

Duurzaamheidsaspecten van aluminium

In opdracht van het Aluminium Centrum

Eindrapport

Niels Jonkers
Lieke Dreijerink

Amsterdam, 14 april 2011



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.	1106v
Titel	Duurzaamheidsaspecten van aluminium
Auteurs	N. Jonkers, L. Dreijerink
Contactpersoon opdrachtgever	P. Bruinsma

Het project 'Duurzaamheidsaspecten van aluminium' is uitgevoerd door IVAM, in opdracht van het Aluminium Centrum. Het project is mede mogelijk gemaakt door de financiële steun van M2i (Material Innovation Institute) en door de participatie van de volgende bedrijven:

E-MAX
Kalzip®
Nedal Aluminium BV
ODS BV
Oskomera
Roba Metals BV
Verosol

Voor meer informatie over deze rapportage kunt u contact opnemen met: Niels Jonkers, njonkers@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

1.	Inleiding	1
2.	De levenscyclus van aluminium	2
2.1	Eigenschappen van aluminium	2
2.2	De aluminiumketen in het kort	2
2.3	De productie van aluminium	3
2.3.1	<i>Bauxietwinning en verwerking</i>	3
2.3.2	<i>Elektrolyse</i>	6
2.3.3	<i>Gerecycle aluminium</i>	7
2.3.4	<i>Vormingsprocessen</i>	8
2.4	Gebruiksfase	9
2.5	Recycling	11
2.6	End of Life	12
2.7	Productiehoeveelheden	13
2.8	De toekomst van aluminium	14
3.	Milieuscores voor aluminium	16
3.1	Beoordeling van aluminium als bouw materiaal	16
3.2	Aluminium en Cradle to Cradle	17
3.3	Aluminium en Duurzaam Inkopen	18
3.4	Duurzaamheidsindicatoren van de European Aluminium Association	20
4.	Case studies	21
4.1	Levenscyclusanalyse	21
4.2	Selectie van case studies	21
4.3	Aanpak	21
4.3.1	<i>Functionele eenheid</i>	21
4.3.2	<i>Afbakening</i>	22
4.3.3	<i>Inventarisatie</i>	22
4.3.4	<i>De ReCiPe methode</i>	23
4.4	Recycling in LCA	24
4.5	LCA resultaten	26
4.5.1	<i>Profielplaat</i>	26
4.5.2	<i>Lichtmast</i>	28
4.5.3	<i>Drankblikje</i>	30
5.	Conclusies	33
	Bronnen	34
	Bijlage 1 Korte beschrijving van de milieu-impactcategorieën	39

1. Inleiding

Duurzaamheid staat hoog op de agenda binnen de aluminiumsector. Dat blijkt uit de voortdurende inspanningen die binnen de sector worden gedaan om het energieverbruik omlaag te brengen, milieuemissies te beperken, en aluminiumrecycling te optimaliseren.

Producenten van aluminium producten en halffabricaten ontvangen met regelmaat vragen van klanten over duurzaamheidsaspecten van aluminium. De beschikbare informatie over duurzaamheid is echter vaak vrij technisch, en daardoor voor niet-duurzaamheidsexperts weinig toegankelijk. Dit rapport heeft het doel de duurzaamheidsaspecten van aluminium in begrijpelijke taal te beschrijven, waarbij wetenschappelijke literatuur als belangrijkste basis dient. Het begrip duurzaamheid bestaat uit drie elementen, die met elkaar in balans moeten zijn: sociale aspecten (people), milieuaspecten (planet) en economische aspecten (profit). Voor de milieuaspecten zijn de meeste kwantitatieve gegevens beschikbaar, en daarom richt het huidige rapport zich hoofdzakelijk op dat onderdeel van duurzaamheid. Een aantal gegevens over sociale en economische aspecten zijn te vinden in (*EAA, 2011*).

In dit rapport wordt de duurzaamheid van aluminium zowel kwalitatief beschreven als gevat in enkele kwantitatieve milieu-indicatoren. Omdat dit rapport geschreven is voor een Nederlands publiek, is de beschrijving vooral gericht op de Nederlandse situatie. De aluminiummarkt is echter zeer internationaal geïntereerd en wat betreft de data voor de productie van aluminium wordt daarom voor een groot deel met Europese gemiddelden gerekend. Belangrijke activiteiten die niet in Nederland plaatsvinden, zoals de bauxietwinning en aluinaardeproductie worden ook beschreven.

Allereerst wordt in hoofdstuk 2 de gehele sector op een generieke manier beschreven, waarbij voor de verschillende fases in de keten van aluminium milieuaspecten zoals energieverbruik, landgebruik, milieuemissies en afvalproductie worden behandeld. Ook wordt besproken welke initiatieven de aluminiumindustrie neemt om deze milieueffecten te beperken.

Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 een aantal bestaande beoordelingssystemen voor de milieuprestatie van aluminium besproken.

Tenslotte worden enkele productvoorbeelden uit de aluminiumsector beschreven aan de hand van hun gehele levenscyclus (hoofdstuk 4). Hierbij wordt gebruik gemaakt van de LCA-methode, om de totale milieu-impact van deze voorbeeldproducten te kwantificeren.

Het rapport is tevens voorzien van een separate samenvatting bestemd voor leken (de publieksversie).

2. De levenscyclus van aluminium

2.1 Eigenschappen van aluminium

Aluminium wordt als metaal sinds ruim een eeuw gebruikt. Het heeft een aantal zeer gunstige eigenschappen, waarvan in vele toepassingen nuttig gebruik gemaakt wordt.

Allereerst is het metaal licht: de dichtheid is ongeveer een derde van die van ijzer. Daarbij is het sterk, slijtvast en (dankzij een klein aluminiumoxidelaagje) bestendig tegen corrosie, waardoor aluminium lang meegaat.

Aluminium is ook een goede warmte- en stroomgeleider. Het geeft geen vonken af, en het is relatief makkelijk te vormen. Aluminium heeft zeer goede barrière-eigenschappen: het laat geen water of lucht door. Bovendien heeft aluminium goede reflecterende eigenschappen. Aluminium is niet ferromagnetisch, maar met magneten kan in aluminium wel een magnetisch veld opgewekt worden.

Tot slot is een zeer belangrijke eigenschap van aluminium dat het bij recycling zijn eigenschappen volledig behoudt: de kwaliteit van het aluminium blijft gelijk. De hoge economische waarde van aluminium maakt recycling ook vanuit financieel oogpunt aantrekkelijk waardoor dit marktgedreven plaats vindt.

Toepassingsgebieden waarin gebruik wordt gemaakt van de gunstige eigenschappen van aluminium zijn bijvoorbeeld de auto- en vliegtuigindustrie, verpakkingen (folie, blik), de bouw (kozijnen, deuren, daken, gevels), infrastructuur (bruggen, geluidsschermen, hoogspanningsleidingen en lantaarnpalen), en machines, apparaten en consumentenproducten.

2.2 De aluminiumketen in het kort

De productie van primair ('nieuw') aluminium begint met de winning van het erts bauxiet. Dit wordt met behulp van natronloog omgezet in aluinaarde (Al_2O_3). De aluinaarde wordt verscheept naar de primaire smelters, waar in een energie-intensief proces door elektrolyse aluminium verkregen wordt.

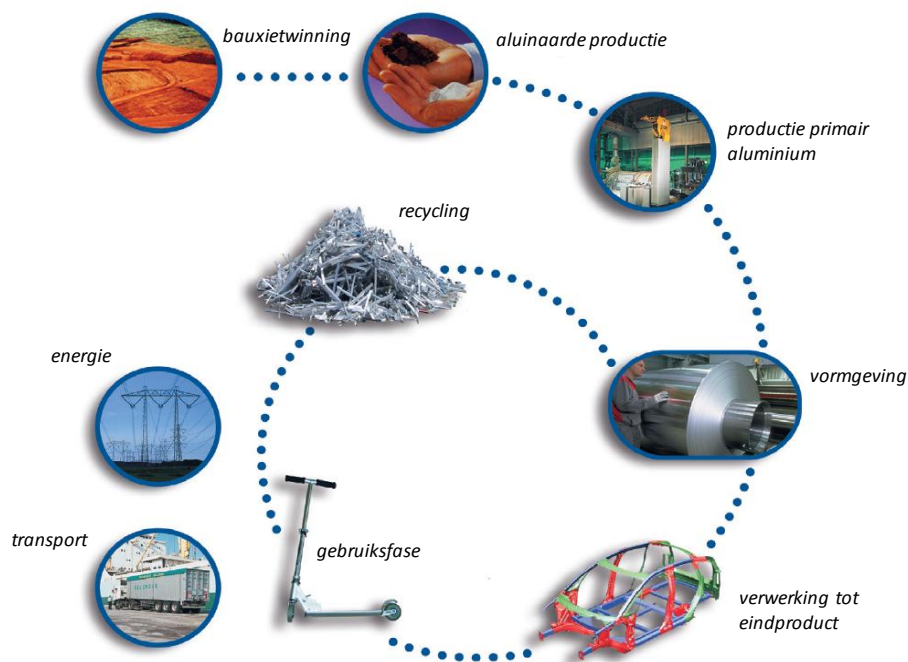
Legeringselementen kunnen worden toegevoegd om de eigenschappen van het materiaal te optimaliseren voor de gewenste toepassing.

Secundair (gerecycled) aluminium wordt verkregen door het hersmelten van schroot. Daarnaast wordt uit verbrandingsassen van afvalbrandingsinstallaties (AVI's) aluminium, voornamelijk afkomstig van consumentenverpakkingen, gescheiden dat kan worden verwerkt tot secundair aluminium.

Drie vormgevingsprocessen kunnen worden toegepast om de juiste vorm aan het aluminium halffabricaat te geven: gieten, extruderen of walsen. Dit halffabricaat kan via een scala aan technologieën tot een product worden verwerkt. Vervolgens kan op het product een beschermingslaag worden aangebracht door te anodiseren, te lakken of door toepassing van andere coatingtechnieken.

De levensduur van aluminiumproducten verschilt voor de diverse toepassingen van enkele maanden (bijvoorbeeld verpakkingen) tot tientallen jaren (bijvoorbeeld bouwmaterialen).

Na gebruik wordt een groot deel van het aluminium ingezameld en gerecycled. Vooral bij de bouw- en transporttoepassingen is het recyclingspercentage hoog. Een deel van het aluminium verpakkingen afval komt via het huishoudelijk afval in de afvalverbrandingsinstallatie (AVI) terecht. Uit de verbrandingsassen wordt een aanzienlijk deel van het niet-geoxideerde aluminium teruggewonnen en alsnog gerecycled.



Figuur 1: schematische weergave van de aluminiumketen (bron: European Aluminium Association).

In de volgende paragrafen wordt op de verschillende stappen van de keten ingegaan.

2.3 De productie van aluminium

2.3.1 Bauxietwinning en verwerking

Aluminium is, na zuurstof en silicium, het meest voorkomende chemische element in de aardkorst. Het komt in de natuur niet in metaalvorm voor, maar in geoxideerde vorm in meerdere gesteenten. Bauxiet bevat van deze ertsen winbare concentraties aluminiumoxide in de grootorde van 50 tot 60%. In tegenstelling tot veel andere materialen is aluminium niet schaars: de winbare hoeveelheden bauxiet zijn voldoende voor de komende eeuwen (USGS, 2009).

Bauxietmijnen zijn te vinden in ruim 20 landen. De grootste hoeveelheden worden gewonnen in Australië, Brazilië, Guineë, Jamaica, China en India. In Nederland wordt geen bauxiet gewonnen.

Bauxiet wordt (vaak in de buurt van de mijn) verwerkt tot aluinaarde. Hierbij wordt het zeer basische natronloog aan het bauxiet toegevoegd, waarbij het aluminium bevattende deel oplost. Vervolgens worden de niet opgeloste delen afgefilterd. De overblijvende oplossing wordt sterk verhit in aanwezigheid van kalk. Dit proces wordt calcinatie genoemd en hierbij ontstaat aluinaarde (aluminiumoxide, chemische formule: Al_2O_3). Er is twee tot drie ton bauxiet nodig om 1 ton aluinaarde te produceren.

De reststoffen die bij dit proces ontstaan worden ook wel 'red mud' genoemd. Red mud bestaat uit de niet-oplosbare delen van het bauxieterts, voornamelijk ijzeroxide (Fe_2O_3 , 30-60%) en siliciumoxide (SiO_2 , 3-50%). In mindere mate zijn aanwezig: aluminiumoxide (Al_2O_3 , 10-20%); natriumoxide (Na_2O , 2-10%); calciumoxide (CaO , 2-8%) en titaniumoxide (TiO_2 , 0-25%) (OECD, 2010). Daarnaast zijn nog organische stoffen aanwezig afkomstig van plantenresten (Hind, 1999). Deze componenten zijn zelf niet giftig, maar toch moet red mud met voorzichtigheid worden behandeld omdat het zeer basisch is (het heeft een hoge pH-waarde). Deze hoge pH maakt dat red mud schadelijk is voor de gezondheid. De meest gebruikte

methode om de red mud op te slaan is in bekkens, waarbij de red mud gedurende een aantal jaren langzaam aan de lucht geneutraliseerd wordt. Na deze periode is de red mud niet schadelijk meer.

In Nederland wordt geen bauxiet verwerkt, maar wordt aluinaarde geïmporteerd. In Nederland zijn dus ook geen red mud bekkens. Nederland importeert aluinaarde voornamelijk uit Jamaica en Spanje (CBS, 2011). Jamaica wint en verwerkt de bauxiet zelf, terwijl Spanje bauxiet importeert uit Guinea en Brazilië. Vandaar dat in dit rapport in voorkomende gevallen de specifieke situatie in Jamaica wordt belicht.



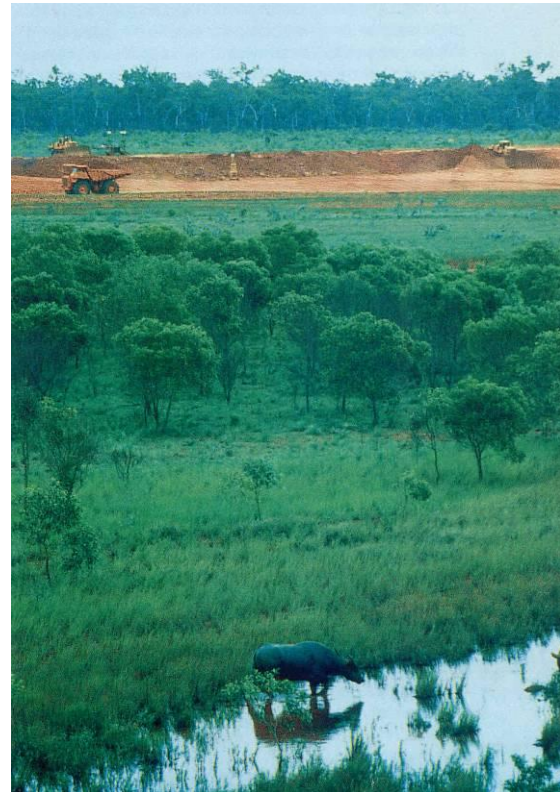
Figuur 2: de belangrijkste bauxietrijke gebieden, weergegeven in donkergrijs (bron: Aluminium Centrum).

De winning van bauxiet heeft impact op het milieu. Om de erts te winnen wordt grond afgegraven (dagbouw) en ook de aanleg van toegangswegen heeft lokaal invloed op het landschap. De originele vegetatie van de gebieden waar bauxietmijnen worden aangelegd is in veel gevallen bos (LAI, 2008). Het oppervlak dat wereldwijd jaarlijks nieuw wordt geëxploiteerd beslaat circa 30 km² (LAI, 2008). Dit oppervlak komt ongeveer overeen met de oppervlakte van het eiland Vlieland.

Om de uiteindelijke milieu-impact zoveel mogelijk te beperken, wordt door de mijnindustrie een serie maatregelen genomen:

- Het is gebruikelijk dat voordat een gebied voor bauxietwinning wordt ingezet een Environmental Impact Assessment (EIA) wordt uitgevoerd, waarbij onder andere de flora en fauna in kaart worden gebracht en de mogelijke milieuconsequenties van de bauxietwinning worden ingeschat (voor een voorbeeld zie CD, 2005). Zeldzame planten kunnen worden behouden door samen te werken met lokale organisaties, zoals de Jamaica Orchid Society (Wirtz, 1999). De toplaag van de bodem wordt afgegraven, bewaard en gebruikt voor rehabilitatie van het gebied nadat de bauxietwinning is gestaakt.

- Na het beëindigen van de bauxietwinning wordt het gebied zoveel mogelijk in oorspronkelijke staat teruggebracht, of met lokale overheden overlegd welke andere functie gewenst is voor het gebied. Het oppervlak dat wereldwijd per jaar wordt gerehabiliteerd is ongeveer even groot als het oppervlak dat voor nieuwe mijnen wordt geëxploiteerd (LAI, 2008).



Figuur 3: rehabilitatie van landschap na bauxietwinning (Gove, Noord-Australië). Achtergrond: originele staat; midden: tijdens bauxietwinning; voorgrond: hersteld terrein (bron: Aluminium Centrum).

Naast impact op landgebruik bij de winning is er ook tijdens de verwerking van bauxiet een milieu-impact door emissies van fijnstof en zwaveloxiden (mede door het verstoken van bunkerolie). Op Jamaica is de bauxietindustrie verantwoordelijk voor een groot deel van deze twee emissies. Hierbij moet wel bedacht worden dat de bauxietwinning de grootste industriesector op Jamaica is. Van Jamaica's exportopbrengsten komt 55% van bauxiet (Caricom, 2010).

Bij de verwerking van red mud worden verschillende maatregelen genomen om de milieu-impact te verminderen:

- In zijn algemeenheid en ook op Jamaica wordt de red mud die overblijft na verwerking van de bauxiet opgeslagen in bekkens. Tientallen jaren geleden werden deze bekkens niet goed afgesloten, waardoor het mogelijk was dat stoffen uit de red mud het grondwater bereikten. Tegenwoordig wordt de bodem van deze bekkens bedekt met een ondoordringbare laag klei en/of plastic, waarbij soms ook een drainagesysteem wordt geïnstalleerd (RM, 2006). Op deze manier wordt voorkomen dat er uitloging naar het grondwater plaatsvindt. Na ongeveer 10 jaar is de red mud zodanig geneutraliseerd dat het gebied weer beplant kan worden (Wirtz, 1999).
- Een recente methode van opslag die steeds vaker wordt toegepast is het “dry mud stacking system” waarbij de modder eerst wordt ontwaterd, waarna de gedroogde modder met optimale drainage wordt opgeslagen (Bámvölgyi, 2009).
- In meerdere onderzoeksprojecten is en wordt gezocht naar manieren om de red mud nuttig te kunnen gebruiken. De toepassingsmogelijkheden als bouw materiaal (baksteen), katalysator, of als bron van andere metalen zoals ijzer en titanium zijn al aangetoond, maar worden nog niet op grote schaal gebruikt (RM, 2006). De EAA rapporteert dat de hoeveelheid red mud (bauxiet residu) die in bekkens opgeslagen wordt (per ton aluinaarde) gedaald is met ruim 20% in de afgelopen 10 jaar, deels door de toename van alternatieve toepassingen, en deels door het gebruik van andere typen bauxiet (EAA, 2011).

Milieu-effecten van bauxietwinning en verwerking

- landgebruik, ontbossing
- energieverbruik productie aluinaarde
- reststof van aluinaarde productie: red mud, langdurige opslag in bekkens
- emissie van stof en zwaveloxides bij aluinaarde productie en uit red mud bekkens
- kans op lekkage red mud bekkens, vervuiling grond- of oppervlaktewater
- emissies door transport van grondstoffen

Maatregelen om effecten te beperken (met name op Jamaica)

- voor een gebied in gebruik wordt genomen, wordt een Environmental Impact Assessment gemaakt.
- Samenwerking met lokale NGOs om zeldzame soorten te beschermen/behouden
- voordat bauxietwinning start, wordt de bovenlaag afgegraven en opgeslagen, voor rehabilitatie na sluiting mijn
- na sluiting mijn wordt gebied in natuurlijke staat terug gebracht, of geschikt gemaakt voor bijv. landbouw
- wanden van red mud bekkens zijn niet-permeabel
- onderzoek is gaande om nuttige toepassing te vinden voor red mud, bijvoorbeeld in de bouw
- overleg en samenwerking met bewoners om overlast tegen te gaan
- bauxiet wordt in de buurt van de mijn verwerkt, daarna wordt alleen de aluinaarde getransporteerd

2.3.2 Elektrolyse

De omzetting van aluinaarde naar aluminium in metaalvorm gebeurt door middel van een energie-intensief proces genaamd elektrolyse. In Nederland gebeurt dit in Vlissingen en Delfzijl. Beide fabrieken staan in de buurt van energiecentrales, waardoor verliezen tijdens energietransport beperkt worden. Het elektriciteitsverbruik is weliswaar hoog in het elektrolyseproces, maar is in de afgelopen decennia door technische verbeteringen aanzienlijk gedaald (rond de 30% reductie). Op basis van de huidige technologie is (wereldwijd) een verdere reductie op korte termijn mogelijk van ongeveer 15%, door het moderniseren van oudere smelters (*IEA, 2007*).

De huidige milieurelevantie van dit proces blijft hoog: ongeveer 3,5% van de wereldwijde elektriciteitsconsumptie wordt gebruikt in de primaire aluminiumindustrie (referentiejaar 2004, *IEA, 2007*). Ter vergelijking: de totale energieconsumptie van de maak-industrie is ongeveer 31% van de wereldwijde energieconsumptie (*IEA, 2007*). Het huidige elektriciteitsverbruik tijdens elektrolyse ligt rond de 15 kWh per kg aluminium (in 2005, *EAA, 2008a*). Op Europese schaal is bij dit elektrolyse proces het percentage hernieuwbare elektriciteit 48% (voornamelijk hydro-elektriciteit, *EAA, 2011*).

Bij de elektrolyse wordt aluinaarde opgelost in een vloeibaar aluminiumfluoride-zout genaamd cryoliet. Hierbij vindt met behulp van elektriciteit een chemische reactie plaats tussen koolstof van de anode en aluinaarde, waarbij metallisch aluminium en koolstofdioxide worden gevormd. Dit kan worden weergegeven met de volgende reactievergelijking: $2 \text{Al}_2\text{O}_3 + 3 \text{C} \rightarrow 4 \text{Al} + 3 \text{CO}_2$. Deze anode (die bestaat uit cokes en teer) wordt dus tijdens de elektrolyse verbruikt, en moet regelmatig worden vervangen. Naast CO_2 komen tijdens dit proces in kleinere hoeveelheden zwaveldioxide (SO_2), fluorhoudende verbindingen en PAKs (polycyclische aromatische koolwaterstoffen) vrij (*OECD, 2010*). Daarnaast blijft er op de bodem van de reactor vast materiaal ('spent pot lining') achter dat als vast afval verwerkt moet worden. Door technische verbeteringen vertoont elk van deze emissies de afgelopen jaren een dalende trend (*EAA, 2011*). Zo is door verbeterde monitoring van de reactieomstandigheden in de reactor het aantal 'anode events' (veroorzaakt door een tijdelijk tekort aan aluinaarde in de reactor) waarbij geperfluoreerde broeikasgassen vrijkomen met ruim 80% teruggedrongen (*Mark's, 2010*). De hoeveelheid

‘spent pot lining’ is sinds eind jaren 90 teruggebracht met ruim 40% tot 15 kg/ton aluminium in 2005 (EAA, 2011). Daarna is de waarde gestegen, doordat in die periode een aantal fabrieken gesloten werden. Het vloeibare aluminium dat tijdens de elektrolyse ontstaat, kan soms direct in de juiste vorm van een eindproduct worden gegoten. Vaak wordt het echter in halffabricaten gegoten, die door andere bedrijven verder worden verwerkt (billets voor extruderen van profielen, walsplakken voor het verwerken tot plaat



Figuur 4: een hal met elektrolysecellen.

en gietbroodjes ten behoeve van gietproducten). Bij de productie van aluminium worden vaak legeringsmetalen toegevoegd om de gewenste materiaaleigenschappen te krijgen, zoals een betere corrosiebestendigheid of materiaalsterkte. De meest gebruikte legeringselementen zijn koper, mangaan, silicium en magnesium. De toegevoegde percentages variëren van 0,1% tot ongeveer 13% (bij aluminium-silicium gietlegeringen). Er worden twee hoofdgroepen in de legeringen onderscheiden aan de hand van de vormgevingstechniek waarvoor ze gebruikt kunnen worden: de gietlegeringen met legeringspercentages boven de 3% en kneedlegeringen ten behoeve van billets en walsblokken met legeringspercentages onder de 3%.

Milieu-effecten van elektrolyse

- hoog elektriciteitsverbruik tijdens elektrolyse
- CO₂ emissie tijdens elektrolyse
- emissie van o.a. geperfluoreerde stoffen tijdens elektrolyse
- vast afval (‘spent pot lining’) blijft over na elektrolyse

Genomen maatregelen om effecten te beperken

- gebruik van duurzame elektriciteit (bijvoorbeeld hydro-elektriciteit in Scandinavië)
- productie in de buurt van energiecentrales, om energieverlies door transport te beperken
- reductie elektriciteitsverbruik door modernisering oudere smelters
- door technische verbeteringen vinden ‘anode events’ steeds minder plaats: minder emissie geperfluoreerde stoffen

2.3.3 Gerecycled aluminium

De productie van secundair (gerecycled) aluminium kost ongeveer 95% minder energie dan de productie van primair (nieuw) aluminium, omdat de elektrolysestap achterwege kan blijven (het hoeft alleen te worden omgesmolten). De kwaliteit van gerecycled aluminium is identiek aan primair aluminium. In Nederland zijn ongeveer 10 bedrijven die gerecycled aluminium produceren (LM, 2010).

Het gebruikte aluminiumschroot kan afkomstig zijn van materiaal uit de aluminiumindustrie zelf dat niet in eindproducten terecht is gekomen (‘nieuw schroot’) of uit ‘post-consumer’ materiaal dat na gebruik is ingezameld (‘oud schroot’).

Het is belangrijk om de legeringssamenstelling van het schroot te kennen cq te analyseren, omdat niet elke aluminiumlegering in elke toepassing kan worden gebruikt. Door om te smelten aluminiumlegeringen in de juiste mengverhouding te combineren kan elke legering optimaal worden verwerkt. Producenten van gerecycled aluminium worden vaak ingedeeld in ‘refiners’ en ‘remelters’. De refiners kunnen elk type

schroot hergebruiken om gietlegeringen te produceren, terwijl remelters specifiek de aluminiumlegeringen verwerken die hergebruikt kunnen worden bij extrusiebedrijven en walsen.

Naast emissies vanwege het energieverbruik ontstaan er bij het omsmelten van aluminium kleine hoeveelheden rookgassen waarin zich onder andere stof, zuren (zoutzuur, zwaveldioxide) en vluchtige organische stoffen bevinden (EAA, 2006b). Deze worden langs kalkfilters geleid, waarmee het grootste deel van deze stoffen wordt afgevangen, zodat de milieuemissies beperkt blijven (tot enkele tientallen grammen per ton aluminium, EAA, 2008a). Ook ontstaat er vast afval in de vorm van zoutslakken en 'dross' (metaalslakken). Beide typen slakken bevatten nog aluminium, dus worden deze afvalstromen opnieuw gerecycled. Het zout in de zoutslak kan in hetzelfde proces worden hergebruikt (dit zout dient om oxidatie van aluminium te beperken en vervuiling in het aluminium af te vangen). Een deel van het uiteindelijk vaste afval vindt een nuttige toepassing in de cementindustrie (EAA, 2006b).

Milieu-effecten van productie secundair aluminium
 -tijdens smelten ontstaan rookgassen die o.a. stof, zwaveldioxide en vluchtige organische stoffen bevatten
 -na smelten blijven zoutslakken en metaalslakken over als vast afval

Genomen maatregelen om effecten te beperken
 -kalkfilters vangen het grootste deel van de stoffen uit rookgassen af, waardoor de bedrijven opereren binnen de emissiegrenzen die de centrale en lokale overheid stelt
 -vast afval wordt deels in hetzelfde proces opnieuw ingezet, en vindt deels een nuttige toepassing in andere industrieën

2.3.4 Vormingsprocessen

Om aluminium halffabricaten in de gewenste vorm te brengen van aluminium onderdelen of producten kunnen drie technieken gebruikt worden, afhankelijk van het type product (EI, 2007).

Bij het extrusieproces wordt een staaf aluminium (billet) verhit en door een matrijs geperst, waardoor een langwerpige product ontstaat. Deze techniek wordt voor nagenoeg alle marktsegmenten toegepast, bij voorbeeld voor bouwproducten zoals balken en kozijnen.

Het walsen wordt toegepast bij de productie van sheets, folie, blik en plaatwerk. Eerst wordt de aluminium



walsplak verhit en uitgewalst tot een dikte van 4-6 mm, waarna door middel van 'koud walsen' het aluminium op de gewenste dikte wordt gebracht.

Bij het gietproces wordt aluminium onder atmosferische- of verhoogde druk, of onder vacuüm in een mal gegoten. De aanwezigheid van legeringselementen in het aluminium is bij dit vormingsproces hoger en minder kritisch dan bij de andere twee. Daarom is het bij dit proces efficiënter en kostenverlagend om aluminiumschroot in te zetten want dan is de extra inzet van legeringselementen beperkt.

Figuur 5: gewalst aluminium komt op een rol terecht.

Bijna driekwart van het gegoten aluminium is bestemd voor de transportsector (bijvoorbeeld motorblokken en cilinderkoppen, *EAA, 2006a*).

De benodigde energie in het gietproces is iets lager dan in het wals- of extrusieproces. Ook zijn er iets grotere verliezen van aluminium tijdens walsen en extruderen dan tijdens gieten (*EAA, 2008a*). Voor alle drie processen geldt echter dat de milieudruk klein is in vergelijking tot het primaire aluminium-productieproces. De uiteindelijke aluminiumrestanten tijdens productie (de hoeveelheid productieschroot) verschillen sterk per toepassing: in de productie van auto-onderdelen ontstaat ongeveer 4% aluminiumschroot en in de vliegtuigindustrie (waar veel wordt verspaand) ongeveer 50% (*OECD, 2010*). Het productieschroot wordt marktgedreven wel voor vrijwel 100% gerecycled.

Tabel 1 geeft aan welke hoeveelheden aluminium worden ingezet in de verschillende vormgevingsmethoden (in Europa in 2004, *EAA, 2006b*).

Tabel 1 *Vormgevingsmethoden voor aluminium.*

methode	x1000 ton	
walsen	4.400	38%
extrusie	3.100	26%
gieten	3.100	26%
anders ⁽¹⁾	1.100	9%
totaal	11.700	100%

(1): bijvoorbeeld het gebruik van aluminium in poedervorm

Aluminium is een onedel metaal en oxideert daarom snel zodra het met lucht in aanraking komt. Hierbij wordt een zeer dunne laag aluminiumoxide gevormd aan de oppervlakte, waardoor het onderliggende metaal afgeschermd is van de lucht en niet zal oxideren.

Vaak wordt bij de afwerking van een aluminiumproduct deze aluminiumoxidelaag versterkt met behulp van anodisering: met behulp van zuur en elektriciteit wordt een dikkere aluminiumoxidelaag aangebracht. Hierbij kan aan het aluminium ook een kleur gegeven worden.

Een oppervlaktebehandeling die vroeger veel gebruikt werd was chromateren: een behandeling met chroomzuur. Door de giftigheid van met name chroom(VI) wordt deze methode tegenwoordig bijna niet meer toegepast.

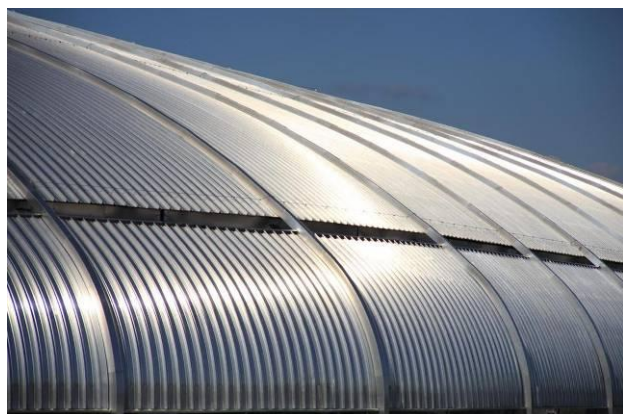
Ook kan het materiaal nog worden gelakt of van een andere coating worden voorzien.

Het belangrijkste milieuaspect bij deze oppervlaktebehandelingsprocessen is het energieverbruik door de elektriciteit benodigd in het elektrochemische proces en de verwarming van de zuurbaden.

2.4 Gebruiksfase

Aluminium kent een enorm scala aan toepassingen. Duurzaamheidsaspecten kunnen per toepassing sterk verschillen. Sommige aluminium producten hebben een korte levensduur (bijvoorbeeld verpakkingsfolie, enkele maanden), andere gaan lang (bijvoorbeeld elektronische apparaten, enkele jaren) tot zeer lang mee (bijvoorbeeld aluminium in gebouwen, tientallen jaren).

Aluminium producten roesten niet door (dankzij het beschermende aluminiumoxidelaagje), en hebben over het algemeen weinig onderhoud



Figuur 6: toepassing van aluminium als dakbedekking.

nodig. Bij aluminium kozijnen bijvoorbeeld volstaat een eenvoudige periodieke reiniging. Tijdens de gebruiksfase zal er dus nauwelijks extra milieu-impact zijn.

In veel toepassingen zorgt aluminium in feite voor een netto milieuwinst.

De isolerende werking van aluminium, die onder andere wordt benut bij isolatiefolie voor de bouw, brandweerpakken en thermoskannen, leidt tot energiebesparing. Bij gemetalliseerde zonwering worden de reflecterende eigenschappen van aluminium benut, wat zorgt voor besparing op het energieverbruik van de airconditioning door vermindering van de zon-instraling.

Als verpakkingsmateriaal kan aluminium dankzij de goede barrière-eigenschappen tegen water en lucht worden ingezet voor het langdurig bewaren van medicijnen, voedingsproducten (*Lamberti, 2007*) en dergelijke. Minder voedselbederf betekent milieuwinst. De goede thermische geleidbaarheid van aluminium maakt het koelen van dranken of het opwarmen van verpakte maaltijden efficiënter, wat leidt tot energiebesparing. In een recente levenscyclusanalyse-studie (LCA) naar de rol van verpakkingen in de totale milieubelasting van voedingsproducten wordt een lage bijdrage van verpakkingen gevonden van minder dan 10% (*Büsser, 2009*). Daarnaast zijn er ook initiatieven om aluminium verpakkingen steeds lichter te maken. Een recent voorbeeld hiervan is de Britse Courtauld Commitment, die onder andere resulteerde in 5% lichtere aluminium drankblikjes (*WRAP, 2009b*).

Aluminium bouwproducten die zwaardere materialen vervangen zorgen voor een lager energieverbruik in de bouwsector.

Ook in de transportsector zorgt de toepassing van aluminium ter vervanging van zwaardere materialen



voor gewichtsbesparing, en daarmee voor verminderd brandstofgebruik. Ook hier geldt dat de gebruiksfase (benzineverbruik) een aanzienlijk grotere bijdrage aan de totale milieubelasting over de levenscyclus heeft dan de productie van het aluminium: de bijdrage van de gebruiksfase wordt geschat op 93% (en de milieudruk van de productie- en afvalverwerkingsfase vormen dus de overige 7%) (*IVAM, 2010*). In een recente LCA-studie naar de toepassing van aluminium in auto's werd geconcludeerd dat het vervangen van staal door aluminium weliswaar leidt tot een hogere milieubelasting tijdens productie, maar in de gebruiksfase door het lagere gewicht een aanzienlijke hoeveelheid brandstof bespaart en daardoor een netto milieuwinst oplevert (*Bertram, 2009*).

Figuur 7: toepassing van aluminium in de beeldende kunst.

Milieu-effecten van de gebruiksfase van aluminium

Functie van aluminium producten kan gunstig voor het milieu zijn, en daarbij beter presteren dan andere materialen:

- in de transportsector vervangt aluminium zwaardere materialen, wat leidt tot brandstofbesparing
- aluminium verpakking maakt voedingsproducten zeer lang houdbaar, wat leidt tot minder voedselverliezen
- aluminium bouwproducten hebben weinig onderhoud nodig en gaan lang mee

Maatregelen om effecten te beperken

-door verbeteringen in ontwerp kunnen aluminiumproducten nog lichter worden (bijvoorbeeld drankblikjes)

2.5 Recycling

Door het hoge energieverbruik tijdens de productie van primair aluminium (alsmede de andere emissies en gevolgen van de grondstofwinning) wordt er op grond van zowel economische als duurzaamheids-overwegingen sterk ingezet op recycling van aluminium. Het feit dat gerecycled aluminium dezelfde kwaliteit heeft als primair aluminium maakt het materiaal uitermate geschikt voor recycling. Het ingezamelde aluminiumschroot wordt onderworpen aan een serie behandelingsstappen, om het aluminium te zuiveren en te sorteren op



Figuur 8: aluminium schroot.

legeringssamenstelling. Deze stappen bestaan onder andere uit het shredderen van grotere aluminium onderdelen, afbranden van coatings en lakken, verwijdering van organische componenten (plastic, hout) door verbranding of scheiding op dichtheid ('sink-float separation'), magnetische scheiding en wervelstroomscheiding (EAA, 2006b).

Het productieafval dat tijdens fabricage van aluminium producten ontstaat ('productie- of nieuw schroot') wordt in principe allemaal gerecycled. Ná gebruik wordt in de meeste toepassingen van aluminium het grootste deel van het materiaal gerecycled ('post-consumer' of 'oud' schroot).

In de autobranche is in Nederland een recyclingpercentage van 85% voor de auto als geheel (ARN, 2009). De overige 15% bestaat voornamelijk uit textiel en kunststof van autobanken, dashboards, bekleding en bedrading (RD, 2010). Het recyclingpercentage van aluminium uit auto's zal dus aanzienlijk hoger liggen dan 85%: waarschijnlijk rond de 95% (mondelinge mededeling, ARN 2011). Deze percentages gelden voor de 87,5% van de autowrakken in Nederland die worden verwerkt door de ARN en hun ketenpartners (ARN, 2010). Over de verwerking van de overige autowrakken is weinig bekend.

Volgens ander (Europees) onderzoek kan 95% van het aluminium uit de autosector gerecycled worden (EAA, 2007; EAA, 2009).

Ook in de bouwsector is recycling succesvol: uit een studie van de TU Delft naar de sloop van enkele Nederlandse gebouwen kwam een recyclingspercentage voor aluminium van 95% (EAA, 2004).

Tenslotte wordt ook in de verpakkingensector aluminium gerecycled. Naar schatting wordt in Nederland 30% gescheiden ingezameld en direct gerecycled (CE, 2007). De overige aluminiumverpakkingen komen met het huisvuil bij de afvalverbrandingsinstallatie (AVI) terecht. Hier wordt vervolgens een deel van het aluminium teruggewonnen. Het terugwinpercentage hangt af van de gebruikte techniek. Wanneer er voorscheiding plaatsvindt (scheiding vóór de verbranding), kan 80% van het aluminium worden teruggewonnen (Nedvang, 2010). Dit gaat door middel van de wervelstroomtechniek (eddy current techniek), waarbij onder het einde van een transportband een snel ronddraaiende magneet zorgt voor een magnetisch veld dat het aluminium afstoot, waardoor het apart opgevangen kan worden. Wanneer het huisvuil direct verbrand wordt, kan uit de assen die overblijven het niet geoxideerde (niet verbrande) aluminium worden teruggewonnen met de wervelstroomtechniek. Terugwinpercentages verschillen per installatie, maar worden op gemiddeld 44% geschat (Nedvang, 2010). De beste installatie in Nederland haalt een terugwinpercentage van 75% (Fact, 2009). Uit onderzoek van TNO blijkt dat de grootte van aluminiumdeeltjes in de assen een grote rol speelt: hoe groter de deeltjes hoe beter het terugwinpercentage (TNO, 2009). Aluminiumfolies en combinatieverpakkingen (laminaten, zoals drankkartons) zijn moeilijker terug te winnen, doordat ze in de AVI grotendeels verbranden. Het geoxideerde aluminium is

niet bruikbaar meer. Het aluminium dekseltje in stalen drankblikjes is moeilijker te recyclen omdat het bij machinale scheiding in de ijzerfractie terecht komt.

De milieueffecten van het recyclingproces zijn relatief klein. Naast het energieverbruik voor de scheidings-



Figuur 9: een wervelstroom-scheidingsinstallatie.

en verwerkingsinstallaties en de milieueffecten van transport ontstaan er (zoals al genoemd in paragraaf 2.3.3) rookgassen en vast afval.

Verder moet bedacht worden dat geen enkel recyclingproces 100% efficiënt is: er treden altijd enige verliezen op. Bij relatief zuivere aluminiumstromen zoals productieschroot of (schoon) blik treedt er weinig verlies op: rond de 3% (EAA, 2008). Bij minder zuivere aluminiumstromen is een verlies van gemiddeld 11% te verwachten (EAA, 2008).

Hoewel dus het grootste deel van het gebruikte aluminium gerecycled wordt, komt er te weinig schroot vrij om aan de vraag naar aluminium te kunnen voldoen met alleen gerecycled aluminium. Dit komt enerzijds door de lange levensduur van aluminium producten, en anderzijds doordat de vraag naar aluminium blijft groeien. Ondanks de hoge recyclingpercentages is daarom het aandeel gerecycled aluminium in nieuwe producten (het 'recycled content'-percentage) minder hoog: gemiddeld rond de 47% in Europa (EAA 2011). Bij gegoten producten ligt dit percentage meestal boven het gemiddelde, en bij gewalste en geëxtrudeerde producten meestal eronder (zie ook paragraaf 2.3.3).

2.6 End of Life

Mede vanwege de economische waarde van aluminiumschroot is storten een weinig gebruikte optie in Nederland. Toch wordt in de bouw en automotive sector gebruik gemaakt van stort, wanneer het afval niet meer te recyclen is en geen brandbare onderdelen bevat die geschikt zijn voor de AVI. In Nederland gaat van het aluminium afval uit de bouwsector ongeveer 6% naar de stort, en in de automotive sector ongeveer 5% (bij verwerking van autowrakken volgens de officiële route).

Onderzoek van AgentschapNL laat zien dat er geen bouw- en sloopafval bij AVI's wordt aangeleverd, en dat de restfractie naar de stort gaat (SN, 2009a).

Aluminium verpakkingsmaterialen die niet separaat ingezameld worden, komen in de AVI terecht (zie paragraaf 2.5). Uit de bodemassen die na verbranding overblijven, wordt een deel van het aluminium teruggewonnen. Het verwerkte bodemas kan vervolgens in veel gevallen nuttig toegepast worden als bouwstof bij de ophoging van wegen of de bouw van geluidswallen (LAP, 2009).

Voor bepaalde toepassingen van aluminium bestaan geen mogelijkheden om het materiaal te recyclen. Voorbeelden hiervan zijn de toepassing van aluminium voor desoxidatie in de staalproductie (vaak wordt hier wel gerecycled aluminium voor gebruikt), aluminium in poedervorm en aluminium in 'metallic' lak (EAA, 2006b).

2.7 Productiehoeveelheden

Sinds de opkomst van aluminium in de jaren '50 is de productie bijna continue blijven groeien. Het groeipercentage in Europa voor de productie van primair aluminium is ongeveer 3% per jaar (periode 2002-2005, *EAA, 2006*), met een productiehoeveelheid van 5.186.000 ton in 2008 (*EAA, 2011*). Vanwege de economische crisis nam in 2009 de Europese primaire productie af met ongeveer 20% (*EAA, 2011*). In Nederland wordt ongeveer 284.000 ton primair aluminium per jaar geproduceerd (*EAA, 2008b*). De Nederlandse productie van gerecycled (secundair) aluminium wordt geschat op 266.000 ton per jaar. Enkele andere gegevens over productiehoeveelheden staan in tabel 2.

Via de Nederlandse havens worden verder grote hoeveelheden aluminium in- en uitgevoerd (ongeveer 1,7 miljoen ton in 2006 (*EAA, 2008b*)). Zodoende is het bij aluminium dat in Nederlandse producten terecht komt vaak niet mogelijk te traceren waar het precies vandaan komt.

Voor Nederland (en voor Europa) is er sprake van een netto export van aluminium schroot (*EAA, 2008b*). Een aanzienlijk deel hiervan gaat naar Azië.

Het jaarlijks verbruik (consumptie) van aluminium in Nederland is momenteel circa 573.000 ton (2007), wat overeenkomt met 34,5 kg aluminium per Nederlander per jaar (*EAA, 2008b*). De belangrijkste toepassingsgebieden van aluminium zijn de transportsector, de bouw en verpakkingen. De verdeling van aluminium over deze toepassingen is weergegeven in tabel 3.

Ten gevolge van de voortdurende groei in aluminiumconsumptie en de lange levensduur van veel aluminium producten, is per jaar de hoeveelheid afgedankt aluminium kleiner dan de hoeveelheid geproduceerd. Dit betekent dat de 'voorraad' aluminium die nu in gebruik is toeneemt. Wereldwijd wordt deze voorraad jaarlijks ongeveer 4% groter (*OECD, 2010*). Logischerwijs bestaat deze voorraad voornamelijk uit producten met lange levensduur (bouw, transport en engineering sector), en voor slechts 1% uit verpakkingen (*EAA, 2006b*).

Tabel 2 Productiehoeveelheden in 2006 (OECD, 2010).

<i>Bauxiet</i>	<i>ton per jaar</i>	
Jamaica ⁽¹⁾	14.865.000	
Guinea ⁽¹⁾	16.300.000	
Wereld	182.740.000	
<i>Aluinaarde</i>		
Jamaica	4.100.000	
Guinea	545.000	
Wereld	73.043.000	
<i>Aluminium</i>	<i>Primair aluminium</i>	<i>Gerecycled aluminium</i>
Nederland	284.000 ⁽²⁾	107.000 ⁽²⁾
USA	2.284.000	3.540.000
China	9.360.000	2.350.000
Europa	5.181.000 ⁽²⁾	5.276.000 ⁽²⁾
Wereld	34.130.000	11.797.000

(1): aluinaarde voor de Nederlandse primaire productie wordt voornamelijk uit deze landen geïmporteerd.

(2): bron: *EAA, 2008b*. Deze waarden betreffen het jaar 2006.

Tabel 3: Aluminiumconsumptie per toepassingsgebied in Nederland (EAA, 2005; Alupro, 2009).

Toepassingsgebied	Percentage (Europa)	Hoeveelheid (Nederland, x1000 ton)
Verpakkingen	16	92 (waarvan 65 kton vormvast (70%) en 27 kton folie (30%))
Bouw	27	155
Transport	36	206
Engineering (machines)	14	80
Overig	7	40
totaal	100	573

2.8 De toekomst van aluminium

Aluminiumconsumptie

De komende jaren zal de aluminiumconsumptie naar alle waarschijnlijkheid blijven toenemen. Bij normale economische omstandigheden wordt een wereldwijde toename verwacht van 45,3 miljoen ton in 2006 naar 61 miljoen ton in 2015. Dit komt overeen met een groei van ruim 3% per jaar (OECD, 2010). Hierbij wordt zeker op de wat langere termijn vooral een toename verwacht in de opkomende economieën van Brazilië, Rusland, India en China (waar de aluminiumconsumptie op dit moment nog relatief laag is). Door de lange levensduur zal de hoeveelheid vrijkomend aluminiumschroot minder hard groeien dan de vraag naar aluminium. Daarmee zal dus de 'totale hoeveelheid aluminium in gebruik' blijven groeien. Dit betekent verder dat in de nabije toekomst het percentage gerecycled aluminium in producten (de recycled metal content) nog niet zal groeien.

Design for Recycling

Wanneer tijdens het ontwerp van een product rekening wordt gehouden met de mogelijkheden om het product na gebruik te kunnen recyclen spreekt men van 'Design for Recycling'. Hierbij is een belangrijk aspect dat het product zodanig uit elkaar te halen is dat de verschillende materialen van elkaar gescheiden kunnen worden. Ook wordt recycling vereenvoudigd wanneer minder verschillende materialen in het product gebruikt worden.

In de aluminiumsector wordt dit concept steeds vaker toegepast. Een voorbeeld hiervan vormen de verwarmingsradiatoren die sinds enkele jaren door Vasco en Thermic (The Heating Company) worden geproduceerd. Vanuit de ervaring van het bedrijf met stalen radiatoren werden ook in de aluminium radiatoren in eerste instantie stalen koppelstukken, pluggen en stromingsschotjes gebruikt. Door verdere ontwikkeling is men er nu in geslaagd om alle stalen onderdelen te vervangen door aluminium delen, waardoor de radiator te recyclen is zonder voorbewerking. Momenteel wordt nog verder gewerkt aan het elimineren van lijmen die nu nog worden gebruikt voor de afdichting van de koppelstukken.

Verdere verduurzaming van de primaire aluminiumproductie

Op duurzaamheidsgebied wordt voor de primaire aluminiumproductie verwacht dat de dalende trend in elektriciteitsverbruik zich zal blijven voortzetten. Op korte termijn op basis van huidige technologie kan dit gedaan worden door verouderde smelters te moderniseren, waarbij een geschatte reductie van elektriciteitsverbruik van ongeveer 15% mogelijk is (IEA, 2007).

Daarnaast is te verwachten dat het percentage duurzaam opgewekte elektriciteit verder zal toenemen. De duurzame opwekking gebeurt hoofdzakelijk met waterkrachtcentrales. Hoewel zeer gunstig in termen van

CO₂-uitstoot, dient hierbij wel zoveel mogelijk gezorgd te worden dat directe schade aan ecosystemen door de bouw van nieuwe hydro-elektriciteitscentrales en stuwdammen voorkomen wordt.

In verband met efficiënt energieverbruik krijgt het nuttig gebruik van restwarmte steeds meer aandacht in de aluminiumsector. Zo wordt opgewarmd koelwater van primair aluminium producent Zalco door het naastgelegen bedrijf gebruikt om gekoeld propaan op te warmen. Hiermee wordt energie bespaard én lozing van warm water ('thermische vervuiling') vermeden. Er bestaan plannen om restwarmte ook te gebruiken voor verwarming van bijvoorbeeld productiehallen (*DWA, 2010*).

Een andere ontwikkeling waarbij grote energiebesparingen mogelijk zijn, is het transport van vloeibaar aluminium. Op dit moment is het gebruikelijk dat een aluminiumproducent het (vloeibare) aluminium tot gietbroodjes verwerkt, waarna deze getransporteerd worden naar bedrijven die het aluminium opnieuw smelten en tot eindproducten verwerken. Wanneer dit extra smeltproces zou worden vermeden, zou dit een grote energiewinst betekenen. De bedrijven RMD, KBM en Aldel (dicht bij elkaar gelegen in de Eemsdelta) hebben een plan ontwikkeld om vloeibaar aluminium aan elkaar te leveren met behulp van speciaal uitgeruste trailers. Uiteindelijk zou dit vloeibare transport ook over grote afstanden (tot 500 km) mogelijk zijn (*PG, 2010*).

Andere te verwachten technische ontwikkelingen zijn verbeteringen in de monitoring van de elektrolysecel-condities, die zullen leiden tot verdere vermindering van de uitstoot van gefluoreerde stoffen. Verder kan het onderzoek naar de nuttige toepassing van 'red mud' (dat bij de productie van aluinaarde ontstaat) leiden tot een verbetering van de milieuprestatie van aluminium (*RM, 2006*).

Verdere optimalisatie recycling

Bij meerdere Nederlandse afvalverbrandingsinstallaties (AVI's) en verwerkers van de overblijvende bodemassen lopen initiatieven om de terugwinefficiëntie van aluminium uit de assen verder te verbeteren. Zo heeft AVR (Rotterdam) besloten de bodemassen te laten verwerken door Heros/Inashco in Sluiskil en is AEB (Amsterdam) een samenwerkingsverband aangegaan met Feniks Recycling. Hierdoor zullen in 2011 ook deze AVI's, die samen circa 40% van de bodemassen in Nederland produceren, gebruik maken van de meest optimale scheidingstechnologie met rendementen voor aluminium >75 % (*bron: RAVN*). Voor (vormvaste) aluminium verpakkingen is daarom te verwachten dat de recycling percentages aanzienlijk zullen stijgen. Voor folies en combinatieverpakkingen die in de AVI geoxideerd (verbrand) worden zal dit geen effect hebben (*Ffact, 2009*).

Gescheiden inzameling van huishoudelijk aluminium verpakkingsafval gebeurt op dit moment in onder andere België en Groot-Brittannië (*Fostplus, 2009; WRAP, 2009a*). Voor Nederland zijn er op dit moment op dit gebied geen concrete plannen en blijft dit beperkt tot enkele gemeentelijke en private initiatieven. In de bouw en transportsector zijn recyclingpercentages op dit moment erg hoog. Toch zijn ook in deze sectoren ontwikkelingen gaande voor verdere verbeteringen, zoals de binnenkort te openen nieuwe scheidingsinstallatie van ARN Auto Recycling. Met deze Post Shredder Technologie (PST) kan het afval dat overblijft na het shredderen van een autowrak binnenkort nauwkeuriger worden onderverdeeld in fracties die weer verder gerecycled kunnen worden. (*ARN, 2009*). Tot nu toe werd dat shredderafval doorgaans gestort.

3. Milieuscores voor aluminium

Vanwege de alom tegenwoordigheid van aluminium is dit materiaal in meerdere milieuprestatie-beoordelingen opgenomen. Deze beoordelingssystemen hebben verschillende doelgroepen, en beschrijven de duurzaamheid van aluminium op verschillende manieren, waarbij het ene systeem kwalitatief van aard is (bijvoorbeeld het Duurzaam Inkopen programma van de overheid) en het andere systeem kwantitatief de milieuscores van materialen met elkaar vergelijkt (bijvoorbeeld GreenCalc in de bouwsector).

3.1 Beoordeling van aluminium als bouw materiaal

In de bouwsector wordt sinds de jaren '90 veel aandacht besteed aan duurzaamheid. Recent onderzoek laat zien dat in Nederland bij 85% van de marktpartijen binnen de bouw duurzaamheid een rol speelde tijdens het laatste project (*DG, 2011*). Een trend is waarneembaar waarin de focus, die traditioneel vooral gericht was op energiebesparing, steeds meer verschuift richting duurzaam materiaalgebruik. Enerzijds komt dit doordat energiemaatregelen succes hebben: gebouwen zijn steeds energie-efficiënter geworden. Anderzijds betekenen energiemaatregelen vaak een toename van materiaalgebruik (isolatiematerialen, installaties), waardoor de milieudruk van materialen steeds relevanter wordt (*SBR, 2010*).



Meerdere rekeninstrumenten zijn de afgelopen jaren ontwikkeld om de milieuprestatie van bouwmaterialen, bouw- en sloopmethoden en gebruik van een gebouw kwantitatief te kunnen vergelijken. De instrumenten verschillen onder andere in de beoogde doelgroep (architect, aannemer, opdrachtgever, gemeente), schaalniveau (stedenbouwkundig, gebouw), detailniveau en instrumenttype (maatregellijst, prestatie-eis, berekening, puntensysteem). In deze verschillende methodes wordt in meer of mindere mate gebruik gemaakt van LCA-resultaten om milieuprestaties te kwantificeren.

Enkele bekende instrumenten zijn:

- DuboCalc berekent de milieueffecten van het materiaal- en energiegebruik van infrastructurele werken. De milieueffecten van een project worden met een gedetailleerde berekening vertaald naar de MilieuKostenIndicator (MKI) (*Rijkswaterstaat, 2011*).
- GPR-Gebouw brengt de duurzaamheid van een gebouw in kaart, waarbij de thema's energie en milieu, gezondheid, gebruikskwaliteit en toekomstwaarde worden onderscheiden. De duurzaamheid van de materialen vormt een submodule bij het thema milieu. Per thema wordt een rapportcijfer gegeven. Bij renovaties/ verbouwingen wordt de huidige situatie en de situatie na de ingreep beoordeeld (*GPR, 2011*).
- GreenCalc geeft scores voor een gebouw of wijk op de aspecten energiegebruik, watergebruik, materiaalgebruik en mobiliteit. Deze scores worden opgeteld tot een getal genaamd de milieu-index gebouw (MIG). Het instrument heeft gedetailleerde invoer nodig, en levert een nauwkeurig resultaat op (*GreenCalc, 2011*).
- BREEAM-NL is een certificatiemethode voor de duurzaamheid van gebouwen. In de methode worden negen kwaliteitsaspecten van het gebouw gewogen, waaronder energie, materialen, transport en management. Bij materialen verwijst de methode naar de instrumenten GreenCalc en GPR Gebouw, dus BREEAM-NL bevat geen eigen rekenmodule (*Breecam, 2011*).

Sinds 2010 maken deze bovenstaande instrumenten gebruik van dezelfde bepalingmethode om de materiaalgebonden milieubelasting te kwantificeren. Dat betekent dat ze gebruik maken van dezelfde rekenmethode, en van dezelfde nationale database waarin de specifieke milieueffecten van materialen en processen zijn opgenomen. Basisprocessen in deze database beschrijven bijvoorbeeld materiaalproductie, afvalverwerking of transport. In het basisproces voor aluminiumproductie is dus geen (bonus)score verwerkt voor eventuele recycling. De aluminiumproductie is beschreven met een standaardverhouding primair/gerecycled materiaal. Er wordt onderscheid gemaakt in de gebruikte oppervlaktebehandeling van het aluminium. Met deze basisprocessen kan een productkaart worden opgebouwd voor een bouwcomponent. In een productkaart zijn naast materiaalsamenstelling ook processen voor onderhoud, recycling en afvalverwerking opgenomen.

De gegevens uit de database zijn onderverdeeld op basis van herkomst:

- generieke productinformatie, uit algemene LCA-databases
- specifiek productgemiddelde getoetste informatie (veelal zijn deze data afkomstig van een 'branche' als geheel)
- specifieke getoetste product informatie van een individuele producent (vaak gebaseerd op een MRPI/EPD)

Met de bepalingmethode worden volgens LCA-principes de verschillende milieueffecten die ontstaan in de verschillende fases van de levenscyclus van het materiaal bij elkaar opgeteld. Deze optelling wordt gedaan met behulp van een schaduwprijs: de fictieve kosten die verbonden zijn aan het ongedaan maken van de milieueffecten.

De bepalingmethode is gebaseerd op de norm NEN 8006 'Milieugegevens van bouwmaterialen, bouwproducten en bouwelementen voor opname in een milieuverklaring'.

De bepalingmethode en de nationale database worden beheerd door de Stichting Bouwkwiteit (SBK). De SBK heeft overleg met branchevertegenwoordigers uit de toeleverende industrie om de data in de database te vergelijken met data van de industrie.

Met deze bepalingmethode is dus de materiaalgebonden milieuprestatie geharmoniseerd voor verschillende instrumenten. Omdat dit een onderdeel is van de totale duurzaamheidsscore van een gebouw, kunnen de verschillende rekeninstrumenten met hun uiteindelijk totaalscores alsnog van elkaar verschillen.

3.2 Aluminium en Cradle to Cradle

Cradle to Cradle (C2C) is een certificeringssysteem waarbij de nadruk niet zozeer ligt op het reduceren van de negatieve milieu-impact van producten (vergroten van de eco-efficiency) maar meer op het vergroten van de positieve effecten van het product (eco-effectiveness). Het programma is van toepassing op materialen, deel-assemblages en kant-en-klare producten.

De basis is dat C2C probeert om alle materialen van een product in een kringloop te houden, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen de biologische en technologische kringloop. Dat betekent dat er veilige materialen worden gebruikt, en dat producten zodanig uit elkaar gehaald kunnen worden dat er volledig gerecycled kan worden.

De materialen en productiemethoden worden beoordeeld in 5 categorieën:

- gebruik van onschadelijke materialen (zowel voor gezondheid als milieu)
- materiaalhergebruik
- gebruik van duurzame energie
- watergebruik tijdens productie
- sociale verantwoordelijkheid en bedrijfsethiek

De certificering bestaat uit vier niveaus (Basic, Silver, Gold, en Platinum), waarmee de continue verbetering in het Cradle-to-Cradle traject weergegeven kan worden (C2C, 2011).

Op het Basic niveau worden vooral eisen gesteld aan de identificatie van alle gebruikte materialen en hun toxische en milieueigenschappen. Enkele schadelijke stoffen (vooral gechloroerde verbindingen) zijn verboden, en voor andere aanwezige stoffen dient een plan gemaakt te worden om ze te elimineren. Op de hogere niveaus worden voor alle 5 beoordelingscategorieën steeds hogere eisen gesteld (*MBDC, 2011a*).

Het C2C systeem kan ook worden toegepast op aluminium. Door de voortdurende vooruitgang die de afgelopen jaren is geboekt op het gebied van reductie van energieverbruik, waterverbruik, afvalproductie en recycling passen de recente ontwikkelingen in de aluminiumsector uitstekend bij het C2C traject.

Er bestaan aluminiumlegeringen en enkele eindproducten die een C2C certificering hebben (*MBDC, 2011b*). Deze certificaten zijn uitgereikt omdat het bedrijf onder andere:

- broeikasgasemissies en vast afval de afgelopen jaren sterk had gereduceerd
- een intern recyclingprogramma had opgezet
- een groot deel van de gebruikte energie van waterkrachtcentrales afkomstig is
- het waterverbruik de afgelopen jaren gereduceerd is
- het bedrijf investeert in programma's rond de bewustwording van de gemeenschap op het gebied van energieconsumptie en –besparing.

3.3 Aluminium en Duurzaam Inkopen

De Rijksoverheid heeft zichzelf tot doel gesteld om haar producten en diensten 100% duurzaam in te kopen (voor gemeenten geldt 75%, voor provincies 50%). Voor dit doel zijn criteria ontwikkeld die voor circa 45 productgroepen voorschrijven wat duurzaam inkopen van deze producten en diensten precies inhoudt. Bij het opstellen van deze criteriadocumenten is een aanpak gehanteerd waarbij sterk geleund wordt op de bestaande kennis bij inkopers, bedrijven, NGO's, brancheorganisaties, kennisinstituten en recente onderzoeken.

Bij meerdere productgroepen speelt aluminium een rol. Wanneer aluminium ter sprake komt, wordt vooral aandacht besteed aan recycling: enerzijds het percentage gerecycled materiaal dat gebruikt wordt (recycled content), en anderzijds het End-of-Life recycling percentage van het product.

Van zes voor aluminium relevante productgroepen zijn de criteriadocumenten vergeleken:

'Straatmeubilair', 'Openbare verlichting', 'Grootkeukenapparatuur', 'Nieuw te bouwen kantoorgebouwen', 'Renovatie Kantoorgebouwen' en 'Sloop van Gebouwen' (*VROM, 2010a-f*).

In geen van de documenten is een absolute eis (minimumeis) geformuleerd aangaande aluminium. Wel komt aluminium terug in een aantal gunningscriteria. Bij gunningscriteria dient de aanbestedende dienst over het algemeen zelf nog een puntensysteem of referentiewaarde uit te werken. Hierbij kan ook een deskundigenpanel worden ingeschakeld.

Productgroep Openbare verlichting

In het criteriadocument wordt vermeld dat uit LCA's op het gebied van materiaalkeuze geen duidelijke voorkeur voor een bepaald materiaal volgt. Er wordt verwacht dat de grootste duurzaamheidswinst te behalen valt door vermindering van het energieverbruik van de lamp.

Als keuzeoptie wordt aandacht besteed aan het hergebruik van gerevitaliseerde oude lichtmasten bij vervanging van beschadigde masten. Mits een controle op alle gangbare eisen wordt uitgevoerd en geschikte opslagruimte beschikbaar is, kan dit een duurzame keuze zijn. Hergebruik van vrijkomende masten wordt niet aanbevolen als generieke eis voor alle wegbeheerders.

Voor zowel openbare verlichting als reclameverlichting is een gunningscriterium geformuleerd met betrekking tot een duurzaam ontwerp van de verlichtingsinstallatie. Hierbij worden 'bonuspunten' gegeven wanneer de installatie energiezuiniger is, minder lichtvervuiling veroorzaakt, of duurzamer is vervaardigd. Dit laatste kan worden bepaald aan de hand van het percentage gerecyclede grondstoffen dat

is toegepast (hoe hoger hoe beter), of aan de hand van de mogelijkheden voor hergebruik (hoe meer, hoe beter). Ook wordt bij de beoordeling meegewogen het technische realiteitsgehalte, levensduur van de installatie en te verwachten onderhoud (VROM, 2010a).

Productgroep Straatmeubilair

Het is niet mogelijk om bepaalde materiaalsoorten aan te wijzen die duurzamer zijn dan andere, omdat de milieu-aspecten van verschillende materialen moeilijk onderling te vergelijken zijn (het ene materiaal scoort relatief gunstig op bijvoorbeeld energieverbruik tijdens productie, het andere op het punt van recyclebaarheid en levensduur).

Het belang van recycling wordt benadrukt, maar er wordt ook opgemerkt dat vanwege het feit dat er voor gerecyclede metalen meer vraag dan aanbod is, een eis aangaande de inzet van gerecyclede metaal niet zinvol is. Deze eis zou immers niet meer gerecyclede metaal en dus geen extra milieuwinst opleveren. Duurzaamheidswinst kan behaald worden door hergebruik van (onderdelen van) straatmeubilair te stimuleren, of wanneer dat niet mogelijk is materiaalrecycling voor te schrijven. Leveranciers kunnen worden aangespoord om hun producten terug te nemen en te zorgen voor herinzet van product en/of materiaal. Ook hier wordt echter getwijfeld of dit werkelijk zou leiden tot meer hergebruik of recycling dan nu het geval is. Hergebruik van metaal vindt bijvoorbeeld in de praktijk al plaats, en een terugnameverplichting zou van de leveranciers extra administratieve taken vragen.

Voor kunststoffen is overigens wel een minimumeis gesteld aan de recycled content van het materiaal: “Voor straatmeubilair waarvan meer dan 5% van de massa van het eindproduct uit kunststoffen bestaat, moet van de totale hoeveelheid kunststoffen tenminste 90% gerecyclede materiaal zijn.”

In een gunningscriterium aangaande ‘ontwerp gericht op toekomstig hergebruik’ wordt (voor alle materialen) aandacht besteed aan recycling, in een formulering die ontleend is aan de algemene Cradle-to-Cradle eisen: bonuspunten worden toegekend wanneer een volledige inventarisatie van alle materialen in het product beschikbaar is, wanneer de componenten uit de technische en de biologische kringloop van elkaar te scheiden zijn (zonder dat daarvoor aanvullende stoffen of materialen nodig zijn die niet kunnen worden hergebruikt), en wanneer de materialen gerecyclede kunnen worden zonder hun oorspronkelijke kwaliteit te verliezen (VROM, 2010b).

Productgroep Grootkeukenapparatuur

Binnen deze productgroep wordt geen specifieke aandacht besteed aan (recycling van) materialen, omdat alle producten vallen onder het Besluit Beheer Elektrische en Elektronische Apparatuur (BEA), waarin de afvalverwerking afdoende wordt gedekt. Afgedankte apparatuur wordt onder dit besluit ingezameld en daarom zijn voor recyclen geen criteria voorgesteld in dit document. Het belang van materiaalkeuze wordt wel onderkend, en mogelijk zullen in de toekomst verschillende materialen nader bestudeerd worden op duurzaamheidsaspecten (VROM, 2010c).

Productgroep Kantoorgebouwen nieuwbouw en renovatie

Over de hele levenscyclus van gebouwen bepaalt energieverbruik voor ruim 75% de milieu-impact, materialen voor 24% en water voor 1%. Vandaar dat binnen de bouwwereld, en zeker bij kantoorbouw, het accent sterk ligt op energie en op binnenklimaat, comfort en gezondheid van de medewerkers. Voor Duurzaam Inkopen zijn prestatiegerichte eisen gewenst, waarmee gebouwen kunnen worden vergeleken op een duurzaamheidsprestatie over de gehele levenscyclus. Deze prestatie moet gebaseerd zijn op een integrale beoordeling van de thema's energie, materialen, producten, water en binnenmilieu, en daarnaast op geaccepteerde LCA-methodes. De instrumenten GreenCalc en GPR Gebouw voldoen hieraan.

Als minimumeis voor de milieuprestatie van nieuwbouw is gesteld dat óf de milieu-index gebouw (MIG), berekend met GreenCalc, minimaal gelijk is aan 200, óf de score berekend met GPR Gebouw per module (energie, milieu, gezondheid, gebruikskwaliteit, toekomstwaarde) ten minste 7 bedraagt.

Voor renovatie is de minimumeis dat het gebouw zodanig gerenoveerd wordt dat de milieu-index gebouw (MIG), berekend met GreenCalc, met ten minste 60 punten wordt verbeterd of minimaal gelijk wordt aan 200. Wanneer met GPR Gebouw gerekend wordt, dient de score per module (energie, milieu, gezondheid, gebruikskwaliteit, toekomstwaarde) met ten minste 2 punten te worden verbeterd of minimaal gelijk te worden aan 7.

In een gunningscriterium is voor nieuwbouw en renovatie nog bepaald dat een hogere score dan de minimumeis een hogere waardering kan krijgen (*VROM, 2010d-e*).

Productgroep Sloop gebouwen

Mede dankzij het stortverbod voor reststoffen wordt nu 96% van alle bouw- en sloopafval opnieuw gebruikt. Op dit gebied wordt verwacht dat niet veel winst meer te behalen is: recycling is al standaardpraktijk.

Betreffende aluminium is er in deze productgroep alleen een gunningscriterium relevant: een inschrijving wordt hoger gewaardeerd wanneer een specificatie wordt geleverd van de bestemming en verwerking van afvalproducten conform het inventarisatiesysteem uit BRL SVMS-007. Metalen (ferro en non-ferro) is één van de te scheiden materiaalfracties. Deze fractie (alsmede 13 andere) wordt al standaard gescheiden ingezameld en gerecycled (*VROM, 2010f*).

3.4 Duurzaamheidsindicatoren van de European Aluminium Association

Sinds 2002 is de European Aluminium Association (EAA) actief bezig de duurzaamheid van de Europese aluminiumindustrie te meten (*WI, 2002*). In samenwerking met experts en stakeholders zijn enkele tientallen Sustainable Development Indicators (SDI, duurzaamheidsindicatoren) ontwikkeld, die sindsdien worden bijgehouden en gerapporteerd. Deze indicatoren hebben betrekking op financiële aspecten, arbeidsomstandigheden, maatschappelijke betrokkenheid, grondstoffengebruik, milieuemissies en recycling. Met deze metingen hoopt de EAA transparantie te geven en bij te dragen aan het proces van continue verbetering in de aluminiumindustrie. Het eerste rapport kwam uit in 2004 waarna een update volgde in 2006 (*EAA, 2006a*). Het meest recente rapport is van maart 2011 (*EAA, 2011*).

De indicatoren laten op bijna alle fronten vooruitgang zien. Zo is het energieverbruik per ton aluminium gedaald en het percentage duurzaam opgewekte elektriciteit gestegen, en zijn de uitstoot van broeikasgassen en fluoride en de productie van vast afval afgenomen. Daarnaast is het aantal en de ernst van ongelukken op de werkvloer gedaald, en zijn (tot aan de economische crisis) de financiële opbrengsten gestegen (*EAA, 2011*).

Een ander initiatief dat in 1996 door de aluminiumindustrie werd gestart is het opstellen van 'Environmental Profile Reports'. In deze rapporten worden voor de meest relevante industriële processen gerelateerd aan aluminium de input aan grondstoffen en energie en de output aan producten, milieuemissies en afval kwantitatief beschreven. De getallen zijn Europese gemiddelden. Deze rapporten (ook wel Life Cycle Inventories genoemd) vormen een belangrijke bron voor LCA-studies. Het meest recente rapport dateert van 2008 (*EAA, 2008a*).

4. Case studies

4.1 Levenscyclusanalyse

In dit hoofdstuk wordt voor drie concrete aluminiumproducten de milieuprestatie over de gehele levenscyclus bepaald met behulp van de levenscyclusanalysemethode (LCA). Dit is een rekenmethode waarmee de duurzaamheid van een product concreet gemaakt wordt. De berekening geeft een score voor het totaal aan milieu-effecten (waaronder o.a. klimaatverandering, water- en luchtvervuiling, en het opraken van grondstoffen), in alle fases van het product, van productie tot afvalverwerking. Dit geeft een zo objectief mogelijke beoordeling van de milieuprestatie van een product. Met deze resultaten wordt duidelijk in welke fase van de levenscyclus de grootste milieudruk optreedt, welke milieu-effecten hieraan bijdragen, en waar mogelijk de meeste milieuwinst behaald kan worden. Ook kan het product met alternatieve producten vergeleken worden.

Het gaat hier om 'quickscan analyses', waarin voor een groot deel met bestaande literatuurgegevens over productieprocessen, materiaal- en energieverbruik en milieu-emissies van stoffen wordt gerekend. Hoewel niet alle specifieke details van de producten worden bestudeerd, wordt zo toch een goede indruk verkregen van de milieuprestatie van het product.

De case studies worden besproken volgens de gebruikelijke stappen in een LCA-analyse. Eerst wordt een 'functionele eenheid' gekozen: de vergelijkingseenheid waar de analyse zich op richt. Dan wordt iets gezegd over de afbakening van de analyse: welke aspecten worden wel en niet meegenomen in de analyse. Vervolgens wordt uitgelegd waar de gebruikte data vandaan komen die in de inventarisatiefase zijn verzameld. Daarna wordt iets gezegd over de rekenmethode (ReCiPe) en worden de resultaten besproken.

4.2 Selectie van case studies

De case studies werden zo geselecteerd dat het enerzijds om concrete producten gaat zodat men zich een voorstelling kan maken van de milieuprestatie van aluminium in de praktijk, en die anderzijds ook gegeneraliseerd kunnen worden tot milieuscores 'per kilogram', zodat ze ook voor andere producten gebruikt kunnen worden. Hierbij wordt direct opgemerkt dat de milieuscore per kg weinig praktische betekenis heeft: het gaat er uiteindelijk altijd om wat je met die kg kunt doen, bijvoorbeeld: hoeveel voedsel kan er met een kg aluminium blik worden verpakt?

De volgende drie case studies zijn geselecteerd:

- een gewalste profielplaat, in dit geval een dak/gevelplaat van Kalzip
- een geëxtrudeerde lichtmast van Nedal (lantaarnpaal)
- een aluminium blik verpakking

4.3 Aanpak

4.3.1 Functionele eenheid

De functionele eenheid waar de case studies zich op richten zijn:

- een Kalzip 65/400 profielplaat, dikte 1.0 mm, bedekkingsoppervlak 1m². Het aluminium is niet oppervlakte behandeld (blank).
- een Alluround aluminium paaltop-lichtmast met een lichtpunthoogte van 6 meter, en een voetdiameter van 145 mm. Het aluminium is niet oppervlakte behandeld en de armatuur is buiten

beschouwing gelaten.

- een (100%) aluminium blikje van 330 ml

Wanneer de onderzochte producten vergeleken zouden worden met alternatieve producten, is ook de levensduur van het product van belang: wanneer een product langer meegaat, en dus minder vaak vervangen hoeft te worden, heeft dit ook een gunstige invloed op de milieuprestatie. Omdat in deze analyse geen vergelijking wordt gemaakt met alternatieve producten, is de levensduur buiten beschouwing gelaten.

4.3.2 Afbakening

In de analyse wordt de gehele levenscyclus beschouwd: productie van grondstoffen, productie van het eindproduct, transport naar de klant, transport naar de afvalverwerker, afvalverwerking en recycling. Bij recycling komt materiaal beschikbaar dat voor nieuwe producten gebruikt kan worden, waardoor dus productie van grondstoffen uitgespaard wordt. Deze ‘vermeden productie’ wordt als milieuwinst meegerekend (zie paragraaf 4.4).

In de gebruiksfase worden nauwelijks milieu-effecten verwacht, omdat de beschouwde producten nauwelijks onderhoud behoeven. In het geval van blikverpakking kan in de gebruiksfase het langer houdbaar blijven van voedselproducten (dus een besparing aan voedselproductie) als milieuwinst worden beschouwd. Dit wordt in de huidige berekeningen niet gekwantificeerd. Uit de literatuur is bekend dat verpakkingen in de totale milieubelasting van voedingsproducten minder dan 10% bijdragen (*Büsser, 2009*). Dat betekent dat een 10% besparing aan voedselproductie (dankzij de verpakking) de milieudruk van de verpakking al zou neutraliseren.

Er worden in deze analyse geen LCA-vergelijkingen met andere materialen of producten uitgevoerd.

4.3.3 Inventarisatie

De geanalyseerde producten bestaan volledig uit aluminium. De milieuscore kan dan ook volledig aan het aluminium worden toegeschreven.

De specificaties van de onderzochte producten zijn door de betreffende fabrikanten aangeleverd. De profielplaat heeft een gewicht van 3,937 kg per bedekte m² (door de vorm van het profiel is het plaatoppervlak dat hiervoor gebruikt wordt groter dan 1 m²). De plaat wordt vervaardigd door het aluminium te walsen.

De lichtmast heeft een gewicht van 26,4 kg, en wordt vervaardigd door extrusie.

Van zowel de profielplaat als de lichtmast is de ‘blanke’ versie doorgerekend, dat wil zeggen zonder oppervlaktebehandeling zoals anodisering.

Het drankblikje van 330 ml heeft een gewicht van 12,2 g (*PE, 2009*). Voor dit voorbeeld wordt uitgegaan van een blikje dat geheel gemaakt is van aluminium.

De data aangaande energie- en chemicaliënverbruik, milieuemissies van stoffen en productie van vast afval tijdens de productie van primair en gerecycled aluminium zijn afkomstig uit de Life Cycle Inventory studie van de EAA (2008). Dit betreft gemiddelde Europese data. Ook de data aangaande vormingsprocessen (walsen, extruderen, gieten) is uit dat rapport afkomstig.

Voor de productie van aluminium is gerekend met een vaste verhouding van 53% primair en 47% gerecycled aluminium. Dit is de gemiddelde Europese verhouding volgens de meest recente EAA-data (*EAA 2011*)¹. De werkelijk gebruikte verhouding zal per product verschillen.

De milieuscore van de vermeden productie van aluminium dankzij recycling wordt als volgt berekend. De 47% gerecycled (secundair) aluminium die tijdens productie gebruikt was, wordt ook als vermeden gerecycled aluminium gerekend. Het extra aluminium dat nog wordt gerecycled, wordt als vermeden primaire productie gerekend. Bij een totaal recyclingpercentage van 95% betekent dit dus: 47% vermeden secundaire productie en 48% vermeden primaire productie. Met deze methode komt de totaalscore over de levenscyclus uiteindelijk overeen met de End-of-Life benadering voor toerekening van recycling (zie ook paragraaf 4.4).

De gebruikte transportafstanden zijn 150 km (standaardafstand ‘vanaf/naar 1 locatie in Nederland’) (*MER-LAP, 2002*).

Dat voor de milieuscore van het recyclingsproces zijn afkomstig uit de Life Cycle Inventory studie van de EAA (2008).

Voor zowel de profielplaat als de lichtmast is het recyclingpercentage voor bouwmaterialen gebruikt zoals bepaald door de TU Delft: 94%.

Het verlies tijdens de recycling van aluminium uit de profielplaat en lichtmast bedraagt gemiddeld 10,8% (*EAA, 2008*).

Het niet gerecyclede aluminium wordt gestort (*SN, 2009a*). Data omtrent de effecten van het storten van aluminium komen uit de Ecoinvent LCA-database.

Er wordt gerekend met een percentage gescheiden ingezamelde aluminium verpakkingen van 30%² (*CE, 2007*). Bij deze relatief zuivere aluminiumstroom treedt er een verlies op van 3% (*EAA, 2008*).

Aluminium dat niet gescheiden wordt ingezameld komt in de afvalverbrandingsinstallatie terecht. Data over emissies tijdens deze verwerking komen uit de Ecoinvent database.

Het gebruikte terugwinpercentage van aluminium uit bodemassen is 44% (*Nedvang, 2010*).

4.3.4 De ReCiPe methode

De ReCiPe methode is één van de bestaande methodes waarmee ingrepen in het milieu (zoals landgebruik of de emissie van schadelijke stoffen) worden omgerekend naar milieu-effecten (*VRM, 2009*). Deze effecten kunnen vervolgens worden gewogen en opgeteld tot 1 totaalscore voor de milieuprestatie van een product over de gehele levenscyclus.

Op deze manier kan de lange lijst van emissies, verbruikte grondstoffen en andere data uit de inventarisatiefase worden vertaald in een beperkte serie van milieu-effecten, die daardoor beter te interpreteren valt. De uitstoot van CO₂ en van methaan worden bijvoorbeeld beide omgerekend naar een score voor klimaatverandering, terwijl uitstoot van zwaveldioxide (SO₂) wordt omgerekend naar een bijdrage aan verzuring. In tabel 4 staan alle milieu-effecten die in de ReCiPe methode berekend worden. In bijlage 1 is voor elk milieu-effect beschreven wat dit inhoudt.

¹ Onder gerecycled aluminium wordt gerekend: productie uit post-consumer schroot door refiniers en productie uit productieafval door remelters. Intern smelten wordt hier niet meegerekend (*EAA 2011*).

² de oorspronkelijke bron van dit getal is (*CV, 2006*), maar hierin is het exacte getal niet teruggevonden, dus de betrouwbaarheid van dit getal is niet zeker.

De weging van de milieu-effecten maakt het mogelijk om de relatieve ernst van verschillende milieu-effecten (bijvoorbeeld klimaatverandering, ecotoxiciteit en het opraken van grondstoffen) met elkaar te vergelijken. Met de totaalscore kunnen uiteindelijk producten eenvoudig vergeleken worden.

De ReCiPe methode is in 2009 ontwikkeld in opdracht van het Ministerie van VROM, en is een gecombineerde opvolger van de internationaal veel gebruikte methodes CML2 en Ecoindicator99.

Naast de milieuscores in Recipe-punten zijn ook de bijdragen aan klimaatverandering voor alle scenario's berekend. Dit wordt uitgedrukt in kg (fossiele) CO₂-equivalenten, en wordt ook wel 'carbon footprint' genoemd. Hoewel dit getal maar één milieu-impactcategorie weergeeft, is het wel een algemeen bekende term, en daardoor nuttig voor de communicatie.

Tabel 4 Milieu-effecten (impactcategorieën) die in de ReCiPe LCA-methode berekend worden.

Impactcategorie	Verkorte naam
Klimaatverandering, humane gezondheid	Klimaat, gezond
Klimaatverandering, ecosystemen	Klimaat, eco
Ozonlaagaantasting	Ozonlaag
Verzuring, bodem	Verzuring
Vermesting, zoetwater	Vermesting
Humane toxiciteit	Humane tox
Smogvorming	Smog
Fijnstof vorming	Fijnstof
Ecotoxiciteit, bodem	Ecotox, bodem
Ecotoxiciteit, zoetwater	Ecotox, zoetw
Ecotoxiciteit, zoutwater	Ecotox, zoutw
Ioniserende straling	Straling
Landgebruik, agrarisch	Land, agr
Landgebruik, urban	Land, urb
Landtransformatie	Landtrans
Uitputting, mineralen/metalen	Uitp. mineraal
Uitputting, fossiel	Uitp. fossiel

4.4 Recycling in LCA

Voor het toekennen van milieuscores aan recycling van aluminium (en materialen in het algemeen) kunnen twee benaderingen gevolgd worden: de 'recycled content' of de 'End-of-life recycling' benadering.

Bij de 'recycled content' benadering wordt gerekend met het percentage gerecycled aluminium dat in een specifiek product aanwezig is. De milieuscore voor primaire productie en de (veel lagere) milieuscore voor productie van gerecycled aluminium worden in de werkelijk gebruikte percentages bij elkaar opgeteld, en zo wordt er in de productiefase 'beloond' voor recycling.

De 'End-of-life recycling' benadering daarentegen kijkt juist naar het potentieel voor recycling aan het einde van de levensduur van het product. Het percentage dat naar verwachting gerecycled zal worden, is



ook het percentage primair aluminium dat daardoor zal worden uitgespaard. De milieuscore van het uitgespaarde percentage primair aluminium wordt in de recyclingfase in mindering gebracht op de totaalscore voor de levenscyclus van het product.

Beide benaderingen hebben als doel de recycling op een realistische en eerlijke manier te berekenen (en te stimuleren). Beide benaderingen zijn ook in overeenstemming met de ISO14040-14044 normen voor de uitvoering van LCA-studies. De berekende scores kunnen echter aanzienlijk verschillen. Binnen de LCA-gemeenschap heeft de discussie over welke methode het beste is geen definitief antwoord opgeleverd: de keuze hangt af van de specifieke vraagstelling en van opvattingen over het begrip duurzaamheid (*Atherton, 2007; Dubreuil, 2010; Frischknecht, 2010*). De verschillen tussen de benaderingen zijn samengevat in tabel 5.

Recycled content is vooral geschikt als stimulans voor recycling wanneer de standaardpraktijk is om het materiaal als afval te verbranden of te storten (*Dubreuil, 2010*). Bij aluminium is dit echter niet het geval: het grootste deel wordt na gebruik al gerecycled. Het gerecycled aluminium wordt ingezet in die productieprocessen waar dit het eenvoudigst is en het minste kost (in termen van energieverbruik, transport en geld). Door bij een specifiek product de nadruk te leggen op recycled content, kan een ongewenste stimulans gecreëerd worden om het schroot op een inefficiënte manier in te zetten in recycling processen die meer moeite, energie en geld kosten dan nodig is (*Atherton, 2007*).

Hoewel het grootste deel van het vrijkomende schroot voor recycling wordt ingezet, is dit toch te weinig om aan de groeiende vraag naar aluminium te kunnen voldoen met alleen gerecycled aluminium. In de groeiende markt van aluminium, is het daarom logischer om End-of-Life-recyclingpercentages te gebruiken in de beoordeling van duurzaamheid. Een achterliggende gedachte daarbij is dat, dankzij de oneindige hergebruikmogelijkheden van aluminium, de enige ‘niet-duurzame levenscyclus’ de laatste is (waarin niet meer gerecycled wordt) en niet de eerste (waarin de primaire productie plaatsvindt).

Een argument dat juist pleit voor de recycled content benadering is dat milieu-emissies zouden moeten worden geteld op het moment dat ze plaatsvinden (tijdens productie) en niet in de toekomst (wanneer het materiaal als afval uit de gebruikscyclus verdwijnt), omdat de verantwoordelijkheid voor deze emissies niet bij latere generaties moet worden neergelegd, en voorspellingen over recyclingpercentages in de toekomst niet zeker zijn (*Frischknecht, 2010*).

Voor een deel is het verschil tussen de twee benaderingen gebaseerd op een verschillende uitleg van de (algemeen geaccepteerde) definitie van duurzame ontwikkeling: “ontwikkeling die aansluit op de behoeften van het heden zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen” (*WCED, 1987*). Aan de ene kant kan men redeneren dat primaire productie van aluminium grondstoffen en energie verbruikt die toekomstige generaties niet meer naar eigen inzicht kunnen inzetten, en daarmee niet duurzaam is (het ‘natuurlijk kapitaal’ neemt af). Aan de andere kant kan men stellen dat aluminium dat nu geproduceerd wordt, dankzij recycling ook voor toekomstige generaties beschikbaar is, waardoor ook zij in hun behoeften kunnen voorzien (het totaal aan ‘natuurlijk’ en ‘economisch’ kapitaal blijft gelijk) (*Frischknecht, 2010*). Deze interpretaties van duurzaamheid worden gebruikt in respectievelijk de recycled content en de End-of-Life benadering.

Tabel 5 Eigenschappen van de twee benaderingen om recycling in LCA door te rekenen.

	Benadering voor recycling in LCA	
	Recycled content	End-of-Life recycling
Fase die relevant is voor de score voor recycling	Productiefase	Afvalverwerkingsfase
Percentage primair materiaal dat vermeden wordt	Percentage dat in het materiaal aanwezig is	Percentage dat aan het eind van de levensduur gerecycled zal worden
Moment dat emissies door primaire productie worden toegerekend	Direct, tijdens productie	In de toekomst, wanneer het materiaal uit de (recyclings)-keten verdwijnt
Interpretatie van duurzaamheid	Behoud van natuurlijk kapitaal	Behoud van totaal aan natuurlijk en economisch kapitaal

Om de prestaties van de huidige recyclingactiviteiten tot hun recht te laten komen, en vanwege het argument dat de vraag naar aluminium (nu en de komende decennia) groter is dan het aanbod van schroot, is in de huidige LCA-berekeningen bij het beoordelen van recycling gekozen voor de End-of-Life benadering.

4.5 LCA resultaten

4.5.1 Profielplaat

Figuur 10 geeft de LCA-scores voor 1 m² profielplaat, onderverdeeld in de verschillende fasen in de levenscyclus. De kleuren geven aan hoe de verschillende milieu-effecten bijdragen aan de score.

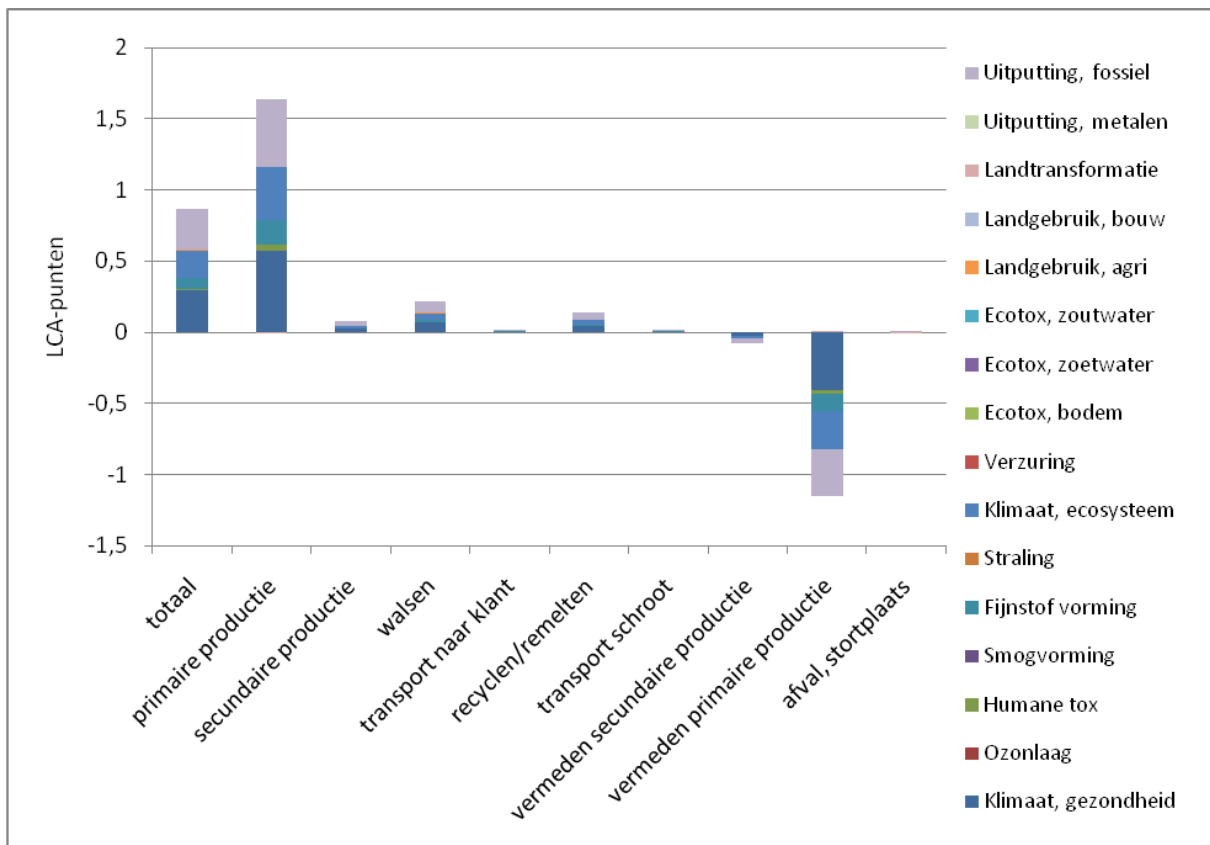
Het is duidelijk dat de productie van primair aluminium de grootste bijdrage heeft aan de totaalscore. Daartegenover staat een grote negatieve (gunstige) score voor de uitgespaarde productie van primair aluminium dankzij recycling. Kleinere bijdragen aan de milieuscore komen van het walsen en het recycleproces (refining, remelting). Productie van gerecycled aluminium, transport en het storten van aluminiumafval hebben een zeer kleine bijdrage aan de milieuscore.

Van de 17 milieueffecten die zijn berekend hebben er maar een paar een significante bijdrage aan de milieuscore. De belangrijkste zijn de effecten van klimaatverandering (op gezondheid en ecosystemen), de uitputting van fossiele grondstoffen, de emissie van fijnstof en humane toxiciteit. Deze effecten komen alle hoofdzakelijk voort uit energieverbruik.

In tabel 6 zijn de scores weergegeven in LCA-punten (totale milieuscore) en in kg CO₂-equivalenten (score voor bijdrage aan klimaatverandering), beide berekend met de ReCiPe-methode. De apart weergegeven score voor de recycling/afvalverwerkingsfase benadrukt het belang van deze fase in de totale milieuscore van het product.

De totaalscore van 0,87 LCA-punten komt ongeveer overeen met de milieuscore van 52 km auto rijden.





Figuur 10: Milieuscore van de levenscyclus van 1 m² aluminium profielplaat, uitgedrukt in LCA-punten volgens de ReCiPe-methode. Een positief getal is milieubelasting, een negatief getal is milieuwinst. De kleuren geven de verschillende milieu-impactcategorieën aan.

Tabel 6: Milieuscore van de levenscyclus van 1 m² aluminium profielplaat, berekend volgens de ReCiPe LCA-methode. Een positief getal is milieubelasting, een negatief getal is milieuwinst. Naast de totaalscore zijn de aparte scores voor de fases 'productie en gebruik' en 'recycling en afvalverwerking' weergegevenigenschappen van de twee benaderingen om recycling in LCA door te rekenen.

Berekeningswijze	Eenheid	productie + gebruik	recycling + afvalverwerking	totaalscore
LCA-score	LCA-punten	1,9	-1,1	0,87
carbon footprint	kg CO ₂ -equivalent	24	-13	10,4

De scores voor de profielplaat zijn ook bepaald per kg, zodat de gegevens eenvoudiger bruikbaar zijn voor berekeningen aan andere aluminiumproducten (zie tabel 7). Het is belangrijk te beseffen dat een eventuele vergelijking van 1 kg van het ene product met het andere niet zinnig is, zolang er geen rekening gehouden wordt met een functionele eenheid: hoeveel kg van een materiaal is er nodig om een bepaalde functie te vervullen?

Tabel 7: Milieuscore van de levenscyclus van '1 kg gewalst aluminium in de bouwsector', berekend volgens de ReCiPe LCA-methode. Een positief getal is milieubelasting, een negatief getal is milieuwinst. Naast de totaalscore zijn de aparte scores voor de fases 'productie en gebruik' en 'recycling en afvalverwerking' weergegeven.

Berekeningswijze	Eenheid	productie + gebruik	recycling + afvalverwerking	totaalscore
LCA-score	LCA-punten	0,50	-0,27	0,22
carbon footprint	kg CO ₂ -equivalent	6,0	-3,4	2,6

4.5.2 Lichtmast

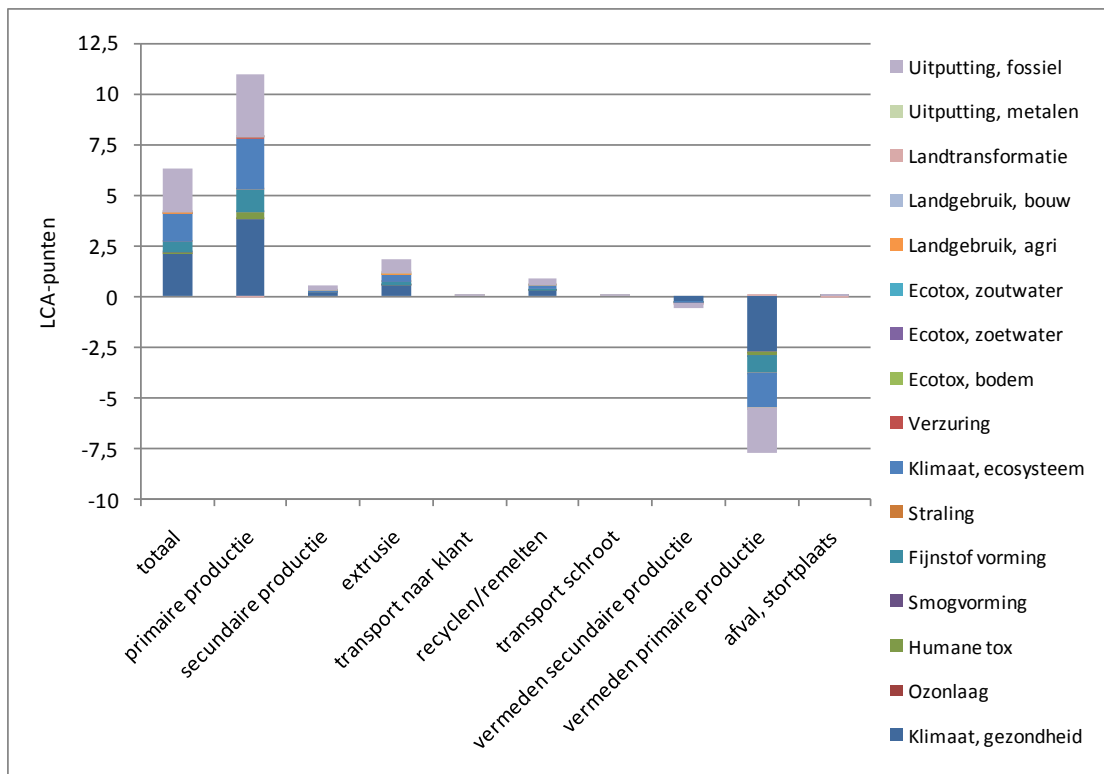
In figuur 11 zijn de LCA-scores voor een aluminium lichtmast te zien, onderverdeeld in de verschillende fasen in de levenscyclus.

Wederom wordt de score gedomineerd door de productie van primair aluminium, en heeft de uitgespaarde productie van primair aluminium dankzij recycling een grote negatieve (gunstige) score. De extrusie en het recycleproces (refining, remelting) hebben een kleinere bijdrage aan de milieuscore. De bijdrage van de productie van gerecycled aluminium, transport en het storten van aluminiumafval aan de milieuscore zijn zeer klein. De milieueffecten met de hoogste bijdrage aan de milieuscore zijn de effecten van klimaatverandering (op gezondheid en ecosystemen), de uitputting van fossiele grondstoffen, de emissie van fijnstof en humane toxiciteit. Deze effecten zijn alle gerelateerd aan energieverbruik.



Tabel 8 geeft de scores in LCA-punten (totale milieuscore) en in kg CO₂-equivalenten (score voor bijdrage aan klimaatverandering), beide berekend met de ReCiPe-methode. De scores voor de recycling/afvalverwerkingsfase zijn ook apart weergegeven, waardoor het belang van deze fase in de totale milieuscore van het product duidelijk te zien is.

De totaalscore van 6,3 LCA-punten komt ongeveer overeen met de milieuscore van 370 km auto rijden.



Figuur 11: Milieuscore van de levenscyclus van een aluminium lichtmast, uitgedrukt in LCA-punten volgens de ReCiPe-methode. Een positief getal is milieubelasting, een negatief getal is milieuwinst. De kleuren geven de verschillende milieu-impactcategorieën aan.

Tabel 8: Milieuscore van de levenscyclus van een aluminium lichtmast, berekend volgens de ReCiPe LCA-methode. Een positief getal is milieubelasting, een negatief getal is milieuwinst. Naast de totaalscore zijn de aparte scores voor de fases 'productie en gebruik' en 'recycling en afvalverwerking' weergegeven.

Berekeningswijze	Eenheid	productie + gebruik	recycling + afvalverwerking	totaalscore
LCA-score	LCA-punten	13,5	-7,2	6,3
carbon footprint	kg CO ₂ -equivalent	163	-90	73

Ook voor deze case study zijn de scores per kg bepaald, zodat de gegevens eenvoudiger gebruikt kunnen worden voor berekeningen aan andere aluminiumproducten (zie tabel 9). Wederom wordt opgemerkt dat een eventuele vergelijking van 1 kg van het ene product met het andere niet zinnig is, zolang er geen rekening gehouden wordt met een functionele eenheid: hoeveel kg van een materiaal is er nodig om een bepaalde functie te vervullen?

De scores per kg zijn bijna gelijk aan die uit case studie 1. De reden dat ze iets hoger uitkomen zijn dat er (gebaseerd op de algemene data van de EAA) bij extrusie iets meer materiaal en energie wordt gebruikt dan bij walsen.

Tabel 9: Milieuscore van de levenscyclus van '1 kg geëxtrudeerd aluminium in de bouwsector', berekend volgens de ReCiPe LCA-methode. Een positief getal is milieubelasting, een negatief getal is milieuwinst. Naast de totaalscore zijn de aparte scores voor de fases 'productie en gebruik' en 'recycling en afvalverwerking' weergegeven.

Berekeningswijze	Eenheid	productie + gebruik	recycling + afvalverwerking	totaalscore
LCA-score	LCA-punten	0,51	-0,27	0,24
carbon footprint	kg CO ₂ -equivalent	6,2	-3,4	2,8

4.5.3 Drankblikje

Figuur 12 laat de LCA-scores voor 1 aluminium drankblikje zien, onderverdeeld in de verschillende fasen in de levenscyclus.

De grootste bijdrage aan de totaalscore komt wederom van de productie van primair aluminium. De negatieve (gunstige) score voor de uitgespaarde productie van primair aluminium dankzij recycling is kleiner dan in de andere twee case studies, omdat het recyclingpercentage lager ligt.

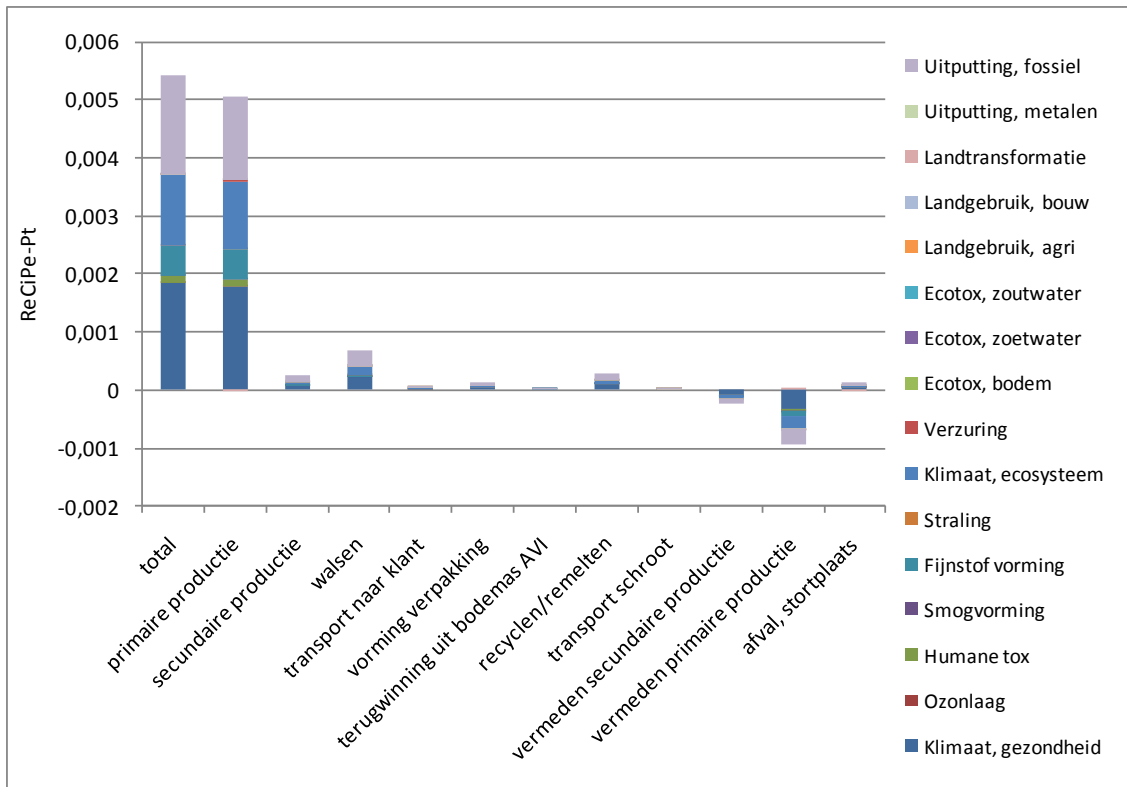
Het walsen en het recycleproces (refining, remelting) leveren kleinere bijdragen aan de milieuscore. De productie van gerecycled aluminium, transport en het storten van aluminiumafval dragen zeer weinig bij aan de milieuscore.

De belangrijkste milieueffecten in deze berekening zijn de effecten van klimaatverandering (op gezondheid en ecosystemen), de uitputting van fossiele grondstoffen, de emissie van fijnstof en humane toxiciteit. Deze effecten zijn alle hoofdzakelijk het gevolg van energieverbruik.

In tabel 10 zijn de scores weergegeven in LCA-punten (totale milieuscore) en in kg CO₂-equivalenten (score voor bijdrage aan klimaatverandering), beide berekend met de ReCiPe-methode. De apart weergegeven score voor de recycling/afvalverwerkingsfase benadrukt het belang van deze fase in de totale milieuscore van het product.

De totaalscore van 0,005 LCA-punten komt ongeveer overeen met de milieuscore van 0,3 km auto rijden.





Figuur 12: Milieuscore van de levenscyclus van 1 aluminium drankblikje, uitgedrukt in LCA-punten volgens de ReCiPe-methode. Een positief getal is milieubelasting, een negatief getal is milieuwinst. De kleuren geven de verschillende milieu-impactcategorieën aan.

Tabel 10: Milieuscore van de levenscyclus van 1 aluminium drankblikje, berekend volgens de ReCiPe LCA-methode. Een positief getal is milieubelasting, een negatief getal is milieuwinst. Naast de totaalscore zijn de aparte scores voor de fases 'productie en gebruik' en 'recycling en afvalverwerking' weergegeven.

Berekeningswijze	Eenheid	productie + gebruik	recycling + afvalverwerking	totaalscore
LCA-score	LCA-punten	0,0062	-0,0007	0,0054
carbon footprint	kg CO ₂ -equivalent	0,075	-0,010	0,066

Tabel 11 geeft de scores per kg blik, zodat de gegevens eenvoudiger gebruikt kunnen worden voor berekeningen aan andere aluminiumproducten. Nogmaals wordt hierbij gewaarschuwd dat een eventuele vergelijking van 1 kg van het ene product met het andere niet zinnig is, zolang er geen rekening gehouden wordt met een functionele eenheid: hoeveel kg van een materiaal is er nodig om een bepaalde functie te vervullen?

De scores per kg zijn hoger dan die uit case studie 1. De reden hiervoor is dat het recyclingspercentage voor dit product lager ligt.

Tabel 11: Milieuscore van de levenscyclus van '1 kg vormvaste aluminium verpakking, berekend volgens de ReCiPe LCA-methode. Een positief getal is milieubelasting, een negatief getal is milieuwinst. Naast de totaalscore zijn de aparte scores voor de fases 'productie en gebruik' en 'recycling en afvalverwerking' weergegeven.

Berekeningswijze	Eenheid	productie + gebruik	recycling + afvalverwerking	totaalscore
LCA-score	LCA-punten	0,50	-0,06	0,44
carbon footprint	kg CO ₂ -equivalent	6,2	-0,79	5,4

5. Conclusies

In dit rapport is de levenscyclus van aluminium beschreven, en de belangrijkste milieu-aspecten die daarin een rol spelen. Tijdens de productie van primair aluminium uit aluinaarde ontstaat de grootste milieudruk, omdat hier een grote hoeveelheid elektriciteit voor nodig is. Daarnaast zijn er in de productiefase andere negatieve effecten op het milieu, zoals landgebruik door bauxietmijnen, het vaste afval genaamd red mud, en uitstoot van gefluoreerde verbindingen tijdens de elektrolyse.

Voor al deze milieu-aspecten/effekten is de situatie de afgelopen jaren verbeterd: per ton aluminiumproductie is het energieverbruik gedaald (met 30% in de afgelopen decennia) en is de uitstoot van schadelijke stoffen verminderd. Red mud wordt op een betere manier opgeslagen, waardoor uitloging naar grondwater voorkomen wordt. Gebieden waar bauxiet gewonnen wordt, worden na beëindiging van de exploitatie weer in natuurlijke toestand teruggebracht.

Door de hoge (financiële en milieu-) kosten van productie is het zeer belangrijk om aluminium producten na gebruik te recyclen. Deze recycling verloopt marktgedreven in veel sectoren zeer efficiënt: in de bouw- en transportsector wordt het meeste aluminium gerecycled. In de verpakkingensector ligt het recyclingpercentage lager, maar deze neemt wel jaarlijks toe doordat de best beschikbare technologie (voor het terugwinnen van aluminium verpakkingen uit de bodemassen die na verbranding resteren) steeds breder wordt toegepast.

Doordat echter de productiehoeveelheden van aluminium blijven toenemen, en aluminium producten lang meegaan (het duurt dus lang voordat ze beschikbaar komen voor recycling), is er niet genoeg aluminium schroot beschikbaar om aan de vraag naar aluminium te voldoen met gerecycled aluminium. Wereldwijd kan de vraag naar aluminium voor 30% vanuit het aanbod gerecycled materiaal worden gedekt en Europees gezien met 47%. Het gemiddeld percentage gerecycled aluminium dat in producten aanwezig is, is daarom veel lager dan het recyclingpercentage van afgedankte producten.

In de gebruiksfase kan aluminium milieuwinst opleveren (ten opzichte van andere materialen), onder andere vanwege het relatief lage soortelijk gewicht (bijvoorbeeld nuttig in transporttoepassingen) en de lange levensduur (nuttig in bouwproducten).

Actuele ontwikkelingen in alle fasen van de levenscyclus van aluminium zullen de milieuprestatie van dit materiaal in de nabije toekomst verder verbeteren. Voorbeelden hiervan zijn de toename van het gebruik van duurzame energie, het moderniseren van verouderde smelters, het verminderen van materiaalgebruik (door bijvoorbeeld dunnere verpakkingsmaterialen), het ontwerpen van producten die eenvoudiger te recyclen zijn (Design for Recycling), en verbeteringen in recyclingtechnieken.

Vanwege de alomtegenwoordigheid van aluminium is dit materiaal in meerdere milieuprestatie-beoordelingen opgenomen. De wijze van beoordeling varieert sterk per systeem: in bijvoorbeeld de bouwsector zijn kwantitatieve systemen in gebruik, waarbij milieuscores van materialen en technieken kunnen worden vergeleken, terwijl systemen zoals het Duurzaam Inkopen programma van de overheid meer kwalitatief van aard zijn.

In drie case studies worden milieuscores voor enkele specifieke producten berekend met behulp van de LCA-methode. De berekeningen zijn grotendeels gebaseerd op data uit algemene LCA-databases, en maar voor een klein deel op bedrijfsspecifieke gegevens. Hierdoor worden algemene milieuscores verkregen, die ook voor andere aluminiumproducten zouden kunnen worden gebruikt. De case studies illustreren het belang van enerzijds de milieu-impact van primaire aluminiumproductie, en anderzijds het positieve effect van recycling op de milieuscore.

Mede vanuit de gedachte van 'ketenverantwoordelijkheid' is voor zowel producenten als andere belanghebbenden in de aluminiumketen het nog verder optimaliseren van recycling en het volledig sluiten van de materiaalketen van het grootste belang.

Bronnen

- Atherton, 2007 Atherton, J.: “Declaration by the Metals Industry on Recycling Principles.” *Int J Life Cycle Assess* 12: 59-60, 2007.
- AC, 2000 Aluminium Centrum – informatieblad “De invloed van legeringselementen”, www.aluminiumcentrum.nl, 2000
- ACB, 2009 www.aluminiumcenter.be/custom/1311200715121-07_persbericht_alu_verpakkingen.pdf en www.aluminiumcenter.be/custom/62200810242-07_ALU%20en%20het%20milieu.pdf
- Aldel, 2010 www.aldel.nl
- Alupro, 2009 <http://www.alupro.org.uk/facts-and-figures.html>
- ARN, 2009 Auto Recycling Nederland, “Duurzaamheidsverslag 2008” <http://www.arn.nl/noezp/duurzaamheidverslag/n04.htm>
- ARN, 2010 <http://www.arn.nl/noezp/duurzaamheidverslag/n14.htm>
- Bánvölgyi, 2009 <http://www.redmud.org/Files/banvolgyi040110.pdf>
- Bertram, 2009 Bertram, M.; Buxmann, K.; Furrer, P. “Analysis of greenhouse gas emissions related to aluminium transport applications.” *Int J Life Cycle Assess* 14: S62-S69, 2009.
- Breem, 2011 www.breem.nl
- WCED, 1987 World Commission on Environment and Development: “Our Common Future.”, 1987. <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>
- Büsser, 2009 Büsser, S.; Jungbluth, N. “The role of flexible packaging in the life cycle of coffee and butter.” *Int J Life Cycle Assess* 14: S80-S91, 2009.
- C2C, 2011 www.cradletocradle.nl/home/506_hoe-certificeren.htm
- Caricom, 2010 Caribbean Community (Caricom) Office of Trade negotiations. Export Bulletin - Special Bulletin of the Office of Trade Negotiations (OTN), issue 1, February 2010. www.crn.org
- CBS, 2011 <http://statline.cbs.nl/>
- CD, 2005 Conrad Douglas & Associates Ltd., “Jamalco South Manchester EIA – Description of the Environment”, 2005. <http://www.nepa.gov.jm/eias/Manchester/South%20Manchester/Final%20Report%20South%20Manchester%20EIA%20Jamalco%20part2.pdf>

- CE, 2007 Sevenster et al., "Milieukentallen van verpakking voor de verpakkingenbelasting in Nederland", rapport, herziene versie, CE Delft, november 2007.
- CE, 2010 Sevenster et al., "Milieuanalyses Voedsel en Voedselverliezen ten behoeve van prioritaire stromen ketengericht afvalbeleid", CE Delft, januari 2010.
- CML, 2001 Guinée et al., "LCA - An operational guide to the ISO-standards - Part 1 and 2", Final report, Centre for Environmental Studies (CML), University of Leiden, mei 2001.
- CV, 2006 Commissie Verpakkingen, "Jaarverslag 2005", Utrecht, 2006.
- Defra, 2009 Department for Environment, Food and Rural Affairs, "Making the most of packaging - A strategy for a low-carbon economy", Londen, UK, juni 2009 (p.44).
- DG, 2011 www.duurzaamgebouwd.nl/onderzoek/20110104-opdrachtgever-grootste-sta-in-de-weg-bij-duurzaamheid
- Dubreuil, 2010 Dubreuil, A., Young, S.B., Atherton, J., Gloria, T.P.: "Metals recycling maps and allocation procedures in life cycle assessment." *Int J Life Cycle Assess* 15: 621-634, 2010.
- DWA, 2010 DWA installatie- en energieadvies: "Valorisatie van reststromen in het Sloegebied", in opdracht van de Provincie Zeeland, 2010.
- EAA, 2004 European Aluminium Association: "Collection of aluminium from buildings in Europe. A Study by Delft University of Technology.", 2004.
- EAA, 2005 European Aluminium Association: "Factsheet – Aluminium: key facts & figures", na 2005.
- EAA, 2006a European Aluminium Association: "Sustainability of the European aluminium industry", 2006.
- EAA, 2006b European Aluminium Association: "Aluminium recycling in Europe – the road to high quality products", 2006.
- EAA, 2007 European Aluminium Association: "Aluminium in cars", 2007.
- EAA, 2007b European Aluminium Association: "Aluminium recycling in LCA", 2007.
http://www.eaa.net/upl/4/default/doc/Alu_recycling_LCA.pdf
- EAA, 2008a European Aluminium Association, "Environmental Profile Report for the European Aluminium Industry", April 2008
- EAA, 2008b European Aluminium Association: "Aluminium use in Europe - country profiles, 2004-2007", 2008.
- EAA, 2008c European Aluminium Association: "Factsheet - Aluminium in building and construction", 2008.

- EAA, 2009 European Aluminium Association: “Recycling rates of aluminium from end-of-life commercial vehicles. Four case studies.”, 2009.
- EAA, 2011 European Aluminium Association: “Sustainability of the European aluminium industry 2010”, 2011.
- EI, 2007 Frischknecht et al., “Final report ecoinvent v2.0 No. 1,2 and 3”, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Duebendorf, CH, 2007.
- Ffact, 2009 “Recycling van aluminium verpakkingen in Nederland”, Ffact Management Consultants, Delft, mei 2009.
- Fostplus, 2009 http://www.fostplus.be/sorti_correctly/Pages/PMD.aspx
- Frischknecht, 2010 Frischknecht, R.: “LCI modelling approaches applied on recycling of materials in view of environmental sustainability, risk perception and eco-efficiency.” *Int J Life Cycle Assess* 15: 666-671, 2010.
- Greencalc, 2011 www.greencalc.com
- GPR, 2011 www.gprgebouw.nl
- Hind, 1999 Hind, A.R., Bhargava S.K., Grocott, S.C.: “The surface chemistry of Bayer process solids: a review.”, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 146: 359–374, 1999.
- IAI, 2004 International aluminium institute. Third Bauxite Mine Rehabilitation Survey, 2004. www.world-aluminium.org
- IAI, 2008 International aluminium institute. Fourth Sustainable Bauxite Mining Report, 2008. www.world-aluminium.org
- IEA, 2007 International Energy Agency: “Tracking Industrial Energy Efficiency and CO₂ Emissions.”, 2007.
- IVAM, 2009 Jonkers, N.; Krutwagen, B.; Van Ewijk, H. “Milieukentallen voor verpakkingsmaterialen”, IVAM rapportnummer 0918, Amsterdam, 2009.
- IVAM, 2010 Jonkers, N.; Van Ewijk, H. “Milieuanalyses Aluminium, ten behoeve van prioritaire stromen ketengericht afvalbeleid”, IVAM rapportnummer 1011, Amsterdam, 2010.
- Lamberti, 2007 Lamberti, M., Escher, F.: “Aluminium Foil as a Food Packaging Material in Comparison with Other Materials”, *Food Reviews International*, 23, 407-433, 2007.
- LAP, 2009 Ministerie van VROM: “Landelijk Afvalbeheerplan. Sectorplan 20 AVI-bodemas”, 2009.
- LM, 2011 <http://www.lightmetalage.com/producers.php>
- MBDC, 2011a <http://www.mbdc.com/detail.aspx?linkid=2&sublink=8>
- MBDC, 2011b <http://c2c.mbdc.com/c2c/list.php>

- Marks, 2010 Marks, J., Bayliss, C. “Aluminum-Meeting the Challenges of Climate Change” JOM Journal of the Minerals, Metals and Materials Society, 62, 33-36.
- MER-LAP, 2002 Ministerie van VROM; Afval Overleg Orgaan, “Milieueffectrapport Landelijk Afvalbeheerplan 2002-2012“, 2002.
- Nedvang, 2010 Nedvang: “Monitoring verpakkingen – resultaten 2009”, versie 1.1, 2010.
- OECD, 2010 “Global forum on environment. Focusing on sustainable materials management - Materials Case Study 2: Aluminium”, Working Document OECD Environment Directorate, 2010.
- PG, 2010 http://www.provinciegroningen.nl/actueel/nieuws/nieuwsbericht/_nieuws/toon/Item/investering-van-7-miljoen-voor-duurzame-energie-eemdelta/
- RD, 2010 http://www.refdag.nl/achtergrond/auto/waar_blijft_mijn_oude_auto_1_480511
- Rijkswaterstaat, 2011 www.rijkswaterstaat.nl/dubocalc
- RM, 2006 <http://www.redmud.org/Disposal.html>
- SBR, 2010 SBR, “Levensduur van bouwproducten”, Rotterdam, 1998.
- SN, 2009a SenterNovem, werkgroep Afvalregistratie, “Afvalverwerking in Nederland. Gegevens 2008”, rapportnummer 3UA0917, 2009.
- SN, 2009b SenterNovem, Uitvoering Afvalbeheer, “Samenstelling van het huishoudelijk restafval : resultaten sorteeranalyses 2008”, rapportnummer 3UA0901, 2009.
- Thurrock, 2007 Thurrock Council, “Municipal Waste Strategy 2007 – 2020. Appendix 1, Baseline Report”
<http://democracy.thurrock.gov.uk/CmisWebPublic/Binary.ashx?Document=10077> (p.17).
- TNO, 2009 Jansen, B.; Van Gijlswijk, R.: “Scheidingsefficiency van aluminium uit bodemassen”, TNO 2009.
- USGS, 2009 U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2009
<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/bauxite/mcs-2009-bauxi.pdf>
- VROM, 2009 Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., Van Zelm, R.: “ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level.”, Ministerie van VROM, 2009.
- VROM, 2010a Ministerie van VROM: “Criteria voor duurzaam inkopen van Openbare Verlichting (OVL)”, versie 1.4, februari 2010.
- VROM, 2010b Ministerie van VROM: “Criteria voor duurzaam inkopen van Straatmeubilair”, versie 1.6, juli 2010.
- VROM, 2010c Ministerie van VROM: “Criteria voor duurzaam inkopen van Grootkeukenapparatuur”, versie 1.3, januari 2010.

- VROM, 2010d Ministerie van VROM: “Criteria voor duurzaam inkopen van Nieuw te bouwen kantoorgebouwen”, versie 1.6, februari 2010.
- VROM, 2010e Ministerie van VROM: “Criteria voor duurzaam inkopen van Renovatie Kantoorgebouwen”, versie 1.4, februari 2010.
- VROM, 2010f Ministerie van VROM: “Criteria voor duurzaam inkopen van Sloop van Gebouwen”, versie 1.3, februari 2010.
- WI, 2002 Kuhndt, M., Geibler, J., Liedtke, C.: “Towards a Sustainable Aluminium Industry: Stakeholder Expectations and Core Indicators.”, Wuppertal Institute for Climate, Environment, Energy, 2002.
- Wirtz, 1999 Wirtz, A., Schäfer, J. “Sustained development, on the example of Jamaica’s aluminium industry” Aluminium, 556-563, 1999.
- WRAP, 2009a Waste & Resources Action Programme (WRAP), “Good Practice Guide - Are you collecting foil and aerosols with your mixed cans?”, Banbury, UK, 2009.
- WRAP, 2009b Waste & Resources Action Programme (WRAP), “Soft drinks packaging in a changing climate”, UK, 2009.
http://www.wrap.org.uk/downloads/WRAP_Soft_Drinks_Case_Study.a513c777.8426.pdf
- Zalco, 2010 www.zalco.nl

Bijlage 1 Korte beschrijving van de milieu-impactcategorieën

Met de gebruikte LCA-rekenmethode ReCiPe worden de scores bepaald voor de impactcategorieën in tabel 4. Een korte beschrijving van deze effecten wordt hieronder gegeven.

Klimaatverandering

Klimaatverandering, het versterkt broeikas effect, veroorzaakt een aantal milieumechanismen die zowel de humane gezondheid als ecosystemen beïnvloeden. Koolstofdioxide (CO₂) is het bekendste broeikasgas, maar ook stoffen als methaan en lachgas (N₂O) dragen bij aan dit effect.

Aantasting ozonlaag

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 ($\text{Cl} + \text{O}_3 \rightarrow \text{ClO} + \text{O}_2$). 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. 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.

Landtransformatie

Deze impact categorie geeft de schade weer aan ecosystemen wanneer een gebied wordt getransformeerd van bijvoorbeeld bos naar landbouwgrond. Dit heeft gevolgen voor onder andere de biodiversiteit.

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).