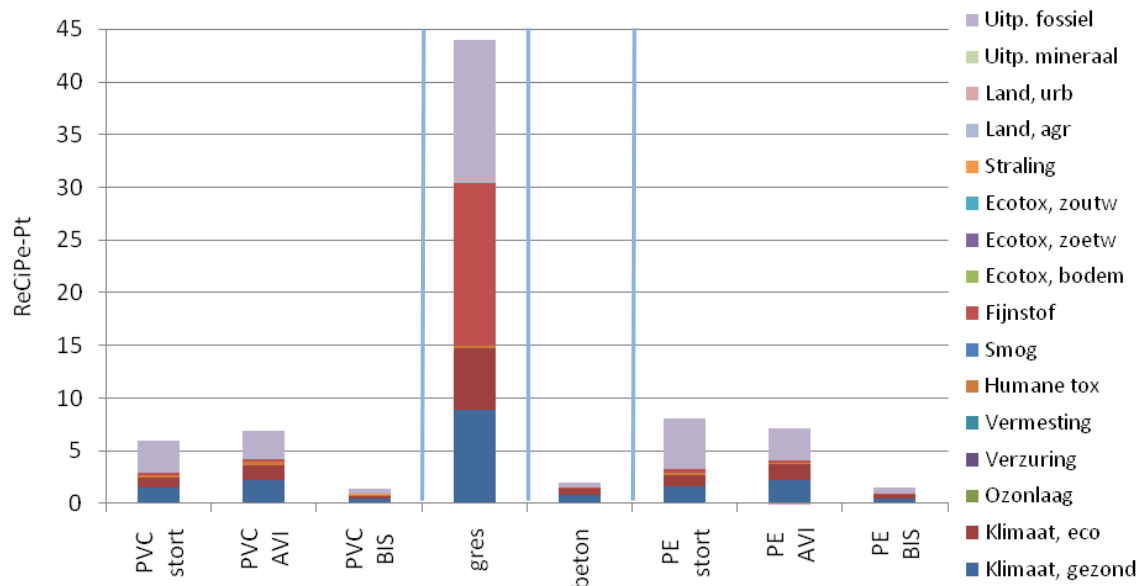
³⁰ Op basis van Wavin PE 80 buis met wanddikte van 7,7 mm; uitgaande van een soortelijk gewicht van 960 kg/m³. Een andere WAVIN 200 mm PE 80 buis heeft een wanddikte van 6,2 mm. Deze weegt 19,3 kg per 5 meter.

De eigenschappen van gres zitten in tussen die van aardewerk en porselein. Bij gebrek aan data van gres is er om deze reden voor gekozen om voor de gresproductie uit te gaan van het gemiddelde van twee processen uit Ecoinvent: “Sanitary ceramics, at regional storage/CH U” (289 Pt / ton) en “Ceramic tiles, at regional storage/CH U” (149 Pt / ton).

Voor beton “Concrete, normal, at plant/CH U” en gres is aan het einde levenscyclus de puinbreker voor 50% toegerekend.

Voor zowel gres als beton is als afdankscenario aangehouden dat 100% in een puinbreker wordt verwerkt (voor toepassing als ophoogmateriaal of grindvervanger). Voor PVC zie paragraaf 4.2.

Voor PE productiedata is uitgegaan van “Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U”, waarbij extrusie en stabilisatoren zijn opgenomen zoals bij PVC (zie paragraaf 3.3.2). Voor PE afdanking zijn stort, AVI en VKG apart weergegeven. Stort en AVI, nu met vermeden energieopwekking, op basis van de betreffende standaard PE processen in Ecoinvent. Het VKG proces omvat dezelfde ingrepen maar levert nu per ton PE afval 900 kg PE recycalaat dat primair PE met stabilisator vervangt.



Figuur 20: Levenscyclus buis: PVC, gres, beton en PE; productie en (diverse) afdanking (per 5 m)

Gres scoort duidelijk het slechtst (zie Tabel 20). De aannamen voor gres zijn vrij grof, maar het lijkt onwaarschijnlijk dat de milieupact daardoor bijvoorbeeld 100% te hoog is ingeschat. De hoge score is energiereleert en wordt veroorzaakt door de oven.

De vraag is of alle buizen dezelfde functie kunnen vervullen. Hun diameter is dezelfde, maar (1) wellicht kan gres bijvoorbeeld beter tegen wortels of zuren. Ook wordt wel betoogd dat (2) het verschil in gladheid van de binnenkant betekent dat buizen van verschillende materialen met eenzelfde diameter toch niet helemaal dezelfde capaciteit hebben. Verder is niet uit te sluiten dat (3) bijvoorbeeld vanwege het verschil in gewicht het plaatsen of lichten van buizen van verschillende materialen ook niet helemaal dezelfde milieudruk heeft (omdat bijvoorbeeld andere machines nodig zijn). Een punt is ook dat (4) buizen van verschillende materialen niet altijd even lekdicht zijn en dat soms zelfs bewust zou worden gestuurd op een bepaalde mate van permabiliteit (wat niet bij alle materialen even eenvoudig is). In deze studie zijn dergelijke specifieke verschillen - als zij er al echt zijn en zijn te kwantificeren - niet specifiek in rekening gebracht en is er vanuit gegaan dat buizen met eenzelfde diameter eenzelfde functie en levensduur kennen.

Hiervan uitgaande scoort PVC met recycling het best, direct gevolgd door PE met recycling en daarna beton.

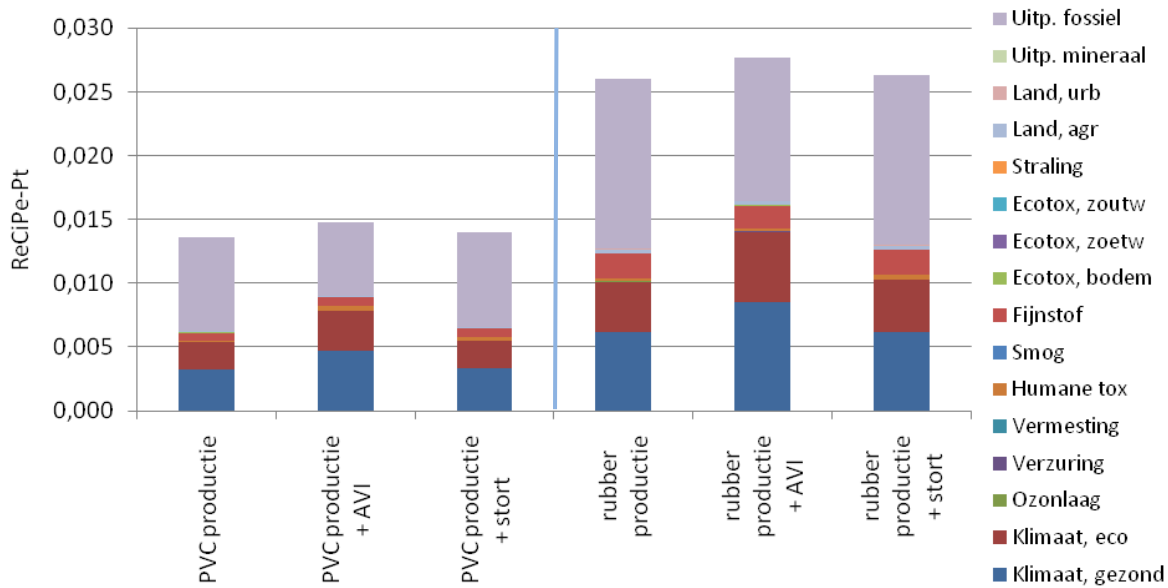
Als gevoeligheidsanalyse is ook naar 100 mm en 300 mm diameter gekeken. Beton en PE zijn niet aangetroffen in 100 mm (PP wel; niet verder beschouwd); gres weegt 70 kg per 5 meter en PVC 4 kg per 5 meter. Deze verhouding voor 100 mm ($70 \text{ kg} / 4 \text{ kg} = 17,5$) wijkt aanzienlijk af van de vergeleken 200 mm diameter ($200 \text{ kg} / 21,9 \text{ kg} = 9,1$). De conclusies voor pvc en gres veranderen daardoor echter niet. PVC en PE zijn niet aangetroffen in 300 mm; gres weegt 430 kg per 5 meter en beton 650 kg per 5 meter. Deze verhouding voor 300 mm ($650 \text{ kg} / 430 \text{ kg} = 1,5$) wijkt veel minder af van die voor 200 mm ($260 \text{ kg} / 200 \text{ kg} = 1,3$).

Het alternatief afvoerbuizen ‘afsluiten en achterlaten zonder ze op te graven’ (dus geen verwerking) is niet opgenomen in Figuur 20. De milieubelasting komt zeer dicht in de buurt bij het storten van het PVC (eerste staaf: 5,93 Pt per 5 meter ofwel 21,9 kg PVC buis). Een flinke graafmachine die een uur aan het werk is correspondeert met 2 Pt (of 0,15 Pt per ton ontgraven grond)³¹. De corresponderende hoeveelheid opgegraven buis is onbekend. Naar verwachting zijn dit zoveel meters dat de bijdrage aan de totale milieubelasting voor opgraven en recyclen te verwaarlozen is. Vanwege de onzekerheid in data (type graafmachine, diepte waarop de buis ligt, hoeveel tijd het kost per meter buis – en hoe dat verband houdt met de diameter) en het zeer geringe aandeel in de totale milieubelasting maakt dat de graafmachine is niet meegenomen bij de varianten in de volgende hoofdstukken. Het (vermeden) transport naar de stort (1 ton transport over 50 km komt overeen met 0,64 Pt) is eveneens gering.

5.3 Kabels

Bij de kabels is zoals besproken in paragraaf 3.3.3 naast een PVC variant ook een rubber variant doorgerekend. Het totaalgewicht van 1 meter kabel is 0,065 kg (zonder de bijbehorende stekkers). Per strekkende meter bevat deze kabel 0,0454 kg isolatie en buitenmantel, die volledig uit PVC (met weekmaker) of rubber kan bestaan (bij gelijk gewichtsaandeel PVC of rubber). Voor zowel PVC als rubber is de productie als de levenscyclus (productie en afdanking via AVI of stort) weergegeven. Zie Figuur 21.

³¹ Gemiddelde van technieken en machines: bulldozer komatsu D 58P-1, dig/load combi 580 superK, hydr.graafmachine op banden caterpillar 206BFT, m315, hitachi 60WD, 100wd, liebherr A900c, A902lit.; mini hydr.machine track kubota KH36, adn61; hydr. machine tracked caterpillar 215DLC, 330L, hitachi609, 300LC



Figuur 21: Kabel productie en afdanking (AVI en stort): PVC deel en rubber deel (per m)

Rubber (EPR) heeft een duidelijk veel hogere milieubelasting in de productie, met een dominante bijdrage van de inzet van brandstoffen (ruim 50%). Bij verbranding in een AVI wordt wat meer energieproductie vermeden op basis van een hogere verbrandingswaarde van 27,2 MJ/kg rubber (PVC 21,5 MJ/kg). Wanneer wordt ingezoomd op de rubber productie (“Tube insulation elastomere”) dan blijkt dat 60% van de milieubelasting wordt bepaald door de synthetische rubber productie; de rest door tube insulation (elastomeer) productie en elektriciteitsverbruik. Olie, carbon black, kunststofproductie en diverse energie-inzet blijken verantwoordelijk bij synthetische rubber productie.

Recycling van PVC bij kabels is niet meegenomen bij gebrek aan voor LCA bruikbare data. Het lijkt, gezien de resultaten elders in dit rapport, vanuit LCA oogpunt een goede optie. Zie paragraaf 3.5.3.

6. Conclusies en aanbevelingen

- Over de PVC polymeerproductie is veel bruikbare LCI informatie voorhanden.
- Voor de toevoegingen (met name stabilisatoren en weekmakers), die het PVC de gewenste materiaaleigenschappen geven, is dat niet het geval. Terwijl bijvoorbeeld zacht PVC, toegepast als kabelmantel, voor 30% uit weekmaker bestaat.
- Recycle initiatieven als VKG en BIS zijn zeer lonend doordat veel primair PVC wordt uitgespaard.
 - Het opschalen van deze recyclesystemen biedt reductiepotentieel.
 - Het is zaak de inventarisatie van de recyclesystemen (inzet van energie en emissies voor de scheiding, reiniging en granuleren van PVC) te verifiëren. De data waarop alle cycleresultaten in dit rapport zijn gebaseerd komen van één bron (VKG MRPI dossier).
 - Ook recycle systemen waarbij meer verontreiniging en dus uitval optreedt kunnen interessant zijn. Indien bijvoorbeeld de vermeden PVC productie halveert ten opzichte van VKG/BIS is het systeem nog interessant, mits er niet onevenredig veel meer energie hoeft te worden ingestopt. Een nascheidingsroute waarbij PVC uit integraal ingezameld afval wordt gehaald zal per massa-eenheid zeer waarschijnlijk een slechtere milieuprestatie hebben, maar kan mogelijk wel een grotere omvang krijgen. Dit dient nader verkend te worden.
- Voor kozijnen lijkt inzetten op recyclen hét alternatief. Van de onderzochte alternatieve materialen heeft aluminium nagenoeg dezelfde milieubelasting, terwijl hout minder goed scoort wanneer effecten van landgebruik onverkort worden meegenomen en in dezelfde orde grootte wanneer landgebruik buiten beschouwing blijft. Deze conclusie geldt uitsluitend wanneer zowel PVC als aluminium aan het einde van de kozijnlevensduur worden gerecycled.
- Ook voor buizen lijkt het opschalen van recyclingsinitiatieven zoals BIS de manier om tot reductie te komen. PVC doet het van de onderzochte materialen in deze toepassing het best, mits er wordt gerecycled.
- Overgaan van PVC naar rubber (EPR) vergroot bij elektriciteitskabel de milieubelasting. Het verkennen van de mogelijkheden voor verdere recycling van PVC bij kabels lijkt, gezien de resultaten bij kozijnen, vanuit LCA oogpunt een goede optie. Specifieke data over recyclen van PVC kabel bruikbaar in een LCA ontbreekt vooralsnog.
- Het LCA resultaat van dioxinen emissie door kabelbranderijen in de open lucht, zoals die in het buitenland voorkomen is dusdanig laag dat het geen dominante bijdrage heeft. Indien deze variant ‘branden in de open lucht’ verder wordt verkend moet het zeker verder worden onderzocht.

Bronnen

- Asif, M, T Muneer and J Kubie (2005), Sustainability analysis of window frames in Building Services Engineering Research and Technology, School of Engineering, Napier University, Edinburgh, UK, 2005 (<http://bse.sagepub.com/cgi/content/abstract/26/1/71>).
- Boustead, I., (2005a), Eco-profiles of the European Plastics Industry: Ethylene Dichloride, The European Council of Vinyl Manufacturers (ECVM) & PlasticsEurope, March 2005.
- Boustead, I., (2005b), Eco-profiles of the European Plastics Industry: Polyvinylchloride (PVC) (Bulk Polymerisation), The European Council of Vinyl Manufacturers (ECVM) & PlasticsEurope, March 2005.
- BRBS (2010), Mondelinge en schriftelijke mededelingen van de heer M. de Vries, BRBS Recycling, Zaltbommel, 2010.
- Breen, J. (2007), Kwaliteit opgegraven PVC rioleringsbuizen, in opdracht van Bureau Leiding, MT-RAP-2008-01064/mso, TNO Eindhoven, 2 april 2007.
- Bremmer (1993), Emissies van dioxinen in Nederland, Rapport 770501003, RIVM, Bilthoven, april 1993.
- Dyka (2009), PVC Buitenriolering via <http://www.dyka.com/nl/nl/tech/pdf/09-00.pdf> november 2009.
- EAA (2008), European Aluminium Association, "Environmental Profile Report for the European Aluminium Industry", April 2008.
- EC (2004), (1) Life Cycle Assessment of PVC and of principal competing materials, Extended Summary & Final Report, Commissioned by the European Commission, July 2004.
- Ecobilan (2001), Eco-profile of high volume commodity phthalate esters (DEHP/DINP/DIDP), The European Council for Plasticisers and Intermediates (ECPI) Organization for Economic Co-operation and Development, 2004. OECD Scenario Document on Plastics Additives. ENV/JM/MONO(2004)8. Paris: OECD Environment Directorate, Ecobilan/PWC, January 2001.
- ESPA (2009), Lead Stabilisers Risk Characterisation, http://www.stabilisers.org/lead_risk.htm, op 9 november 2009.
- Hischier R. (2007) Life Cycle Inventories of Packaging and Graphical Papers. Ecoinvent-Report No. 11, Part II Plastics, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2007 (Ecoinvent 11_II_Plastics.pdf).
- HVC (2009), mondelinge mededeling HVC, Alkmaar, eind 2008/begin 2009.
- Kellenberger D., et al (2007) Life Cycle Inventories of Building Products. Final report Ecoinvent Data V2.0 No. 7, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Dezember 2007 (Ecoinvent 07_BuildingProducts.pdf). Part XXVI: Glazing, Window frames, Claddings and Doors.
- Kraakman, Marco (2009) Projectplan 'Naar een ketengericht afvalbeleid' en 'Duurzaam Inkopen' bij PVC, Versie 003a, aug 2009.

Ostermayer, A., Giegrich, J., (2006a), Eco-profiles of the European Plastics Industry: Chlorine, The European Council of Vinyl Manufacturers (ECVM) & PlasticsEurope, July 2006.

Ostermayer, A., Giegrich, J., (2006b), Eco-profiles of the European Plastics Industry: Polyvinylchloride (PVC) (Emulsion Polymerisation), The European Council of Vinyl Manufacturers (ECVM) & PlasticsEurope, July 2006.

Ostermayer, A., Giegrich, J., (2006c), Eco-profiles of the European Plastics Industry: Polyvinylchloride (PVC) (Suspension Polymerisation), The European Council of Vinyl Manufacturers (ECVM) & PlasticsEurope, July 2006.

Ostermayer, A., Giegrich, J., (2006d), Eco-profiles of the European Plastics Industry: Vinylchloride, The European Council of Vinyl Manufacturers (ECVM) & PlasticsEurope, July 2006.

ReCiPe 2008 method, version 1.02, October 19th 2009 via www.lcia-recipe.net.

Aangepast aan deze analyse door expliciet uitsluiten van *land transformation* en CO₂ van *land transformation*, normalisatie zonder de bijdrage van *land transformation* en karakterisatiefactor PM *formation* voor PM_{2.5} die 1,577 maal hoger is dan voor PM₁₀.

RIVM (2009), Ftalaten, document opgesteld in het kader van de Voortgangsrapportage Milieubeleid voor Nederlandse Prioritaire stoffen, RIVM, Bilthoven, 1 november 2009.

Rouwette, R. (2006), LCA conform NEN 8006:2004 van kunststof (PVC) gevelementen, MRPI-dossier VKG, rapport na eindtoetsing, Intron Sittard, 11 oktober 2006.

SBR (1998), Levensduur van bouwproducten, SBR, Rotterdam, 1998.

Vinyl 2010 (2009), Vooruitgangsverslag 2009, Verslag over de activiteiten van 2008, Het Programma Voor Duurzame Ontwikkeling Van De Europese Pvc-Industrie.

Vollebregt, R. (2006) EPC-verlaging bij toepassen van kunststof kozijnen, projectnr. 0616, uitgevoerd in opdracht van: Vereniging Kunststof Gevelementenindustrie, Bureau Kent, Utrecht, februari 2006.

Bijlage 1: ReCiPe factoren

Binnen ReCiPe bestaan zowel mid- als endpoint-karakterisatiefactoren. In deze studie is endpoint-karakterisatie gebruikt, met het oog op een eenduidige eindscore. De ‘vertaling’ van midpoint- naar endpoint-indicatoren wordt in Tabel 2 gegeven. De volledige lijst met gebruikte karakterisatiefactoren van ReCiPe 1.02 (bijna 6000 regels) is apart beschikbaar.

Tabel 2: Factoren midpoint – endpoint

Human Health (Endpoint-eenheid: DALY)	Midpoint- eenheid	Factor	Eenheid
Climate change Human Health	kg CO ₂ -eq.	1,40E-06	DALY / kg CO ₂ -eq.
Ozone depletion	kg CFC-11-eq.	2,61E-03	DALY / kg CFC-11-eq.
human toxicity	kg 1,4-DB-eq.	6,99E-07	DALY / kg 1,4-DB-eq.
photochemical oxidant formation	kg NMVOC	3,90E-08	DALY / kg NMVOC
particulate matter formation	kg PM ₁₀ -eq.	2,60E-04	DALY / kg PM ₁₀ -eq.
ionising radiation	kg U235-eq.	divers	DALY / kg U235-eq.
Ecosystems (Endpoint-eenheid: species.yr)			
Climate change Ecosystems	kg CO ₂ -eq.	7,93E-09	species.yr / kg CO ₂ -eq.
terrestrial acidification	kg SO ₂ -eq.	5,80E-09	species.yr / kg SO ₂ -eq.
freshwater eutrophication	kg P-eq.	4,45E-08	species.yr / kg P-eq.
terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB-eq.	1,27E-07	species.yr / kg 1,4-DB-eq.
freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB-eq.	2,60E-10	species.yr / kg 1,4-DB-eq.
marine ecotoxicity	kg 1,4-DB-eq.	8,00E-13	species.yr / kg 1,4-DB-eq.
agricultural land occupation	m ² a	divers	species.yr / m ² a
urban land occupation	m ² a	1,93E-08	species.yr / m ² a
Resources (Endpoint-eenheid: \$)			
metal depletion	kg Fe-eq.	7,14E-02	\$ / kg Fe-eq.
fossil depletion	kg oil-eq.	16,1E 00	\$ / kg oil-eq.

De uiteindelijke optelsom tot ReCiPe-‘punten’ gebeurt door normalisatie van de endpoint-scores en weging (zie toelichting paragraaf 2.4).

Tabel 3: Normalisatie- en weegfactoren: Europa - Recipe H/A, zonder land transformatie

	Normalization	Weighting
Human Health	49,5/DALY	400
Ecosystems	5726/species.yr	400
Resources	3,37E-05/\$	200

Alle resultaten in dit rapport zijn uitgedrukt in Pt, dat wil zeggen genormaliseerd en gewogen.

Bijlage 2: Window frame, plastic (PVC) in Ecoinvent

Voor productie van een PVC kozijn heeft Ecoinvent:

“**Window frame, plastic (PVC), U=1.6 W/m²K, at plant/RER U**”. Dit proces pretendeert volledigheid (“includes all important and necessary information to use the data correctly”³²).

De input in het kozijn proces, per “m² visible area”, is als volgt:

Chemicals organic, at plant/GLO U	0,0287	kg
Synthetic rubber, at plant/RER U	0,798	kg
Zinc coating, coils/RER U	2,11	m
Copper, at regional storage/RER U	0,00698	kg
Polystyrene foam slab, at plant/RER U	0,184	kg
Section bar extrusion, aluminium/RER U	1,1	kg
Section bar rolling, steel/RER U	37,9	kg
Steel, low-alloyed, at plant/RER U	38	kg
Zinc coating, pieces/RER U	0,463	m
Zinc, primary, at regional storage/RER U	0,325	kg
Polyethylene, LDPE, granulate, at plant/RER U	0,00578	kg
Polypropylene, granulate, at plant/RER U	0,219	kg
Polystyrene, high impact, HIPS, at plant/RER U	0,208	kg
Injection moulding/RER U ³³	1,9	kg
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	30,5	tk
Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	13,8	kW
Polyvinylchloride, at regional storage/RER U	58,4	kg
Extrusion, plastic pipes/RER U ³⁴	54,3	kg
Aluminium, production mix, at plant/RER U	1,1	kg
Aluminium, production mix, cast alloy, at plant/RER U	0,0174	kg
Metal working factory/RER/I U	4,32E-8	p

Translated name: Fensterrahmen, Kunststoff (PVC), U=1.6 W/m²K, ab Werk

Included processes: Included processes are injection moulding and extrusion of PVC, section bar rolling for steel fittings, section bar extrusion for aluminium parts, all the road transport at different production phases and the process heat waste.

Remark: This dataset describes all the processes and material inputs needed to produce a plastic window frame with 1 m² visible area. 1 m² of visible plastic window frame weighs 94.5 kg.; Geography: Window frames produced and sold in Switzerland and Germany.

Technology: The dataset describes highly automated technology processes in window frame manufacturing.

Een kunststof kozijn met 1 m² ‘zichtbaar oppervlak’ weegt 94,5 kg, waarvan 55,5 kg bestaat uit PVC. Het verschil met de PVC input (58,4 kg) moet productie afval zijn, maar wordt niet in dezelfde proceskaart verwerkt. Dit is verder buiten beschouwing gebleven.

³² Over datakwaliteit van alle drie de kozijnen wordt in Ecoinvent achtergrondrapport 7 voorts opgemerkt: “The window frame datasets are of good quality. The list of input materials (metals/plastics/chemicals) is very detailed and accurate. The electricity consumption is derived from confidential data by private companies. The disposal data for the window frames are as accurate as possible, taking into account that the standard disposal scenario is a disposal via MSWI (= AVT). Only big metal pieces and parts (aluminium or steel) are assumed to be recycled at 100%. Smaller metal pieces are assumed to be incinerated, as they are often glued to other materials or too small to be (cost-) efficiently recycled. This might not represent the real situation.”

³³ Wel additieven (zie § 0) opgenomen in dit proces (stabilizer, pigment en filler), zij het heel grof (blz 175 EI report 11 – part II)). Slechts een fractie van de totale hoeveelheid PVC in het kozijn wordt via spuitgieten geproduceerd.

³⁴ Geen additieven (zie § 0) opgenomen, anders dan voor het extruderen zelf.

Bijlage 3: Resultaattabellen behorend bij de figuren

Tabel 4: Chloorproductie per ton (alle scores in Pt); correspondeert met Figuur 3

Impact categorie	diafragma (gas)	membraan (gas)	kwikcel (gas)	huidige prod. mix (vlocib.)	75% membr. + 25% diafragma (vlocib.)
Klimaat, gezond	2,70E+01	2,63E+01	3,10E+01	3,01E+01	2,75E+01
Klimaat, eco	1,77E+01	1,73E+01	2,03E+01	1,97E+01	1,81E+01
Ozonlaag	1,11E-01	1,11E-01	1,11E-01	1,11E-01	1,11E-01
Verzuring	5,70E-02	5,58E-02	6,49E-02	6,32E-02	5,82E-02
Vermesting	5,92E-03	5,96E-03	6,16E-03	6,12E-03	6,01E-03
Humane tox	1,68E+00	1,75E+00	9,33E+00	5,94E+00	1,77E+00
Smog	1,75E-03	1,74E-03	1,99E-03	1,94E-03	1,80E-03
Fijnstof	7,58E+00	7,43E+00	8,60E+00	8,38E+00	7,73E+00
Ecotox, bodem	2,84E-02	2,84E-02	6,26E-02	4,81E-02	2,92E-02
Ecotox, zoetw	1,24E-03	1,24E-03	1,34E-03	1,32E-03	1,26E-03
Ecotox, zoutw	4,92E-06	4,93E-06	6,41E-06	5,83E-06	5,01E-06
Straling	2,22E-01	2,14E-01	2,58E-01	2,50E-01	2,25E-01
Land, agr	7,11E-01	7,09E-01	7,59E-01	7,49E-01	7,22E-01
Land, urb	3,01E-01	3,02E-01	3,23E-01	3,19E-01	3,07E-01
Uitp. mineraal	5,30E-02	5,38E-02	5,40E-02	5,39E-02	5,38E-02
Uitp. fossiel	3,05E+01	2,98E+01	3,51E+01	3,40E+01	3,11E+01
TOTAAL (Pt)	8,60E+01	8,41E+01	1,06E+02	9,98E+01	8,78E+01

Tabel 5: Productie vinylchloride, PVC prod.mix en 3 prod.routes per ton (in Pt); zie Figuur 4

Impact categorie	Vinylchloride	PVC productiemix	PVC suspensie polymerisatie	PVC emulsie polymerisatie	PVC bulk polymerisatie
Klimaat, gezond	4,42E+01	5,45E+01	5,25E+01	6,89E+01	4,40E+01
Klimaat, eco	2,89E+01	3,57E+01	3,44E+01	4,51E+01	2,88E+01
Ozonlaag	1,37E-05	1,49E-04	1,37E-05	1,37E-05	1,37E-05
Verzuring	5,25E-02	6,74E-02	6,32E-02	8,50E-02	6,54E-02
Vermesting	8,37E-03	8,74E-03	8,67E-03	8,72E-03	8,63E-03
Humane tox	2,25E+00	2,47E+00	2,08E+00	3,48E+00	5,33E+00
Smog	5,54E-03	6,46E-03	6,27E-03	6,88E-03	6,06E-03
Fijnstof	6,48E+00	8,63E+00	8,04E+00	1,08E+01	8,19E+00
Ecotox, bodem	1,50E-02	1,82E-02	1,71E-02	2,34E-02	1,20E-02
Ecotox, zoetw	9,43E-04	1,17E-03	1,15E-03	1,19E-03	1,05E-03
Ecotox, zoutw	2,23E-06	2,43E-06	2,35E-06	2,61E-06	1,86E-06
Straling	1,67E-04	1,89E-03	1,67E-04	1,67E-04	1,67E-04
Land, agr	8,23E-03	1,33E-02	8,23E-03	8,23E-03	8,23E-03
Land, urb	8,01E-03	2,55E-02	8,01E-03	8,00E-03	8,00E-03
Uitp. mineraal	1,37E-03	2,87E-03	1,51E-03	1,55E-03	5,66E-03
Uitp. fossiel	1,09E+02	1,21E+02	1,20E+02	1,32E+02	1,03E+02
TOTAAL (Pt)	1,91E+02	2,23E+02	2,17E+02	2,60E+02	1,90E+02

Tabel 6: Productie lood-, calciumzinkstabilisator, DEHP per ton (alle in Pt) ; zie Figuur 6

Impact categorie	lood-stabilisator	calciumzink-stabilisator	DEHP
Klimaat, gezond	9,39E+01	5,87E+01	7,47E+01
Klimaat, eco	6,15E+01	3,84E+01	4,90E+01
Ozonlaag	1,88E-02	5,17E-03	7,14E-03
Verzuring	3,04E-01	3,50E-01	1,32E-01
Vermesting	2,82E-04	4,42E-03	5,71E-03
Humane tox	6,33E+02	4,76E+01	1,96E+00
Smog	1,13E-02	1,03E-02	1,04E-02
Fijnstof	2,86E+01	4,00E+01	1,69E+01
Ecotox, bodem	9,62E-01	6,11E-01	4,52E-02
Ecotox, zoetw	6,13E-04	2,35E-03	1,45E-03
Ecotox, zoutw	4,54E-05	8,95E-05	7,32E-06
Straling	5,85E-03	1,67E-01	7,84E-02
Land, agr	0,00E+00	1,12E+00	7,52E-01
Land, urb	0,00E+00	2,72E+00	3,47E-01
Uitp. mineraal	1,07E-02	8,57E-01	6,72E-02
Uitp. fossiel	1,65E+02	6,50E+01	2,15E+02
TOTAAL (Pt)	9,84E+02	2,56E+02	3,59E+02

Tabel 7: Extrusie per ton verwerkt materiaal (alle scores in Pt) ; zie Figuur 7

Impact categorie	Extrusie
Klimaat, gezond	1,05E+01
Klimaat, eco	6,88E+00
Ozonlaag	1,25E-03
Verzuring	2,24E-02
Vermesting	6,99E-04
Humane tox	4,38E-01
Smog	6,90E-04
Fijnstof	2,98E+00
Ecotox, bodem	1,38E-02
Ecotox, zoetw	3,92E-04
Ecotox, zoutw	1,69E-06
Straling	7,13E-02
Land, agr	2,47E+00
Land, urb	1,48E-01
Uitp. mineraal	1,11E-02
Uitp. fossiel	1,26E+01
TOTAAL (Pt)	3,62E+01

Tabel 8: PVC levenscyclus: productie + afdanking via AVI / stort / VKG (per ton; scores in Pt) ; zie Figuur 8

Impact categorie	PVC productie (tbv kozijn) + AVI	PVC productie (tbv kozijn) + stort	PVC productie (tbv kozijn) + VKG PVC recycling
Klimaat, gezond	1,01E+02	6,77E+01	2,02E+01
Klimaat, eco	6,64E+01	4,44E+01	1,32E+01
Ozonlaag	1,59E-03	2,01E-03	1,45E-03
Verzuring	1,21E-01	1,01E-01	3,37E-02
Vermesting	1,23E-02	9,22E-03	1,90E-03
Humane tox	2,15E+01	1,92E+01	2,56E+00
Smog	7,90E-03	7,43E-03	1,56E-03
Fijnstof	1,53E+01	1,28E+01	4,47E+00
Ecotox, bodem	7,57E-02	7,48E-02	2,08E-02
Ecotox, zoetw	9,69E-03	1,13E-02	1,34E-03
Ecotox, zoutw	2,77E-05	3,21E-05	4,35E-06
Straling	1,60E-01	7,72E-02	8,09E-02
Land, agr	2,67E+00	2,51E+00	2,49E+00
Land, urb	3,32E-01	4,09E-01	1,77E-01
Uitp. mineraal	5,82E-02	3,10E-02	1,64E-02
Uitp. fossiel	1,16E+02	1,34E+02	2,39E+01
TOTAAL (Pt)	3,24E+02	2,82E+02	6,71E+01

Tabel 9: PVC productie en AVI, stort en VKG/PVC recycling (per ton; scores in Pt) ; zie Figuur 9

Impact categorie	PVC productie (tbv kozijn)	PVC in AVI	PVC in stort	VKG PVC recycling
Klimaat, gezond	6,59E+01	3,54E+01	1,83E+00	-4,57E+01
Klimaat, eco	4,32E+01	2,32E+01	1,20E+00	-3,00E+01
Ozonlaag	1,85E-03	-2,60E-04	1,61E-04	-4,06E-04
Verzuring	9,98E-02	2,07E-02	9,94E-04	-6,61E-02
Vermesting	9,20E-03	3,10E-03	2,68E-05	-7,30E-03
Humane tox	1,59E+01	5,63E+00	3,33E+00	-1,33E+01
Smog	7,32E-03	5,77E-04	1,12E-04	-5,76E-03
Fijnstof	1,26E+01	2,64E+00	1,98E-01	-8,14E+00
Ecotox, bodem	6,16E-02	1,40E-02	1,32E-02	-4,08E-02
Ecotox, zoetw	1,58E-03	8,11E-03	9,77E-03	-2,38E-04
Ecotox, zoutw	6,62E-06	2,11E-05	2,55E-05	-2,27E-06
Straling	7,64E-02	8,33E-02	7,17E-04	4,42E-03
Land, agr	2,50E+00	1,67E-01	9,87E-03	-1,09E-02
Land, urb	2,25E-01	1,07E-01	1,85E-01	-4,81E-02
Uitp. mineraal	3,06E-02	2,76E-02	4,20E-04	-1,42E-02
Uitp. fossiel	1,34E+02	-1,74E+01	7,64E-01	-1,10E+02
TOTAAL (Pt)	2,74E+02	4,99E+01	7,53E+00	-2,07E+02

Tabel 10: VKG recycling van 1 ton PVC; bijdragen verschillende processen (in Pt) ; zie Figuur 10

Impact categorie	Elektriciteits verbruik	Vrachtwagen transport	AVI 100 kg (incl. vermeden energie)	PVC-productiemix (900 kg vermeden)	AVI 400 kg (incl. vermeden energie)	PVC-productiemix (600 kg vermeden)
Klimaat, gezond	7,60E-02	5,21E-01	3,54E+00	-4,99E+01	1,42E+01	-3,32E+01
Klimaat, eco	4,98E-02	3,41E-01	2,32E+00	-3,27E+01	9,27E+00	-2,18E+01
Ozonlaag	5,40E-06	1,59E-04	-2,60E-05	-5,45E-04	-1,04E-04	-3,63E-04
Verzuring	5,39E-05	1,44E-03	2,07E-03	-6,97E-02	8,26E-03	-4,65E-02
Vermesting	1,64E-06	4,28E-05	3,10E-04	-7,65E-03	1,24E-03	-5,10E-03
Humane tox	1,64E-03	1,38E-02	5,63E-01	-1,39E+01	2,25E+00	-9,28E+00
Smog	3,13E-06	1,43E-04	5,77E-05	-5,97E-03	2,31E-04	-3,98E-03
Fijnstof	8,32E-03	2,51E-01	2,64E-01	-8,66E+00	1,06E+00	-5,78E+00
Ecotox, bodem	9,16E-05	6,74E-04	1,40E-03	-4,30E-02	5,62E-03	-2,87E-02
Ecotox, zoetw	4,48E-07	1,62E-05	8,11E-04	-1,07E-03	3,25E-03	-7,10E-04
Ecotox, zoutw	4,24E-09	5,77E-08	2,11E-06	-4,44E-06	8,43E-06	-2,96E-06
Straling	1,40E-04	5,76E-04	8,33E-03	-4,63E-03	3,33E-02	-3,09E-03
Land, agr	1,06E-03	2,17E-03	1,67E-02	-3,09E-02	6,68E-02	-2,06E-02
Land, urb	4,70E-04	9,85E-03	1,07E-02	-6,91E-02	4,28E-02	-4,61E-02
Uitp. mineraal	4,61E-05	5,48E-04	2,76E-03	-1,75E-02	1,10E-02	-1,17E-02
Uitp. fossiel	9,91E-02	7,75E-01	-1,74E+00	-1,09E+02	-6,94E+00	-7,26E+01
TOTAAL (Pt)	2,37E-01	1,92E+00	4,99E+00	-2,14E+02	2,00E+01	-1,43E+02

Tabel 11: PVC kozijnproductie, 8 hoogste bijdragen (totaal = 29,4 Pt/m²; alle scores in Pt); zie Figuur 11

Impact categorie	PVC prod-mix	staal	extrusie PVC	Zn Coating	Pb-stab	Elektriciteit	Truck transport	Section bar rolling, steel
Klimaat, gezond	3,19E+00	1,86E+00	5,70E-01	2,62E-01	1,10E-01	2,03E-01	1,63E-01	1,76E-01
Klimaat, eco	2,09E+00	1,22E+00	3,74E-01	1,72E-01	7,18E-02	1,33E-01	1,07E-01	1,15E-01
Ozonlaag	8,70E-06	1,52E-04	6,76E-05	7,91E-05	2,20E-05	1,77E-05	5,00E-05	3,42E-05
Verzuring	3,94E-03	3,54E-03	1,22E-03	8,43E-03	3,55E-04	4,06E-04	4,55E-04	2,30E-04
Vermesting	5,10E-04	2,27E-03	3,79E-05	1,86E-05	3,30E-07	1,22E-05	1,10E-05	2,92E-04
Humane tox	1,44E-01	3,80E-01	2,38E-02	1,16E-01	7,39E-01	6,13E-03	3,91E-03	1,28E-02
Smog	3,77E-04	1,99E-04	3,75E-05	3,04E-05	1,32E-05	1,18E-05	4,62E-05	9,88E-06
Fijnstof	5,04E-01	9,91E-01	1,62E-01	5,06E-01	3,34E-02	5,22E-02	8,01E-02	3,64E-02
Ecotox, bodem	1,06E-03	2,54E-03	7,50E-04	1,61E-03	1,12E-03	1,62E-04	2,12E-04	1,27E-03
Ecotox, zoetw	6,84E-05	7,70E-04	2,13E-05	9,67E-06	7,16E-07	4,25E-06	4,33E-06	7,95E-05
Ecotox, zoutw	1,42E-07	2,50E-06	9,17E-08	2,29E-07	5,30E-08	1,70E-08	1,58E-08	2,42E-07
Straling	1,10E-04	4,13E-03	3,87E-03	7,81E-04	6,83E-06	1,88E-03	1,65E-04	4,93E-04
Land, agr	7,75E-04	4,43E-02	1,34E-01	3,60E-03	0,00E+00	2,43E-03	5,59E-04	6,39E-03
Land, urb	1,49E-03	9,72E-02	8,05E-03	6,84E-03	0,00E+00	1,07E-03	2,86E-03	1,48E-03
Uitp. mineraal	1,67E-04	9,78E-02	6,04E-04	2,05E-03	1,25E-05	4,46E-05	1,40E-04	5,80E-04
Uitp. fossiel	7,07E+00	2,36E+00	6,85E-01	3,51E-01	1,93E-01	2,30E-01	2,40E-01	1,50E-01
TOTAAL (Pt)	1,30E+01	7,06E+00	1,96E+00	1,43E+00	1,15E+00	6,31E-01	5,99E-01	5,01E-01

Tabel 12: Kunststof kozijn levenscyclus: productie + afdanking via AVI / stort / VKG (per m²; scores in Pt) ; zie Figuur 12

Impact categorie	kozijn productie + AVI	kozijn productie + stort	kozijn productie + VKG PVC recycling
Klimaat, gezond	9,46E+00	7,59E+00	4,95E+00
Klimaat, eco	6,20E+00	4,98E+00	3,25E+00
Ozonlaag	6,10E-04	6,34E-04	6,02E-04
Verzuring	2,22E-02	2,11E-02	1,74E-02
Vermesting	3,65E-03	3,48E-03	3,08E-03
Humane tox	2,90E+00	2,77E+00	1,85E+00
Smog	8,68E-04	8,42E-04	5,16E-04
Fijnstof	2,85E+00	2,71E+00	2,25E+00
Ecotox, bodem	1,25E-02	1,25E-02	9,48E-03
Ecotox, zoetw	4,84E-03	4,93E-03	4,38E-03
Ecotox, zoutw	1,44E-05	1,46E-05	1,31E-05
Straling	1,84E-02	1,39E-02	1,41E-02
Land, agr	2,64E-01	2,55E-01	2,54E-01
Land, urb	2,40E-01	2,44E-01	2,31E-01
Uitp. mineraal	1,06E-01	1,04E-01	1,04E-01
Uitp. fossiel	1,15E+01	1,25E+01	6,37E+00
TOTAAL (Pt)	3,36E+01	3,12E+01	1,93E+01

Tabel 13: Kunststof kozijn: productie en afdanking (allen per m²; scores in Pt) ; zie Figuur 13

Impact categorie	kozijn productie	kozijn AVI	kozijn stort	VKG PVC recycling
Klimaat, gezond	7,31E+00	2,15E+00	2,85E-01	-2,36E+00
Klimaat, eco	4,79E+00	1,41E+00	1,86E-01	-1,54E+00
Ozonlaag	6,09E-04	1,75E-06	2,51E-05	-6,35E-06
Verzuring	2,09E-02	1,37E-03	2,77E-04	-3,45E-03
Vermesting	3,35E-03	3,02E-04	1,31E-04	-2,75E-04
Humane tox	1,59E+00	1,30E+00	1,18E+00	2,51E-01
Smog	8,12E-04	5,54E-05	2,96E-05	-2,96E-04
Fijnstof	2,66E+00	1,84E-01	4,86E-02	-4,14E-01
Ecotox, bodem	1,12E-02	1,29E-03	1,24E-03	-1,76E-03
Ecotox, zoetw	1,02E-03	3,82E-03	3,91E-03	3,35E-03
Ecotox, zoutw	3,70E-06	1,07E-05	1,09E-05	9,39E-06
Straling	1,38E-02	4,68E-03	9,80E-05	3,03E-04
Land, agr	2,54E-01	9,69E-03	9,68E-04	-1,86E-04
Land, urb	2,30E-01	9,36E-03	1,37E-02	7,48E-04
Uitp. mineraal	1,04E-01	1,59E-03	8,48E-05	-7,24E-04
Uitp. fossiel	1,24E+01	-8,87E-01	1,18E-01	-6,01E+00
TOTAAL (Pt)	2,94E+01	4,19E+00	1,83E+00	-1,01E+01

Tabel 14: PVC buis levenscyclus:
buisproductie + afdanking via AVI / stort / BIS (per m²; scores in Pt); zie Figuur 14

Impact categorie	buisproductie + AVI	buisproductie + stort	buisproductie + BIS PVC recycling
Klimaat, gezond	1,01E+02	6,71E+01	2,01E+01
Klimaat, eco	6,60E+01	4,40E+01	1,32E+01
Ozonlaag	1,27E-03	1,69E-03	1,41E-03
Verzuring	1,13E-01	9,37E-02	3,30E-02
Vermesting	1,25E-02	9,39E-03	1,92E-03
Humane tox	1,22E+01	9,95E+00	1,63E+00
Smog	7,77E-03	7,31E-03	1,54E-03
Fijnstof	1,45E+01	1,21E+01	4,40E+00
Ecotox, bodem	5,45E-02	5,37E-02	1,87E-02
Ecotox, zoetw	9,68E-03	1,13E-02	1,34E-03
Ecotox, zoutw	2,59E-05	3,03E-05	4,17E-06
Straling	1,57E-01	7,48E-02	8,06E-02
Land, agr	2,65E+00	2,50E+00	2,49E+00
Land, urb	2,95E-01	3,73E-01	1,73E-01
Uitp. mineraal	4,63E-02	1,92E-02	1,52E-02
Uitp. fossiel	1,16E+02	1,34E+02	2,39E+01
TOTAAL (Pt)	3,13E+02	2,71E+02	6,60E+01

Tabel 15: PVC buisproductie en -afdanking (allen per ton; in Pt) ; zie Figuur 15

Impact categorie	buisproductie	AVI	stort	BIS PVC recycling
Klimaat, gezond	6,53E+01	3,54E+01	1,83E+00	-4,52E+01
Klimaat, eco	4,28E+01	2,32E+01	1,20E+00	-2,96E+01
Ozonlaag	1,53E-03	-2,60E-04	1,61E-04	-1,13E-04
Verzuring	9,27E-02	2,07E-02	9,94E-04	-5,97E-02
Vermesting	9,37E-03	3,10E-03	2,68E-05	-7,45E-03
Humane tox	6,62E+00	5,63E+00	3,33E+00	-4,98E+00
Smog	7,20E-03	5,77E-04	1,12E-04	-5,65E-03
Fijnstof	1,19E+01	2,64E+00	1,98E-01	-7,50E+00
Ecotox, bodem	4,05E-02	1,40E-02	1,32E-02	-2,18E-02
Ecotox, zoetw	1,57E-03	8,11E-03	9,77E-03	-2,30E-04
Ecotox, zoutw	4,84E-06	2,11E-05	2,55E-05	-6,63E-07
Straling	7,41E-02	8,33E-02	7,17E-04	6,51E-03
Land, agr	2,49E+00	1,67E-01	9,87E-03	2,59E-03
Land, urb	1,88E-01	1,07E-01	1,85E-01	-1,51E-02
Uitp. mineraal	1,87E-02	2,76E-02	4,20E-04	-3,49E-03
Uitp. fossiel	1,34E+02	-1,74E+01	7,64E-01	-1,10E+02
TOTAAL (Pt)	2,63E+02	4,99E+01	7,53E+00	-1,97E+02

Tabel 16: Productie zacht PVC ten behoeve van kabel (per ton kabel; scores in Pt) ; zie Figuur 16

Impact categorie	Totaal	PVC-productiemix	DEHP
Klimaat, gezond	6,06E+01	3,82E+01	2,24E+01
Klimaat, eco	3,97E+01	2,50E+01	1,47E+01
Ozonlaag	2,25E-03	1,04E-04	2,14E-03
Verzuring	8,67E-02	4,72E-02	3,95E-02
Vermesting	7,83E-03	6,12E-03	1,71E-03
Humane tox	2,31E+00	1,73E+00	5,88E-01
Smog	7,63E-03	4,52E-03	3,11E-03
Fijnstof	1,11E+01	6,04E+00	5,07E+00
Ecotox, bodem	2,63E-02	1,28E-02	1,36E-02
Ecotox, zoetw	1,25E-03	8,20E-04	4,34E-04
Ecotox, zoutw	3,90E-06	1,70E-06	2,20E-06
Straling	2,48E-02	1,32E-03	2,35E-02
Land, agr	2,35E-01	9,29E-03	2,26E-01
Land, urb	1,22E-01	1,78E-02	1,04E-01
Uitp. mineraal	2,22E-02	2,01E-03	2,02E-02
Uitp. fossiel	1,49E+02	8,48E+01	6,46E+01
TOTAAL (Pt)	2,64E+02	1,56E+02	1,08E+02

Tabel 17: PVC in kabel levenscyclus: productie + afdanking via AVI / stort (per m; scores in Pt); zie Figuur 17

Impact categorie	PVC-deel productie + AVI	PVC-deel productie + stort
Klimaat, gezond	4,74E-03	3,31E-03
Klimaat, eco	3,11E-03	2,17E-03
Ozonlaag	8,12E-08	1,66E-07
Verzuring	5,19E-06	5,00E-06
Vermesting	4,76E-07	3,89E-07
Humane tox	3,54E-04	2,76E-04
Smog	3,72E-07	3,83E-07
Fijnstof	6,60E-04	6,49E-04
Ecotox, bodem	1,66E-06	2,42E-06
Ecotox, zoetw	6,39E-07	5,18E-07
Ecotox, zoutw	1,83E-09	1,41E-09
Straling	5,78E-06	4,40E-06
Land, agr	1,20E-04	1,23E-04
Land, urb	1,24E-05	2,06E-05
Uitp. mineraal	2,34E-06	1,53E-06
Uitp. fossiel	5,81E-03	7,39E-03
TOTAAL (Pt)	1,48E-02	1,40E-02

Tabel 18: PVC kabelproductie (compleet en PVC deel) en PVC-deel AVI + stort (per m; in Pt); zie Figuur 18

Impact categorie	kabelproductie (compleet)	productie (alleen) PVC-deel	AVI PVC-deel	stort PVC-deel
Klimaat, gezond	1,24E-02	3,23E-03	1,51E-03	8,29E-05
Klimaat, eco	8,12E-03	2,11E-03	9,90E-04	5,43E-05
Ozonlaag	1,16E-06	1,59E-07	-7,73E-08	7,32E-09
Verzuring	5,76E-05	4,95E-06	2,37E-07	4,51E-08
Vermesting	5,81E-06	3,87E-07	8,90E-08	1,22E-09
Humane tox	8,48E-03	1,25E-04	2,29E-04	1,51E-04
Smog	1,68E-06	3,78E-07	-5,83E-09	5,09E-09
Fijnstof	8,38E-03	6,40E-04	2,00E-05	8,97E-06
Ecotox, bodem	4,65E-05	1,82E-06	-1,62E-07	5,98E-07
Ecotox, zoetw	1,90E-06	7,47E-08	5,64E-07	4,43E-07
Ecotox, zoutw	1,74E-08	2,54E-10	1,58E-09	1,16E-09
Straling	4,28E-05	4,36E-06	1,41E-06	3,25E-08
Land, agr	1,70E-03	1,23E-04	-3,05E-06	4,48E-07
Land, urb	1,05E-03	1,23E-05	1,61E-07	8,38E-06
Uitp. mineraal	4,06E-04	1,51E-06	8,29E-07	1,91E-08
Uitp. fossiel	1,81E-02	7,36E-03	-1,55E-03	3,47E-05
TOTAAL (Pt)	5,88E-02	1,36E-02	1,20E-03	3,42E-04

Tabel 19: Vergelijking van 3 typen complete kozijnen per m²: aluminium, PVC (afdanking via stort, AVI en VKG) en hout (1 en 2 levenscycli) (alle scores in Pt); zie Figuur 19

Impact categorie	aluminium kozijn	PVC kozijn STORT per m2	PVC kozijn AVI per m2	PVC kozijn VKG per m2	houten kozijn	houten kozijn (2 levenscycli)
Klimaat, gezond	5,97E+00	7,59E+00	9,46E+00	4,95E+00	3,42E+00	6,84E+00
Klimaat, eco	3,91E+00	4,98E+00	6,20E+00	3,25E+00	2,24E+00	4,48E+00
Ozonlaag	9,28E-04	6,34E-04	6,10E-04	6,02E-04	5,60E-04	1,12E-03
Verzuring	9,78E-03	2,11E-02	2,22E-02	1,74E-02	9,23E-03	1,85E-02
Vermesting	1,49E-03	3,48E-03	3,65E-03	3,08E-03	1,29E-03	2,59E-03
Humane tox	2,21E-01	2,77E+00	2,90E+00	1,85E+00	6,42E-01	1,28E+00
Smog	3,82E-04	8,42E-04	8,68E-04	5,16E-04	4,96E-04	9,92E-04
Fijnstof	1,37E+00	2,71E+00	2,85E+00	2,25E+00	1,44E+00	2,89E+00
Ecotox, bodem	2,60E-03	1,25E-02	1,25E-02	9,48E-03	2,49E-02	4,97E-02
Ecotox, zoetw	4,33E-04	4,93E-03	4,84E-03	4,38E-03	1,43E-03	2,85E-03
Ecotox, zoutw	1,34E-06	1,46E-05	1,44E-05	1,31E-05	4,11E-06	8,21E-06
Straling	1,21E-02	1,39E-02	1,84E-02	1,41E-02	1,64E-02	3,27E-02
Land, agr	2,07E-01	2,55E-01	2,64E-01	2,54E-01	1,50E+01	2,99E+01
Land, urb	7,71E-02	2,44E-01	2,40E-01	2,31E-01	4,04E-01	8,08E-01
Uitp. mineraal	6,06E-03	1,04E-01	1,06E-01	1,04E-01	1,85E-02	3,71E-02
Uitp. fossiel	7,76E+00	1,25E+01	1,15E+01	6,37E+00	3,76E+00	7,53E+00
TOTAAL (Pt)	1,95E+01	3,12E+01	3,36E+01	1,93E+01	2,69E+01	5,39E+01

Tabel 20: Buis per 5 m: PVC, gres, beton en PE, productie en afdanking; (in Pt); zie Figuur 20

Impact categorie	PVC stort	PVC AVI	PVC BIS	gres	beton	PE stort	PE AVI	PE BIS
Klimaat, gezond	1,47E+00	2,20E+00	4,41E-01	8,89E+00	8,44E-01	1,62E+00	2,23E+00	4,65E-01
Klimaat, eco	9,63E-01	1,44E+00	2,89E-01	5,82E+00	5,53E-01	1,06E+00	1,46E+00	3,05E-01
Ozonlaag	3,69E-05	2,77E-05	3,09E-05	1,96E-03	5,18E-05	3,73E-05	-8,87E-05	2,21E-05
Verzuring	2,05E-03	2,48E-03	7,22E-04	9,36E-03	6,91E-04	2,52E-03	1,75E-03	6,97E-04
Vermesting	2,06E-04	2,73E-04	4,20E-05	7,69E-04	1,89E-05	1,56E-04	1,39E-04	3,01E-05
Humane tox	2,18E-01	2,68E-01	3,58E-02	2,88E-01	1,54E-02	2,44E-01	1,96E-01	2,94E-02
Smog	1,60E-04	1,70E-04	3,38E-05	4,09E-04	4,93E-05	1,81E-04	1,35E-04	3,20E-05
Fijnstof	2,65E-01	3,18E-01	9,63E-02	1,54E+01	1,05E-01	3,08E-01	1,90E-01	8,99E-02
Ecotox, bodem	1,18E-03	1,19E-03	4,08E-04	4,79E-03	2,09E-04	6,32E-04	-4,93E-04	2,69E-04
Ecotox, zoetw	2,48E-04	2,12E-04	2,93E-05	2,02E-04	6,09E-06	9,64E-04	5,64E-04	6,53E-05
Ecotox, zoutw	6,65E-07	5,67E-07	9,14E-08	8,77E-07	2,52E-08	2,92E-06	1,69E-06	2,08E-07
Straling	1,64E-03	3,45E-03	1,77E-03	2,10E-02	1,02E-03	1,76E-03	-4,36E-04	1,52E-03
Land, agr	5,47E-02	5,81E-02	5,45E-02	2,28E-01	5,57E-03	6,02E-02	4,52E-02	5,81E-02
Land, urb	8,17E-03	6,47E-03	3,79E-03	2,03E-01	3,19E-02	8,52E-03	-1,66E-03	3,30E-03
Uitp. mineraal	4,19E-04	1,01E-03	3,34E-04	1,21E-02	3,98E-04	4,16E-04	3,21E-04	2,88E-04
Uitp. fossiel	2,94E+00	2,55E+00	5,23E-01	1,30E+01	3,65E-01	4,75E+00	2,97E+00	5,92E-01
TOTAAL (Pt)	5,93E+00	6,86E+00	1,45E+00	4,39E+01	1,92E+00	8,05E+00	7,09E+00	1,55E+00

Tabel 21: Kabel productie en afdanking (AVI en stort): PVC deel en rubber deel (per m) (alle scores in Pt); zie Figuur 21

Impact categorie	PVC productie	PVC productie + AVI	PVC productie + stort	rubber productie	rubber productie + AVI	rubber productie + stort
Klimaat, gezond	3,23E-03	4,74E-03	3,31E-03	6,12E-03	8,48E-03	6,20E-03
Klimaat, eco	2,11E-03	3,11E-03	2,17E-03	4,01E-03	5,56E-03	4,06E-03
Ozonlaag	1,59E-07	8,12E-08	1,66E-07	1,80E-06	1,66E-06	1,81E-06
Verzuring	4,95E-06	5,19E-06	5,00E-06	1,67E-05	1,60E-05	1,68E-05
Vermesting	3,87E-07	4,76E-07	3,89E-07	5,87E-07	5,92E-07	5,88E-07
Humane tox	1,25E-04	3,54E-04	2,76E-04	1,92E-04	1,92E-04	3,43E-04
Smog	3,78E-07	3,72E-07	3,83E-07	5,86E-07	5,42E-07	5,91E-07
Fijnstof	6,40E-04	6,60E-04	6,49E-04	1,96E-03	1,84E-03	1,97E-03
Ecotox, bodem	1,82E-06	1,66E-06	2,42E-06	5,10E-06	3,81E-06	5,70E-06
Ecotox, zoetw	7,47E-08	6,39E-07	5,18E-07	2,42E-07	2,91E-07	6,86E-07
Ecotox, zoutw	2,54E-10	1,83E-09	1,41E-09	6,68E-10	7,57E-10	1,83E-09
Straling	4,36E-06	5,78E-06	4,40E-06	1,89E-05	1,66E-05	1,89E-05
Land, agr	1,23E-04	1,20E-04	1,23E-04	3,01E-04	2,84E-04	3,01E-04
Land, urb	1,23E-05	1,24E-05	2,06E-05	4,77E-05	4,19E-05	5,61E-05
Uitp. mineraal	1,51E-06	2,34E-06	1,53E-06	5,22E-06	5,20E-06	5,24E-06
Uitp. fossiel	7,36E-03	5,81E-03	7,39E-03	1,33E-02	1,12E-02	1,33E-02
TOTAAL (Pt)	1,36E-02	1,48E-02	1,40E-02	2,60E-02	2,77E-02	2,63E-02