



Naar duurzame producten met de principes van circulariteit



CE Delft

Committed to the Environment

Naar duurzame producten met de principes van circulariteit

Dit rapport is geschreven door:

Marijn Bijleveld, Maarten Bruinsma, Jessica de Koning, Isabel Nieuwenhuijse

Delft, CE Delft, juli 2023

Publicatienummer: 23.220352.086

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat

Uw kenmerk: 31182010

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Marijn Bijleveld (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al meer dan 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Voorwoord	3
1	Kernprincipes en doelen van circulariteit	4
	1.1 De kernprincipes van een circulaire economie	4
	1.2 Doelen van een circulaire economie	6
2	Grondstoffen in een circulaire economie	7
	2.1 Efficiëntie productie met duurzame energie	8
	2.2 Duurzame productie van hernieuwbare grondstoffen	8
	2.3 Geen toxische grondstoffen en emissies	10
	2.4 Composieten: beperkt geschikt voor een circulaire economie	11
	2.5 Additieven: voorkom dat deze verstorend werken bij recycling in de toekomst	12
	2.6 Recycling van hernieuwbare materialen	13
	2.7 Niet-hernieuwbare grondstoffen in (de transitie naar) een circulaire economie	13
3	Circulaire producten en systemen	15
	3.1 Ontwerpregels voor circulaire productsystemen	15
	3.2 Waardebehoud na gebruik: functioneel-technisch en economisch	17
	3.3 Materiaalkeuze en afwegingen bij vergelijking van circulaire productsystemen	18
	3.4 Circulariteit vraagt om samenwerking	22
4	Inzichten (en bronnen) voor enkele specifieke materiaaltypen	25
	4.1 Asphalt	25
	4.2 Beton	29
	4.3 Elektronica en elektronische apparatuur	33
	4.4 Hout	37
	4.5 Kunststof	40
	4.6 Staal	46
	4.7 Textiel	49
5	Literatuurlijst	56

Voorwoord

De rijksoverheid ontwikkelt het Circulair Materialenplan (CMP), de opvolger van het Landelijk Afvalbeheerplan (LAP). Het CMP is breder dan het LAP. Het CMP draagt bij aan het realiseren van de Nederlandse ambitie: een volledig circulaire economie in 2050. Het doel van een circulaire economie is een duurzame omgang met grondstoffen en producten in onze economie. Dat vereist meer dan goed afvalbeheer. Preventie, levensduurverlenging, hergebruik en vervanging door alternatieve, duurzaam geproduceerde materialen zijn allemaal nodig. Rijkswaterstaat heeft CE Delft opdracht gegeven tot een overzichtsrapport over circulariteit, met de bedoeling om het te gebruiken bij de ontwikkeling van het CMP.

Dit rapport biedt een verzameling van bestaande kennis over circulariteit en het toepassen ervan bij productontwerp en materiaalkeuze. Het bevat:

- een overzicht van de kernprincipes van een circulaire economie (Hoofdstuk 1);
- vereisten aan grondstoffen in een circulaire economie: de voorwaarden voor gebruik van grondstoffen (Hoofdstuk 2);
- handvatten bij ontwikkeling van circulaire productsystemen, waaronder ontwerpregels en links naar circulaire databases en afweging tussen circulaire productvarianten (Hoofdstuk 3);
- circulaire mogelijkheden en aandachtspunten voor de materiaaltypen asfalt, beton, elektronica en elektronische apparatuur, hout, kunststof, staal en textiel (Hoofdstuk 4).

Het rapport is bedoeld voor de ondernemer, beleidsmaker en ieder ander die aan de slag wil met circulariteit van producten en materialen. De informatie en vele bronverwijzingen in dit rapport helpen u hopelijk verder. Het rapport bevat geen handvatten voor circulaire inkoopprocessen. Daarvoor verwijzen we door naar expertisecentrum PIANOo en Platform CB'23 (www.ikwilcirculairinkopen.nl/stappenplan/inkoopproces/, www.platformcb23.nl/actieteams/archief/circulair-inkopen).

Wij bedanken onze opdrachtgevers bij Rijkswaterstaat hartelijk voor de inhoudelijke discussies en opbouwende feedback tijdens de totstandkoming van dit rapport.

1 Kernprincipes en doelen van circulariteit

1.1 De kernprincipes van een circulaire economie

In een circulaire economie worden producten die nodig zijn binnen gesloten kringlopen geproduceerd, gedistribueerd en geconsumeerd. De waarde van grondstoffen, materialen en producten wordt zo lang mogelijk behouden en zorgvuldig (her)gebruikt, waardoor het einde van de levensduur van producten en materialen zo lang mogelijk wordt uitgesteld. Wanneer dit einde toch wordt bereikt, worden materialen zo hoogwaardig mogelijk gerecycled en resterende afvalstromen zorgvuldig verwerkt met inachtneming van risico's voor mens en milieu.

In het Nationaal Programma Circulaire Economie (NPCE) worden vier 'knoppen' onderscheiden op het gebied van grondstoffengebruik:

-  1. **Vermindering van grondstoffengebruik.** Minder (primaire) grondstoffen gebruiken door af te zien van producten, deze te delen of ze efficiënter te maken ('*narrow the loop*').
-  2. **Substitutie van grondstoffen.** Primaire grondstoffen vervangen door secundaire grondstoffen of duurzame biograndstoffen die zo hoogwaardig mogelijk toegepast worden, of door andere, meer algemeen, beschikbare grondstoffen met minder milieudruk.
-  3. **Levensduurverlenging.** Producten en onderdelen langer en intensiever gebruiken door hergebruik en reparatie. Dit vertraagt de vraag naar nieuwe grondstoffen ('*slow the loop*').
-  4. **Hoogwaardige verwerking.** De kringloop sluiten door recycling van materialen en grondstoffen, zodat er minder afval wordt verbrand of gestort én er meer hoogwaardig aanbod van secundaire grondstoffen ontstaat ('*close the loop*').

De zogeheten R-strategieën geven de prioriteit aan hoe we zuinig omgaan met grondstoffen en, als ze eenmaal worden gebruikt, hoe we de grondstoffen vervolgens in de kringloop kunnen houden. Er is een koppeling met de vier knoppen:

1. *Refuse, rethink* (R1) en *reduce* (R2) bij knop 1 'Vermindering van grondstoffengebruik'.
2. *Rethink* (R1) past ook bij knop 2 'Substitutie van grondstoffen'.
3. *Reuse* (R3), *repair/remanufacturing* (R4) passen bij knop 3 'Levensduurverlenging'.
4. *Recycling* (R5) past bij knop 4 'Hoogwaardige verwerking'.

De R-strategieën zijn hiërarchisch: R1 is milieukundig gezien het meest effectief, gevolgd door de strategieën R2, R3, R4 en R5. Dit geeft ook aan dat circulaire economie verder gaat dan alleen inzetten op recycling. Het is niet het een of ander, we zullen alle strategieën tegelijkertijd nodig hebben om tot een daadwerkelijke circulaire economie.

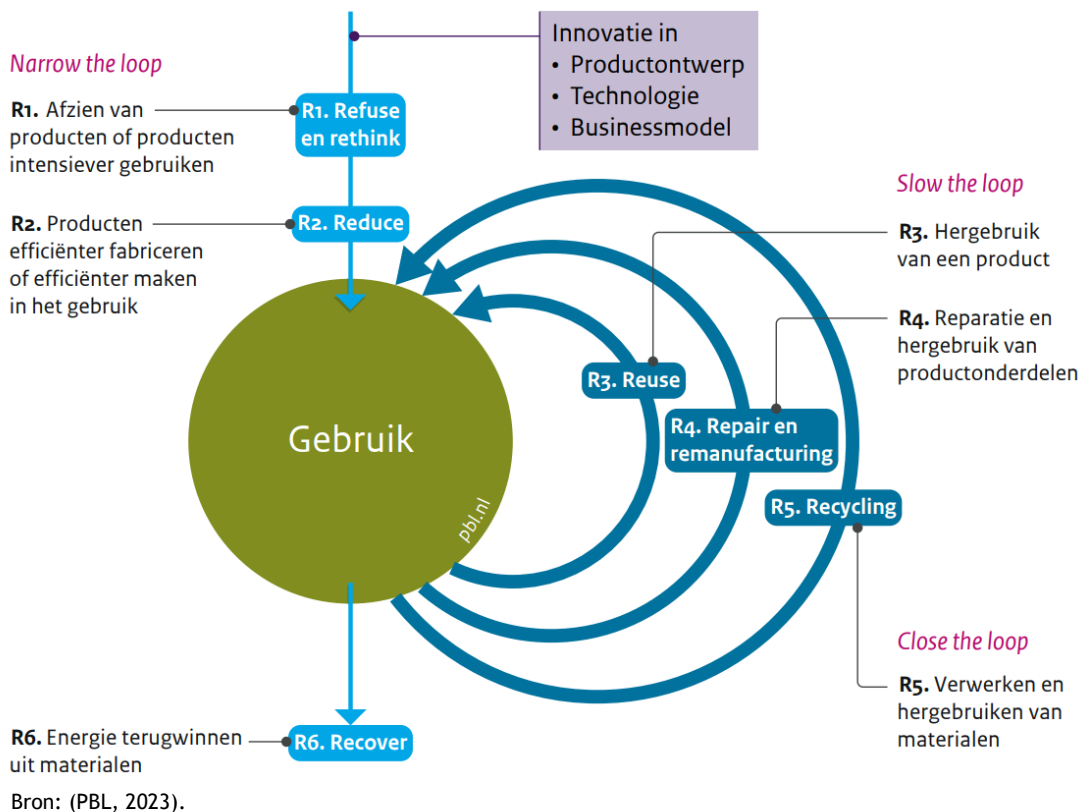
De circulaire principes, de knoppen en R-strategieën, zijn belangrijk voor producten van alle typen materialen. Dus voor materialen van a-biotische oorsprong (fossiele en minerale grondstoffen) én biotische oorsprong (hernieuwbare grondstoffen).

De Ellen MacArthur Foundation maakt onderscheid tussen de a-biotische cyclus en biotische cyclus (Ellen MacArthur Foundation, 2022b). Men benadrukt het gescheiden houden van de typen materialen, zodat ze ieder uiteindelijk hoogwaardig kunnen worden gerecycled (R5), op hun eigen manier. A-biotische materialen via technische recycleprocessen; hernieuwbare

materialen via technische recycleprocessen of via compostering en vergisting. De verwerkingsroutes voor hernieuwbaar materiaal worden gehinderd als er niet-afbreekbaar of vervuילend materiaal doorheen zit, zoals verflagen, chemicaliën of metalen.

Figuur 1 - De circulaire principes: R-ladder met strategieën voor het bereiken van circulariteit

R-ladder met strategieën van circulariteit



Tekstbox 1 - Preventie van grondstoffen uitgelicht

Preventie van grondstofverbruik is essentieel om in de toekomst de behoefte aan materialen op een duurzame manier in te kunnen vullen. De vraag naar grondstoffen kan namelijk niet gedekt worden door hergebruik en recycling alleen. Het meest recente *Circularity Gap Report* voor Nederland, over het jaar 2020, toont aan dat slechts 24,5% van alle brand- en grondstoffen die we in Nederland jaarlijks gebruiken van gerecyclede oorsprong is, terwijl we relatief veel (84%) van ons afval recyclen (Circle Economy, 2023). Dit is exclusief grote hoeveelheden grondverzet.

Bijvoorbeeld: voor aluminium, een goed recyclebaar materiaal, voorziet gerecycled aluminium in 34% van de vraag (International Aluminium, 2021). De verwachting is dat de vraag in de toekomst toeneemt, maar wordt ingevuld met dezelfde verhouding primair/secundair. Dus dan blijft er meer primair aluminium geproduceerd worden.

De vraag naar nieuwe grondstoffen moet dus omlaag worden gebracht.

1.2 Doelen van een circulaire economie

Nederland wil in **2050 volledig circulair** zijn. Het grondstoffengebruik voor de Nederlandse productie en consumptie dient zodanig worden teruggebracht dat het binnen de planetaire grenzen en de daaruit volgende ‘veilige operationele ruimte’ voor Nederland valt.

Ook heeft de rijksoverheid als richtinggevende doelstelling gesteld: 50% minder primaire grondstoffen gebruiken in 2030. In het Nationaal Programma Circulaire Economie (Ministerie van I&W, 2023) dient dit als basis voor verdere invulling per prioritaire productketen¹.

In het Nationaal Programma Circulaire Economie staan de volgende **vier overkoepelende doelen** van een circulaire economie genoemd:

“Met een circulaire economie wordt het grondstoffengebruik en de negatieve effecten hiervan (zowel in Nederland als in productielanden) sterk verminderd. Een circulaire economie levert een belangrijke bijdrage aan vier grote maatschappelijke opgaven:

1. **Het tegengaan van klimaatverandering**, door broeikasgasemissies te voorkomen tijdens het maken en gebruiken van producten en na het einde van de levensduur.
2. **Een schoner milieu en een schonere leefomgeving** (een betere lucht-, water- en bodemkwaliteit), door minder primaire-grondstoffengebruik en schadelijke effecten hiervan bij de winning en verwerking, door zo mogelijk (zeer) zorgwekkende stoffen (ZZS) uit te faseren en door zwerfafval te voorkomen.
3. **Het herstel van biodiversiteit**, door minder landgebruik voor primaire-grondstofwinning en -teelt, minder uitstoot van vervuilende stoffen naar de lucht (waaronder CO₂), het water en de bodem tijdens het productieproces, gebruik en afvalfase en minder verdroging.
4. **Een grotere leveringszekerheid van grondstoffen** (onder meer voor nieuwe energie-technologieën), door waardebehoud centraal te stellen en grondstoffen dus hoogwaardig opnieuw te gebruiken. Dit geldt in toenemende mate ook voor schoon zoet-water.” (Ministerie van I&W, 2023)

¹ De vijf prioritaire productketens zijn: consumptiegoederen, kunststoffen, bouw, maakindustrie, en biomassa en voedsel.



2 Grondstoffen in een circulaire economie

In een circulaire economie kunnen we de volgende grondstoffen en materialen gebruiken, in deze voorkeursvolgorde:

1. **Hergebruikte producten en gerecyclede materialen.** Met duurzame energiebronnen geproduceerd. De beschikbaarheid is beperkt, want afhankelijk van hoeveel vrijkomt na afdanking van bestaande producten en uit *urban mining*. Belangrijk aandachtspunt is om te weten waar de gerecyclede materialen uit bestaan, om te voorkomen dat er onbekende, ongewenste stoffen (bijvoorbeeld additieven) in een nieuw product terecht komen.
2. Duurzaam geproduceerde **hernieuwbare primaire materialen**. Wat land- en bosbouw per jaar op duurzame wijze kan leveren.

Daarnaast geldt dat circulaire materialen **niet toxisch** mogen zijn (EPEA, 2022). Dit wordt onderstreept door Safe and Sustainable-by-Design (SSbD), een werkwijze om rekening te houden met veiligheid en duurzaamheid van materialen, chemicaliën en producten. Safe and Sustainable-by-Design levert criteria waarop materialen en chemicaliën beoordeeld kunnen worden, toepasbaar op drie niveaus: de ontwikkeling van materialen en chemicaliën zelf (moleculair niveau), de opzet van de productieprocessen en het ontwerp van producten. (European Commission et al., 2022).

In de transitie naar een circulaire economie zal de behoefte blijven aan duurzaam geproduceerde primaire niet-hernieuwbare materialen, zoals metalen en mineralen, hoewel zij strikt genomen niet in een circulaire economie passen omdat ze uitgeput kunnen raken.

Dit hoofdstuk behandelt diverse aandachtspunten voor grondstoffen in een circulaire economie.

Tekstbox 2 - Toelichting termen: hernieuwbaar, niet-hernieuwbaar, hergebruik en recycling

Niet-hernieuwbare (of primaire grondstoffen) zijn grondstoffen die uit de natuur worden gewonnen, zoals ijzererts. Primaire grondstoffen worden doorgaans verwerkt tot en daarmee opgeslagen in materialen en onderdelen, zoals ijzer of stalen platen, en vervolgens in eindproducten, zoals auto's. (PBL, 2023)

Hernieuwbare grondstoffen zijn primaire grondstoffen uit een voorraad die doorlopend kan worden vernieuwd. Biograndstoffen zijn hernieuwbare grondstoffen. (PBL, 2023)

Hergebruik gaat over het opnieuw gebruiken van producten en hun onderdelen zonder dat ze drastisch in vorm of samenstelling zijn veranderd. Materialen kunnen niet worden hergebruikt, maar wel worden gerecycled (zie recycling). (PBL, 2023)

Recycling is terugwinnen van materialen uit afgedankte producten (secundaire materialen), en opnieuw inzetten hiervan voor het maken van producten. Als het secundaire materiaal dezelfde kwaliteit heeft als het oorspronkelijke (nieuwe of primaire) materiaal en als zodanig wordt ingezet, dan spreken we van hoogwaardige recycling. Als het secundaire materiaal een mindere kwaliteit en geldelijke waarde heeft dan het primaire materiaal, dan spreken we van laagwaardige recycling. (PBL, 2023).

2.1 Efficiëntie productie met duurzame energie

In een circulaire economie moeten grondstoffen en materialen met duurzaam opgewekte energie worden geproduceerd. Dat geldt door de hele productieketen heen, zoals bij:

- elektriciteit en warmte voor productieprocessen;
- machinegebruik bij teelt en oogst van hernieuwbare grondstoffen;
- transportmiddelen.

Inzet van duurzame energiebronnen is nog lang niet altijd het geval. Met de energietransitie wordt daar naar toegewerkt. Belangrijk is ook een hoge energiezuinigheid van productieprocessen, materieel en voertuigen, zodat er zo min mogelijk energie verspild wordt.

2.2 Duurzame productie van hernieuwbare grondstoffen

Het hernieuwbare karakter maakt deze grondstoffen in de basis erg geschikt voor gebruik in een circulaire economie. Voorbeelden zijn landbouwgewassen, hout, zeewier en schimmels, maar ook aan reststromen zoals bermgras, riet en ander maaisel, en resten uit de landbouw en levensmiddelentechnologie. Ook klei en riviervlib, waaruit bakstenen worden geproduceerd, groeit jaarlijks aan en valt onder hernieuwbaar. Uit hernieuwbare grondstoffen kunnen materialen gemaakt worden voor toepassing in producten. Een bekend voorbeeld is bio-plastic: kunststof gemaakt van hernieuwbare grondstoffen.

Het gebruik van hernieuwbaar materiaal heeft veel potentieel, maar is lang niet altijd duurzaam te noemen. Hier benoemen we risico's en wat men concreet kan doen om de risico's te vermijden, aansluitend bij het duurzaamheidskader dat de overheid hiervoor ontwikkeld heeft (Ministerie van I&W, 2020).

Voor hernieuwbare grondstoffen gelden ook de principes van een circulaire economie. Ze moeten duurzaam geproduceerd zijn, dat wil zeggen naar draagkracht van de aarde waarbij de grondstofproductie niet leidt tot (illegale) boskap, afname van biodiversiteit of degradatie van land. Momenteel is er concurrentie met energietoepassing. Ook mag er geen concurrentie ontstaan met voedsel, dus het gebruik van voedselgewassen voor materialen moet voorkomen worden. Er zijn daarom randvoorwaarden nodig voor het gebruik van hernieuwbare materialen.

Tekstbox 3 - Beschikbaarheid hernieuwbare grondstoffen

In Nederland is ruim 30 miljoen ton biotische hernieuwbare grondstoffen aanwezig. Dit kan op korte termijn verhoogd worden met 4 miljoen ton. Rond 2030 is meer mogelijk: zo'n 10 miljoen ton extra.
(Stuurgroep Routekaart Nationale Biogrondstoffen, 2020)

Op dit moment is er **concurrentie** tussen inzet van hernieuwbare grondstoffen in materialen en als energiedragers. De rijksoverheid geeft in (Ministerie van I&W, 2020) richting aan de inzet voor hernieuwbare grondstoffen:

- toepassing als materiaal is het meest hoogwaardig en wordt beleidsmatig gestimuleerd;
- toepassing voor elektriciteit, warmte en licht wegtransport is laagwaardig en wordt beleidsmatig ingezet op afbouw;
- toepassing als brandstof voor scheepvaart, luchtvaart en zwaar wegtransport wordt gezien als overbruggingstoepassing totdat hernieuwbare niet-biobased energiedragers beschikbaar zijn.

Het gebruik van **voedselgewassen** voor niet-voedseltoepassingen en niet-duurzame biomassa is een risico. *Reststromen* uit de landbouw van voedselgewassen en van voedselverwerkende industrie kunnen wel worden toegepast in materialen. De voedselgewassen zelf niet. Denk bij reststromen bijvoorbeeld aan aardappelschillen en niet-eetbare delen van een suikermaisplant. Houd er rekening mee dat de reststromen niet volledig kunnen gebruikt: een deel van de reststromen uit de landbouw, waar dan ook ter wereld, moet op het land achterblijven ter behoud van nutriënten en bodemkwaliteit. In de transitie naar kringlooplandbouw spelen reststromen als bodemverbeteraar een belangrijke rol (Ministerie van I&W, 2020).

Illegale boskap en ontbossing blijft wereldwijd een probleem. Tropisch regenwoud wordt gekapt om plaats te maken voor landbouw en veeteelt. Daarnaast verdwijnen bossen door houtkap, voor pulpplantages (voor de productie van papier), voor de aanleg van wegen en door mijnbouw. (WWF, 2022)

- Koop alleen hout dat voldoet aan de ‘*Dutch Procurement Criteria for Timber*’ ten aanzien van duurzaam bosbeheer en de handelsketen, inclusief beoordelingsmethode (Timber Procurement Assessment Committee, 2014). Koop liefst hout uit Europa.
- Verifieer het certificaat en de leveringsdocumenten. Er kan namelijk mee gesjoemeld worden. Als een leverancier een certificaat heeft, kan het geleverde hout zelf alsnog niet-gecertificeerd zijn. Valt de houtsoort onder het certificaat van de leverancier? Eis gecertificeerd hout op productniveau, niet alleen voor de leverancier als geheel. Hoe je dat kan controleren staat uitgelegd op de website van Preferred by Nature, (2022).
- Dit geldt met name voor tropisch hardhout. Vermijd tropisch hardhout als je niet zeker weet dat de herkomst in orde is of als je twijfelt over de certificaten. FSC stelt: “Kiezen voor tropisch hout leidt soms tot controverse, maar het gebruik ervan kan juist bijdragen aan betere sociale, economische en ecologische omstandigheden in de regio waar het hout vandaan komt. Voorwaarde is wel dat het hout van verantwoorde afkomst is.” (FSC, 2022)
- De *Renewable Energy Directive* stelt eisen aan biomassa voor energiedoeleinden om verschuiving van landgebruik te voorkomen. Wij pleiten ervoor om deze eisen ook te stellen aan biomassa voor producten, in navolging van (SER, 2020). Verschuiving van landgebruik komt voor wanneer de wereldwijde vraag naar landbouwgrond toeneemt door de toenemende vraag naar biomassa. De uitbreiding van de landbouwgrond leidt vaak tot (illegale) boskap. Er bestaat nog geen algemene certificering en duurzaamheidscriteria voor biomassa (voor grondstoffen) die breder gaat dan verschuiving van landgebruik.

Bij landbouwgewassen zoals katoen wordt op grote schaal **kunstmest en pesticiden** gebruikt, vaak ook van fossiele oorsprong. Het gevolg is **vershraling van de bodem en afname van de biodiversiteit** (vermindering van soorten). Dan is er geen circulair, duurzaam houdbaar landbouwsysteem.

- Selecteer materialen van landbouwgewassen met bewezen keurmerk voor biologische ‘*organic*’ teelt. Het Europees biologisch keurmerk is leidend (European Commission, 2022b). Het stelt regels aan mest- en pesticidengebruik en aan het in stand houden van de vruchtbaarheid van de bodem (European Commission, 2022a).
- Voor katoen zijn er aanwijzingen dat er minder biologisch katoen wordt geteeld dan er met keurmerk op de markt wordt gebracht (NY Times, 2022). Voor eindproducenten is dit echter geen reden om geen biologisch katoen meer te kopen. Probeer als producent de oorsprong te controleren, zo ver mogelijk terug de keten in, en hou de ontwikkelingen in de gaten.

Voor de productie van technisch hoogwaardige materialen uit biomassa is soms **veel energie nodig**, die nog lang niet altijd duurzaam is. Dit zou in de loop van de tijd moeten verbeteren naarmate de energietransitie doorzet. Zoek naar producenten die aangeven met duurzame energie te produceren. Dring bij producenten aan dat zij duurzame energie gaan gebruiken voor hun productie.

Voor de productie van technisch hoogwaardige materialen uit biomassa zijn soms **schadelijke chemicaliën** nodig. Dit hoeft geen probleem te zijn, mits zij in een gesloten systeem worden gebruikt en niet geloosd worden. Een bekend voorbeeld is cellulosewinning uit bamboe met koolstofdissulfide (CS₂). Zoek naar producenten die aantoonbaar op verantwoorde manier produceren.

Reststromen zijn niet oneindig beschikbaar. Er zal daarom op een bepaald moment een keuze moeten worden gemaakt *voor welke toepassingen* een reststroom het best kan worden ingezet.

- De WUR heeft een beoordelingssysteem ontwikkeld voor het toetsen van biomassa-reststromen op circulariteit - functie, efficiëntie, hergebruikpotentieel, vermijden van landgebruik - milieu-impact, praktische beschikbaarheid/toepasbaarheid en socio-economische aspecten (Wolter Elbersen & Barrantes, 2022). Onder milieu-impact valt dat de toepassing van de reststroom leidt tot minder klimaatimpact en tot betere kwaliteit van bodem, biodiversiteit en lucht.
- Allereerst hebben reststromen een functie op het land: behoud van nutriënten en bodemkwaliteit. Daarna is een deel van de reststroom daadwerkelijk vrij te gebruiken voor producten.
- Zorg dat de reststroom een materiaal vervangt dat 1) niet-hernieuwbaar is; 2) een hoge milieudruk heeft; 3) dat (nog) niet duurzaam geproduceerd kan worden. Een voorbeeld van nuttige toepassing is het gebruiken van reststromen voor de productie van basischemicaliën die nu alleen uit fossiele bronnen worden geproduceerd. Een voorbeeld van een mogelijk minder nuttige toepassing is het inzetten van reststromen voor karton, wat ook uit biobased materiaal wordt gemaakt.

2.3 Geen toxische grondstoffen en emissies

In de chemicaliënstrategie van de Europese Commissie staat: “De overstap naar veilige en inherent duurzame chemische stoffen, (...) is van cruciaal belang voor de menselijke gezondheid en het milieu, en zijn een belangrijke voorwaarde om tot een schone circulaire economie te komen.” (European Commission, 2018b).

Bedrijven kunnen met de werkwijze Safe-and-sustainable-by-Design producten en processen zo ontwerpen, dat ze in de hele levenscyclus geen schadelijke gevolgen hebben voor mens en milieu. Uitgangspunten zijn:

- ontwikkelaars nemen veiligheid en duurzaamheid vanaf het begin mee in het ontwikkelproces;
- bedrijven nemen verantwoordelijkheid voor veiligheid en duurzaamheid, los van wettelijke eisen;
- ontwikkelaars maken afwegingen tussen functionaliteit, veiligheid en duurzaamheid expliciet;
- bedrijven ontwikkelen stoffen en materialen van grondstoffen die duurzaam zijn geproduceerd;
- de stoffen en materialen zijn veilig gedurende hun hele levenscyclus en na gebruik afbreekbaar of herbruikbaar;

- ketenpartners werken samen om veiligheid en duurzaamheid van stoffen en materialen continu te verbeteren (Safe by Design, 2023).

Meer informatie en praktische handvatten voor ondernemers zijn hier te vinden:

- de ‘Safe by Design’ module door CIRCO (CIRCO, 2022c);
- het achtergrondrapport bij Safe and sustainable-by-Design (European Commission et al., 2022);
- links naar internationale kaders voor afspraken gemaakt over productie, gebruik, emissies en monitoring van stoffen, waaronder de lijst met zeer zorgwekkende stoffen (RIVM, 2022);
- stappenplan voor materiaalselectie in de ‘Circular Design Guide’, opgezet door de Ellen MacArthur Foundation (Circular Design Guide, 2022);
- richtlijnen voor circulair en niet-toxisch productontwerp in de ‘Cradle-to-Cradle Certified Product Standard’ (Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2021);
- MaterialWise, een (gratis) onlinetool voor het identificeren en uitfasen van zorgwekkende chemicaliën bij de start van het ontwerpproces (ChemFORWARD, 2022).

2.4 Composieten: beperkt geschikt voor een circulaire economie

Composieten zijn samengestelde materialen. Beton en asfalt zijn composieten, maar ook metaallegeringen, kunststofcombinaties zoals PC-ABS, spaanplaten met (fossiele) lijm en textielblends (katoen-polyester-elastaan). Na gebruik kunnen deze nu alleen nog worden gerecycled met batches van exact hetzelfde materiaal. Als een biologisch materiaal wordt toegevoegd aan een bestaand product, ter vervanging van (deels) niet-hernieuwbare materialen, moet worden onderzocht of deze toevoeging de recyclebaarheid van het product niet vermindert. Dit geldt bijvoorbeeld voor lignine als bindmiddel in asfalt en beton versterkt met biobased vezels.

Composieten die uit a-biotische en biobased grondstoffen bestaan kunnen in een circulaire economie alleen onder voorwaarden bestaan:

1. De productonderdelen, gemaakt uit composiet materiaal, kunnen in zijn geheel worden hergebruikt, en:
2. Het composiet kan worden gesplitst in zijn componenten, waarna de afzonderlijke componenten kunnen worden gerecycled, of:
3. Het composiet kan hoogwaardig worden gerecycled en opnieuw als composiet materiaal worden ingezet.

Er zullen dus scheidings- en recycletechnieken moeten worden ontwikkeld voor huidige composieten, willen zij nog in een circulaire economie kunnen worden toegepast. Bij de ontwikkeling van nieuwe composieten moet direct aandacht worden besteed aan hoe deze producten te recyclen zijn.

Voor recycling van samengestelde materialen, waaronder die met additieven, is standaardisatie van de samenstelling belangrijk. Je wil voorkomen dat er vele verschillende mengsels bestaan die niet gezamenlijk kunnen worden gerecycled. Dit zal een van de speerpunten worden van de nieuwe EU Ecodesign richtlijn: *“The framework will allow for the setting of a wide range of requirements, including on (...) presence of substances that inhibit circularity.”* (European Commission, 2022d)

2.5 Additieven: voorkom dat deze verstorend werken bij recycling in de toekomst

Het gebruik van (toxische) additieven en het mengen van verschillende materialen in één materiaal of product bemoeilijkt recycling. We zullen nog jaren te maken hebben met vrijkomende materialen (na afdanking of sloop) en reststromen uit producten die niet zijn ontwikkeld voor circulariteit en niet optimaal geschikt zijn voor hergebruik of recycling.

Om gerecycled materiaal in te kunnen zetten zijn we, de samenleving, afhankelijk van wat er vrijkomt aan gebruikte producten en van de samenstelling daarvan. Bij het inzetten van gerecyclede grondstoffen/materialen is het belangrijk om te weten waar deze uit bestaan, om te voorkomen dat er onbekende, ongewenste stoffen (bijvoorbeeld additieven) in een nieuw product terecht komen. Dit sluit aan bij de notie dat toxische stoffen niet in een circulaire economie passen. Naarmate meer producten worden ontworpen voor circulariteit raken toxische toevoegingen en stoffen langzaam maar zeker uitgefaseerd. Dat komt ook de kwaliteit van het recyclaat ten goede.

Vrij samengevat zegt de chemicaliënstrategie van de EU het volgende over additieven en recycling:

- Het is de wens om te evolueren naar giftvrije materiaalcycli en schone recycling.
- Er is momenteel nog een gebrek aan adequate informatie over de chemische stoffen in producten. Dat vertraagt de ontwikkeling van een goed functionerende markt voor secundaire grondstoffen.
- Bij gebruik van recyclaat is het belangrijk dat er geen negatieve gevolgen zijn voor de gezondheid van de consument en het milieu. Dit beperkt momenteel de inzet van gerecycled materiaal.
- Er zijn investeringen nodig in innovatieve technologieën om de aanwezigheid van uitgefaseerde stoffen in afvalstromen aan te pakken. Technologieën zoals chemische recycling kunnen ook een rol spelen.

Het kan voorkomen dat additieven leiden tot minder primair materiaalgebruik, maar hinderen recycling. Enkele voorbeelden zijn:

- Niet-oplosbare coatings op papier. Dit verlengt de levensduur van, bijvoorbeeld, boeken en posters, maar zorgt ervoor dat papiervezels niet allemaal te recycelen zijn.
- In producten: Gelijmde onderdelen in plaats van losmaakbare verbindingen (die vaak meer materiaal vergen).
- Glasvezelwapening, staalvezelwapening en basaltvezelwapening in beton. Zo is minder tot geen staal nodig, maar het materiaal is mogelijk moeilijker te recycelen.
- Geopolymere² in plaats van cement. Hierdoor is geen cement type CEM I nodig. Het effect op recycling wordt nog onderzocht, maar de huidige aanname is dat het verkregen recyclaat beperkter toepasbaar is dan nu het geval.
- Niet-afbreekbare lakken en lijmen bij houtgebruik (zie Paragraaf 4.1). Naast dat lak levensduurverlengend werkt, kan het ook hergebruik juist bevorderen: het houdt het hout goed, er is alleen een nieuwe laklaag nodig. Ook is lak en lijm niet altijd een probleem voor mechanische recycling. Verwerking in de biotische kringloop is echter niet meer mogelijk.

² Geopolymere zijn anorganische bindmiddelen: verbindingen op basis van een aluminium- en siliciumhoudend hoofdbestanddeel (zoals vliegask, hoogovenslak of metakaoline) en een alkalische activator (zoals NaOH).

Onze aanbeveling is om kritisch te kijken naar alle toevoegingen in een product. Stel de vragen:

- Welke additieven zitten er momenteel in de materialen die we gebruiken?
- Is het additief noodzakelijk, kan het zonder?
- Levert het een probleem op bij recycling?
- Welke alternatieven voor het additief zijn er, die geen negatieve circulaire neven-effecten hebben?
- Kan het product worden herontworpen zodat dit soort additieven worden vermeden, bijvoorbeeld door selectie van een heel ander type materiaal?

2.6 Recycling van hernieuwbare materialen

Ook voor biologisch afbreekbare materialen wordt recycling als de (milieukundig) meest wenselijk manier van eindverwerking gezien (Rosenboom et al., 2022). Denk aan papier, hout en bio-kunststoffen. Zo vermijdt het productie van nieuwe grondstoffen. Zijn dergelijke vormen van recycling niet mogelijk dan is vergisting en/of biologische afbraak tot stabiele bodemverbeteraar/compost een optie³. Dit is alleen nuttig als het materiaal daadwerkelijk bijdraagt aan de vorming van compost. Bio-afbreekbaar plastic valt uiteen tot water en CO₂ en levert geen compost op. Het composteren/vergisten van bio-afbreekbare gebruiksvoorwerpen wordt daarom niet gezien als circulaire oplossing. Als het materiaal niet (meer) geschikt is voor recycling is inzet als biobrandstof een optie zodat het inzet van andere (nu nog fossiele) energiebronnen vermijdt.

Voor nieuwe biobased materialen, bestaan vaak nog geen recyclingtechnieken omdat de focus eerst op de ontwikkeling van het materiaal zelf ligt. Het is daarom belangrijk om, zodra blijkt dat een nieuw materiaal de gewenste eigenschappen bezit, ook recycling-methoden voor het materiaal te gaan (laten) ontwikkelen. Dit is bijvoorbeeld relevant voor biobased kunststoffen met een andere samenstelling dan fossiele varianten.

2.7 Niet-hernieuwbare grondstoffen in (de transitie naar) een circulaire economie

Grotere vraag dan aanbod

In een ideale circulaire economie is de vraag naar materialen in balans met het aanbod aan recycklaat aangevuld met hernieuwbaar materiaal. In de transitie naar een circulaire economie zal lange tijd behoefte blijven aan traditionele niet-hernieuwbare grondstoffen. De vraag naar deze grondstoffen is (veel) groter dan de hoeveelheid die vrijkomt als recycklaat. Die vraag kan drastisch naar beneden door toepassing van de circulaire principes vermindering/*refuse*, levensduurverlenging en substitutie. Wij verwachten desondanks dat er ook bij verregaande transitie nog een behoefte zal blijven aan niet-hernieuwbare grondstoffen, vanwege hun eigenschappen.

³ Wel relevant is dat lang niet alle materialen bij biologische afbraak daadwerkelijk bijdragen aan de vorming van compost.



Duurzaamheid is het doel

Circulaire economie is een middel om tot duurzaam grondstofgebruik te komen. Met circulaire economie wordt het grondstoffengebruik en de negatieve effecten hiervan sterk verminderd, zowel in Nederland als productielanden. Het op duurzame manier winnen en van mineralen en metalen past in een duurzame samenleving, net als duurzame productie van halfproducten. Eenmaal gewonnen is het met hergebruik en recycling mogelijk om mineralen en metalen, die in de basis eindig zijn, voor zeer langdurig gebruik beschikbaar te houden.

Blijf aan verduurzaming werken

Het is belangrijk dat ook aan verduurzaming van de traditionele grondstoffen en materialen wordt gewerkt. Zodat ze, ondanks hun niet-hernieuwbare en primaire karakter, wel op duurzame manier worden gewonnen en verwerkt.

Voor de verduurzaming van traditionele materialen, moet in ieder geval energie worden bespaard en hernieuwbare energie worden ingezet. In veel ketens spelen echter ook niet-energie gerelateerde milieuproblemen. Voorbeelden hiervan zijn CO₂ dat vrijkomt uit het kalksteen bij (Portland)cementproductie, toxische reststromen bij metaal(erts)productie en aantasting van de biodiversiteit. Er zijn dus grote verduurzamingsuitdaging in de mineraal- en ertswinning en verwerking.

3 Circulaire producten en systemen

Circulair ontwerpen is essentieel voor de overgang naar een circulaire economie. Door circulair te ontwerpen creëert én behoudt waarde op economisch, ecologisch en sociaal gebied (Rijkswaterstaat, n.d.). Het ontwerp van een product of bouwwerk speelt de centrale rol bij het beschikbaar houden van grondstoffen. Een lange levensduur en hergebruik zijn niet mogelijk als het product niet repareerbaar is en als kapotte onderdelen niet vervangen kunnen worden. Hoogwaardige recycling is onmogelijk als materialen (in productonderdelen) onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn, als materialen zijn gebruikt die zodanig niet-standaard zijn dat er geen recyclesysteem voor bestaat of opgezet kan worden.

3.1 Ontwerpregels voor circulaire productsystemen

Er zijn diverse programma's, regelingen en wetten en (bijbehorende) websites die ontwerp-regels bieden voor circulaire producten. Samengevat zijn dit generieke ontwerpregels, die aansluiten bij de circulaire principes (Figuur 1):

Ontwerp met (duurzaam geproduceerde) hernieuwbare of gerecyclede materialen.

Alleen in toepassingen waar dat om veiligheidsredenen niet mogelijk is: ontwerp met duurzaam geproduceerde primaire materialen.

Ontwerp voor reparatie en losmaakbaarheid. Zo is vervanging van onderdelen mogelijk en kunnen na afdanking van het product de nog werkende/intacte onderdelen worden hergebruikt, eventueel na opknapbeurt.

Optimaliseer de levensduur. Een maximale levensduur zorgt ervoor dat er in de tijd minder producten nodig zijn om onze behoeftes te vervullen. Bij inefficiënte stroom-verbruikende producten is er een omslagpunt waarbij vervanging van het product beter is, of idealiter de motor of accu beter kan worden vervangen. Vermijd wegwerpproducten en producten van lage kwaliteit. Een voorbeeld is ook het beschikbaar houden en updates blijven leveren van software voor elektronische apparatuur. Daarnaast spelen sociale componenten een rol, zoals hechting aan het product, goede omgang met en goed onderhoud aan het product.

Ontwerp voor hoogwaardige recycling. Laat materiaalkeuze aansluiten bij bestaande technische recyclemogelijkheden. Vermijd samengestelde onderdelen die, in samengestelde vorm, niet kunnen worden gerecycled. Dit geldt voor klein en groot: van verpakkingen uit mono-materialen (in plaats van laminaten), modulair opgebouwde en niet-verlijmd producten en productonderdelen, tot het vermijden van additieven die de recycling nadelig kunnen beïnvloeden (zoals staalvezels in beton).

Ontwerp voor standaardisatie. Dit gaat over toepassing van bulkmaterialen, standaardafmetingen, standaard aansluitingen. Dit is voor sommige productgroepen vastgelegd; de materiaalkeus is meestal nog vrij. Enkele voorbeelden zijn standaardafmetingen in keukens (apparatuur en kasten), oplaadsystemen voor elektronica, hervulbare (bier)flesjes, etc. Standaardisatie is vooral relevant voor serie-en massaproducten, minder voor unieke toepassingen zoals GWW-bouwwerken.

Ontwerp voor (functionele) aanpasbaarheid. Dat gaat verder dan het kunnen kiezen of later aanpassen van uiterlijke kenmerken zoals kleur. Het gaat bijvoorbeeld om het kunnen veranderen van een etage-indeling door te zorgen dat niet-dragende muren kunnen worden hergebruikt of verplaatst. Ook gaat het bijvoorbeeld om het leggen van modulaire vloerbedekking (tegels, planken) zodat alleen versleten delen vervangen hoeven te worden in plaats van de hele vloerbedekking. Of denk aan gereedschap en machines met diverse opzetstukken zodat niet voor elke taak een geheel ander apparaat nodig is.

Deze informatie is ontleend aan enkele documenten die richtlijnen bieden en interessant zijn voor bedrijven die met circulair ontwerp aan de slag willen:

- Kennisbank CIRCO: ontwerpstrategieën, tools, webinars, masterclasses voor business-modellen en voorbeelden ter inspiratie (CIRCO, 2022a);
- de website van (Circular Design Guide, 2022);
- Leidraad Circulair Ontwerpen (Platform CB'23, 2021);
- Cradle to Cradle Certified Product Standard v.4.0 (Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2021);
- IKEA Circular product design guide (IKEA of Sweden AB, 2022).

Niet altijd zijn alle bovenstaande ontwerpregels van toepassing. Voor verbruiksgoederen met zeer korte gebruiksduur, zoals verpakkingsmateriaal is standaardisatie van het materiaaltype belangrijk maar is de mogelijkheid tot reparatie niet of nauwelijks aan de orde. Voor consumentenproducten en bouwwerken zijn bovenstaande punten wel altijd van toepassing.

Naast de generieke ontwerpregels kunnen productspecifieke regels van toepassing zijn.

De *Ecodesign Directive* bevat regels voor met energie-verbruikende producten en het labelen daarvan. Een nieuwe versie is in ontwikkeling die aansluit bij het *Circular Economy Action Plan* van de Europese Commissie. Deze zal ook regels gaan bevatten voor materiaalgebruik en toepassing van materialen in producten. Die regels moeten nog worden gespecificeerd (door de Commissie, voor productgroepen), maar zullen ingaan op:

- a Product durability and reliability.
- b Product reusability.
- c Product upgradability, reparability, maintenance and refurbishment.
- d The presence of substances of concern in products.
- e Product energy and resource efficiency.
- f Recycled content in products.
- g Product remanufacturing and recycling.
- h Products' carbon and environmental footprints.
- i Products' expected generation of waste materials.

Bron: (European Commission, 2022f).

Het voorstel noemt daarnaast informatievoorziening door producenten middels een materialenpaspoort en het aan banden leggen van vernietiging van onverkochte producten.

Het Platform CB'23 - circulair bouwen in 2023 - heeft een leidraad opgesteld voor circulair ontwerpen in de bouw. Het onderscheidt zes ontwerpstrategieën die (in combinatie) ingezet kunnen worden om te komen tot een circulaire oplossing. Dit zijn:

- ontwerpen voor preventie;
- ontwerpen voor reductie van levenscyclusimpact;
- ontwerpen voor toekomstbestendigheid;
- ontwerpen met hergebruikte objecten;
- ontwerpen met secundaire grondstoffen;

— ontwerpen met hernieuwbare grondstoffen.

De leidraad geeft tips en voorbeelden per ontwerpstrategie (Platform CB'23, 2021).

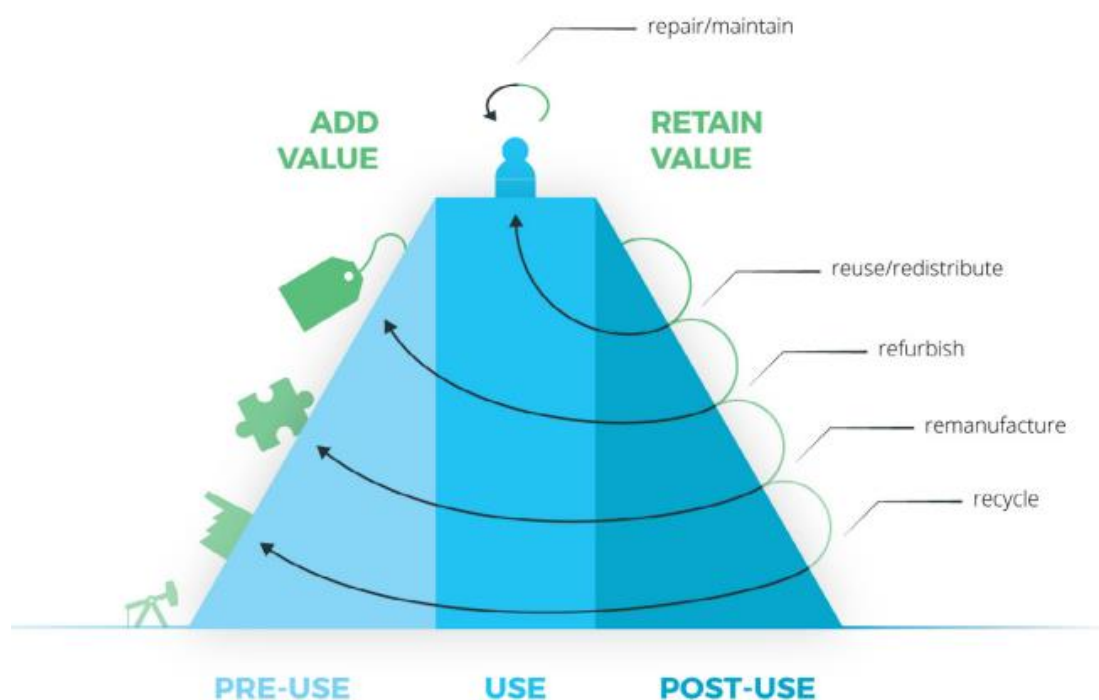
3.2 Waardebehoud na gebruik: functioneel-technisch en economisch

Als een product eenmaal is geproduceerd heeft het zijn hoogste waarde, zowel economisch als functioneel-technisch. Waardebehoud kan gerealiseerd worden door **goed onderhoud**, levensduurverlenging, het ontwerpen voor losmaakbaarheid, en ontwerp voor recycling (alle vier tezamen).

Platform CB'23 ontwikkelde een methodiek voor het vaststellen van de **functioneel-technische waarde** aan het einde van de levenscyclus, op een schaal van 0 tot 1. De methodiek onderscheidt functionele kwaliteit, technische kwaliteit, degradatie en hergebruikpotentie. (Platform CB'23, 2022)

Figuur 2 toont het principe van **economisch waardebehoud** (Circle Economy, 2016). Over het algemeen geldt dat de meeste waarde kan worden behouden met de hoogste R-strategieën (voor bestaande producten). Het vernietigen van waarde door producten te verbranden terwijl ze hoogwaardig kunnen worden behouden moet worden voorkomen. Waardebehoud op materiaalniveau inzet in een andere productketen zijn, als het daar een hoge toegevoegde waarde heeft.

Figuur 2 - De waardeheuvel



Bron: Figuur overgenomen uit (Circle Economy, 2016).

Waardebehoud is ook belangrijk voor hernieuwbare grondstoffen

Ook als het product uit hernieuwbare grondstoffen is gemaakt is het belangrijk om waarde te behouden en waardeverlies te voorkomen. Het maken van een product uit hernieuwbare grondstoffen is geen vrijbrief voor laagwaardige eindverwerking ervan. Hoe vaker en hoe langer het product kan worden gebruikt, hoe lager de milieu-impact per keer gebruik, (CE Delft, 2022). In een circulaire economie moeten we toe naar een balans tussen aangroei van grondstoffen en de snelheid waarmee we producten uit deze grondstoffen gebruiken.

3.3 Materiaalkeuze en afwegingen bij vergelijking van circulaire product-systemen

In een circulaire economie wordt eerst de vraag gesteld of een product echt nodig is. Zo ja, dan komt materiaalkeuze in beeld. De materiaalkeuze is een deel van de oplossing om te komen tot een circulair systeem. De functie van een product of bouwwerk is bepalend bij materiaalkeuze. De materialen moeten het mogelijk maken dat de functie van het product kan worden uitgevoerd. Ook moet het product veilig zijn en blijven.

Het vervangen van niet-hernieuwbare materialen door hernieuwbare materialen zou altijd de overweging moeten zijn bij de start van een project. De opdrachtgever zou het moeten stimuleren, of ten minste mogelijk moeten maken voor de ontwerpers, om een uitvoering in hernieuwbaar materiaal te ontwikkelen.

Niet langzaam verbeteren, maar radicaal: wat kan wel

Het is een valkuil om traditionele materialen als vertrekpunt te nemen en vanuit daar langzaam te verbeteren. Om producten minder slecht maken, in plaats van goed. Voor een duurzaam, circulair productsysteem is het zinvol om radicaler te denken en te onderzoeken wat er *wel* kan. Denk na over hoe een bepaalde functionaliteit kan worden bereikt met een combinatie van hernieuwbare en secundaire materialen, circulaire ontwerpstrategieën gericht op een optimale levensduur en het zo hoogwaardig mogelijk in de cyclus houden van producten en materialen bij volgende levenscycli.

Kan iedere grondstof circulair worden toegepast?

Bij toepassing van een grondstof of materiaal gelden alle circulaire principes (zie Figuur 1). Een materiaal dat in de basis geschikt is moet wel worden toegepast in een product dat volgens de circulaire principes is ontworpen. Dus met oog voor repareerbaarheid, demontage, hergebruik, hoogwaardige recycling. En met een goed georganiseerd systeem daaromheen om het in de praktijk mogelijk te maken, inclusief een markt waarin de gerecyclede grondstoffen weer opnieuw kunnen worden ingezet. Dit is met name voor complexe producten zoals elektronica een enorme uitdaging.

Binnen de meeste grondstofcategorieën - kunststoffen, metalen, steenachtige materialen - zijn er varianten te bedenken die passen binnen een circulaire economie. Echt circulaire, duurzame grondstoffen zijn nog lang niet altijd beschikbaar, of nog niet in grote hoeveelheden. Technische innovaties en doorontwikkeling van materialen en grondstoffen blijven hard nodig.

Hierna geven we enkele voorbeelden, vooral bedoeld om het denken over grondstoffen aan te scherpen. In Hoofdstuk 4 gaan we dieper in op zeven grondstoftypen.

- **Kunststoffen** kunnen gemaakt worden uit biobased feedstock en/of uit duurzaam geproduceerde basischemicaliën, in plaats van uit fossiele bronnen.
- **Beton** is een samengesteld product, waarbij het bindmiddel een circulair (en duurzaamheids-)knelpunt vormt. Ook met geavanceerde recyclingtechnieken kan een deel van het ongebonden bindmiddel teruggewonnen worden. Er is dus altijd toevoeging nodig van nieuw bindmiddel. Bindmiddel uit reststromen (geopolymeer beton, hoogovenslakken) wordt nu ingezet vanwege CO₂-reductie. Maar dit loopt tegen grenzen aan qua beschikbaarheid en het is nog onduidelijk in hoeverre dit soort alternatieven ook goed recyclebaar zijn, of hoe zij de recyclebaarheid van conventioneel beton beïnvloeden als het gezamenlijk verwerkt wordt. Dus rijst de vraag in hoeverre beton toegepast kan blijven worden in een circulaire economie, of dat we naar andere grondstoftypen moeten.
- Er zijn vele **chemicaliën**. Sommige passen in een circulaire economie, maar ook die er absoluut niet in thuishoren, bijvoorbeeld vanwege hun toxische effecten.
- **Primaire mineralen en metaalertsen** zijn niet-hernieuwbaar en daarom in principe geen circulaire grondstof. Maar is het erg het als we mineralen en ertsen winnen op duurzame wijze? Zoals we in Paragraaf 2.7 schetsen, is circulariteit ook een middel om te komen tot duurzaamheid. Daarom stellen we dat metalen en mineralen gewonnen en verwerkt mogen blijven worden mits volledig duurzaam, dus met hernieuwbare energie, geen toxische emissies en zonder biodiversiteitsschade. Die uitdaging is enorm.

Afweging tussen (al dan niet) circulaire oplossingen

Vaak zijn er meerdere werkbare circulaire productsystemen te bedenken, voor gewenste functie of dienst, waarin duurzame herkomst van grondstoffen, optimale levensduur en het behoud van de grondstoffen ervan centraal staan.

Checklist circulaire knoppen

Is er bij het ontwerp van het product rekening gehouden met de vier circulaire knoppen en zo ja, via welke R-strategieën? Wellicht kan er op basis van deze kwalitatieve checklist al een oordeel worden geveld.

Tabel 1 - Kwalitatieve checklist R-strategieën

Circulaire knop	R-strategie	Product 1	Product 2
Vermindering van grondstoffengebruik	<i>Refuse</i> <i>Rethink</i> <i>Reduce</i>	☒ ☒ ☐	☐
Substitutie van grondstoffen	<i>Rethink</i>	☒	☒
Levensduurverlenging	<i>Reuse</i> <i>Repair / remanufacturing</i>	☒ ☐	☐
Hoogwaardige verwerking	<i>Recycling</i>	☒	☒

Circulair systeem in de praktijk, niet alleen in theorie

In de transitie naar een circulaire economie zien we vaak producten die in theorie zouden kunnen werken in een circulaire economie, maar in de praktijk toch lineair worden gebruikt. Daarom stellen we de volgende controlevragen toe, voor borging in de praktijk.

Tabel 2 - Controlevragen voor borging in de praktijk

Indicator voor borging in de praktijk	Product 1	Product 2
Is er directe samenwerking tussen producent van hernieuwbare en/of secundaire materialen, en de producent die deze materialen toepast?		☒
Is er een terugnamesysteem beschikbaar om reparaties en hergebruik te borgen?		☒
Is er een inname- of inzamelingssysteem beschikbaar om hergebruik en recycling te borgen?	☒	☒

Material Flow Analysis (MFA)

Daarna is het nuttig om de volgende producten te vergelijken op onderstaande kwantitatieve circulaire indicatoren die inzicht geven in het type materiaalgebruik en mogelijkheden na afdanking. Met deze indicatoren kan een circulariteitsscore worden berekend. Zie hiervoor (Platform CB'23, 2022).

Vergelijk de producten daarbij op een eerlijke manier: per gebruik voor een bepaalde functie, en houdt rekening met eventueel verschil in levensduur. Dus als er van het ene product meer aantallen nodig zijn om de functie te vervullen, neem dit dan mee in de berekening. Idealiter blijft bij circulair (her)ontwerp de levensduur minimaal gelijk aan een al bestaand lineair product, of wordt door slim ontwerp voor repareerbaarheid en hergebruik een langere levensduur mogelijk gemaakt. Een kortere levensduur met een duurzaam/circulair materiaal kan te verantwoorden zijn binnen een goedwerkend circulair systeem (terugname, onderhoud, hergebruik, recycling).

Tabel 3 - Circulaire indicatoren

Circulaire indicator	Deelindicator
1. Hoeveelheid secundair materiaal	1.1 Hoeveelheid secundair materiaal uit hergebruik. 1.2 Hoeveelheid secundair materiaal uit recycling.
2. Hoeveelheid primair materiaal	2.1 Hoeveelheid primair materiaal dat hernieuwbaar is. 2.2 Hoeveelheid duurzaam geproduceerd primair materiaal dat hernieuwbaar is. 2.3 Hoeveelheid niet-duurzaam geproduceerd primair materiaal dat hernieuwbaar is. 2.4 Hoeveelheid primair materiaal dat niet-hernieuwbaar is.
3. Materiaal beschikbaar voor een volgende functie	2.1 Hoeveelheid materiaal voor hergebruik. 2.2 Hoeveelheid materiaal voor recycling.
4. Materiaal dat verloren gaat	3.1 Hoeveelheid materiaal naar energiewinning. 3.2 Hoeveelheid materiaal naar stort.

Levenscyclusanalyse (LCA)

Als er nog geen uitsluitsel is, kan levenscyclusanalyse (LCA) uitsluitsel bieden. Dit is een ISO-gestandaardiseerde methodiek om de milieu-impact van producten te bepalen. Met LCA kan worden geëvalueerd of productontwerp in een (circulair) systeem leidt tot milieukundig voordeel ten opzichte van een conventioneel (deels lineair) product en systeem. Een LCA kan ook voor de keuze van een (nieuwe) grondstof voor een specifiek product worden uitgevoerd. LCA-impactcategorieën zoals toxiciteit en uitputting van grondstoffen sluiten aan bij de doelen van circulariteit. Met LCA is het ook mogelijk om te kijken naar (milieuwinst door) grondstofbehoud over meerdere productcycli met multi-cyclus-LCA (mLCA). Het toepassen van LCA wordt ook genoemd in enkele documenten van de Europese Commissie.

- “De ecologische duurzaamheid van biobased producten vergeleken met de huidige niet-biobased alternatieven moet worden aangetoond over de gehele levenscyclus.” (European Commission 2018)
- “Er worden innovatieve materialen en alternatieve grondstoffen voor de productie van kunststoffen ontwikkeld en gebruikt, wanneer duidelijk blijkt dat ze duurzamer⁴ zijn vergeleken met de niet-hernieuwbare alternatieven”. (European Commission, 2018a).

Kanttekening is dat LCA een momentopname is. Voor een bestaand systeem wordt gerekend met de huidige energieverbruik en huidige energiemix (deels fossiel). Met een ‘*prospective LCA*’ kan gekeken worden naar de verwachte milieukundige impact als duurzame energie voor productie wordt gebruikt.

Databases met circulaire materialen en producten

Diverse platforms, initiatieven en bedrijven bieden overzichten van circulaire materialen en producten. Hierna staan enkele verwijzingen naar zulke overzichten (databases). Blijf echter kritisch: hou de circulaire principes (zie Figuur 1) en het doel - duurzaamheid - in gedachten.

Tekstbox 4 - Titel?

Soms dekken materialen of producten slechts één aspect van circulariteit, bijvoorbeeld ‘recyclebaarheid’, terwijl de productie nog niet duurzaam is. Ook kan een in de basis circulair materiaal zodanig worden toegepast dat het verwerking na afdanking moeilijker maakt. Denk aan composieten en onlosmaakbare verbindingen.

Kennisbank biobased en circulair bouwen (Agrodome et al., 2022)

Deze database wordt beheerd door Stichting Agrodome en bevat producten die in een circulaire economie passen. Het gaat om producten die in de bouw kunnen worden toegepast, zoals gevelbekleding, damwanden, isolatie, plaatmateriaal en verf. De materialen, waaruit de producten zijn geproduceerd, zijn echter vaak breder toepasbaar dan in de bouw. De database bevat met name biobased materialen, maar ook materialen die ‘worden gewonnen uit geologische afzettingen en/of fossiel materialen als deze overvloedig aanwezig zijn in de natuur en worden gewonnen zonder milieuschade’.

⁴ De bron specificeert niet wat ‘duurzamer’ hier inhoudt; ze noemen alleen CO₂-uitstoot. Wij zouden stellen: duurzamer betekent een lagere milieuschade, dus minder schadelijke effecten aan ecosystemen en menselijke gezondheid (waaraan ook klimaatverandering bijdraagt).



Criteria zijn ook herbruikbaarheid/recyclebaarheid en de materialen mogen geen schade toebrengen aan het milieu na gebruik.

Circulaire Productencatalogus (Alba Concepts & Cirkelstad, 2020)

Deze database bevat alternatieve producten ten opzichte van traditionele bouwproducten. Het is met name gericht op de bouw. De database bevat ook producten die de eerste stappen zetten richting circulariteit. Er staan bijvoorbeeld ook producten tussen met een aandeel gerecycled materiaal (niet 100%) of producten die niet goed recyclebaar zijn. Let bij deze database op de score (schaal van 1 tot 5): hoe hoger hoe beter.

CIRCO Cases (CIRCO, 2022b)

Voorbeelden van bedrijven met een circulair businessmodel rondom een product of afvalstroom.

Circular Design Software and Circular Material Library (Circular Fashion, 2022)

Dit is een commercieel platform voor textielproducenten en recyclers. Textielproducenten kunnen hun product indienen. De producten worden getoetst op duurzame productie en recyclebaarheid. Voor recyclers biedt het platform de volgende dienst: *‘Our platform helps you integrate your recycling output into products and generate continual, ideal feedstock input for your recycling process.’* Omdat het commercieel is, en niet openbaar, kunnen we de kwaliteit van de database niet beoordelen.

Madaster-platform en materialenpaspoort (Madaster, 2022)

Madaster biedt onder andere een dataplatform en materialenpaspoort, als dienst voor diegenen die zich aansluiten. Het materialenpaspoort houdt voor objecten in de bouw bij welke producten en materialen worden gebruikt, en de losmaakbaarheid ervan, zodat na gebruik bekend is welke materialen vrijkomen en of deze kunnen worden hergebruikt. Het platform maakt inzichtelijk welke materialen en producten op welke plek te vinden zijn en wat hun impact op circulariteit en milieu is.

3.4 Circulariteit vraagt om samenwerking

Circulariteit bewerkstelligen gaat over de hele productketen. Het ontwerpen van een product dat kan passen in een circulaire economie is de basis, maar op zichzelf niet voldoende. Naast een product zijn services nodig en een verdienmodel voor alle betrokken partijen. Ketensamenwerking is noodzakelijk om een functionerend circulair product-systeem op te zetten. Zo'n systeem verbindt spelers in de hele productketen, waarbij men streeft naar een gemeenschappelijk doel en waarbij alle spelers ook meerwaarde hebben bij de samenwerking.

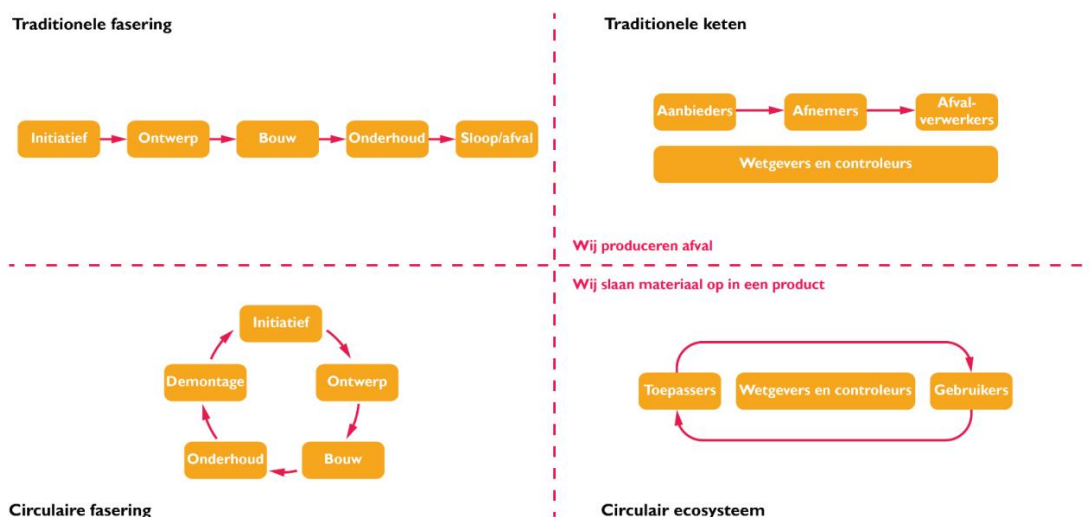
Voor circulaire ketens gaat het dan om het bewerkstelligen van:

- een match creëren tussen kwalitatief hoogwaardig gerecycled materiaal en producenten;
- een match creëren tussen producenten van hernieuwbare grondstoffen en producenten van eindproducten;
- het garanderen van een lange levensduur, door:
 - bij elektronica: updates;
 - repareerbaarheid en het faciliteren van reparaties;
 - een innamesysteem voor reparatie.
- na afdanking: zo hoogwaardig⁵ mogelijk materiaalbehoud, door:
 - terugname- of inzamelsysteem gericht op hergebruik van nog bruikbare delen;
 - samenwerking met recycler(s) voor materiaalbehoud.

Het Groene Brein wijdt een webpagina aan samenwerking (Het Groene Brein, 2022) met voorbeelden en schrijft: ‘Samenwerking tussen organisaties is zeer belangrijk in een circulaire economie, omdat ze meer afhankelijk van elkaar zijn én wederzijds voordeel kunnen halen uit het stroomlijnen van hun activiteiten. Wanneer de kringloop van een keten met verschillende bedrijven gesloten is, betekent dit dat de bedrijven van elkaar afhankelijk zijn voor hun grondstoffen. Daarom moeten verschillende ketenpartners de kosten, baten en risico’s goed samen bespreken.’

Specifiek voor het realiseren van circulaire bouwprojecten gaat het Platform CB’23 in detail in op de actoren en hun rollen (Platform CB’23, 2021). Op hoofdlijnen onderscheidt het Platform initiatiefnemers, adviseurs, uitvoerders en controleurs. Het Platform heeft een kompas ontwikkeld om een compleet overzicht van actoren op te stellen, gerangschikt rondom het ontwerpteam, per circulaire strategie waarin zij een rol spelen en per fase waarin zij een hoofdrol spelen. Zie voor meer informatie Hoofdstuk 5 en Bijlage I van de Leidraad Circulair Ontwerpen (Platform CB’23, 2021).

Figuur 3 - Lineair versus circulair



Bron: Figuur uit Leidraad circulair ontwerpen (Platform CB’23, 2021).

⁵ Een algemene vuistregel is: Hoe minder processtappen een materiaal moet doorlopen hoe hoogwaardiger het materiaal in te zetten is.

Daaromheen is nodig dat overheden faciliterend zijn voor onder andere:

- Regelgeving omtrent secundaire grondstoffen: transparantie over eigenschappen en samenstelling.
- Voor het toekennen van (ruimte voor) locaties, zoals voor inname en reparatie van producten, inzameling van reststromen, en productie van secundaire grondstoffen.
- Als vooroploper en inspirator in circulair opdrachtgeverschap (circulair werken).
- Voor regelgeving en instrumenten die eerlijke concurrentie met niet-duurzame, lineaire producten mogelijk maakt, zoals *true pricing* en op den duur verbieden van producten die niet in een circulaire economie passen. Wel moet dit soort regelgeving voorkomen dat kartelvorming, prijsafspraken en inefficiënte productie ontstaan, zoals nu geborgd door mededingingsregels (NMA) en de huidige markteconomie.

4 Inzichten (en bronnen) voor enkele specifieke materiaaltypen

4.1 Asfalt

In Nederland ligt zo'n 140.000 km verharde wegen, waarvan 120.000 km gemeentewegen, 5.458 km rijkswegen en 7.813 km provinciale wegen (CBS, 2020). Veelgebruikte typen asfalt voor toplagen zijn SMA (Steenmestiek Asfalt, met name toegepast op provinciale wegen en binnen de bebouwde kom) en ZOAB (Zeer Open Asfalt Beton, toegepast op 80% van de rijkswegen. Voor onder- en tussenlagen wordt over het algemeen AC bin/base (*Asphalt Concrete binder/base*) toegepast (TNO, 2022)). Asfalt vormt zeer vlakke oppervlakken die bestand zijn tegen zware belasting, waardoor dit materiaal uitermate geschikt is als ondergrond voor transport over land.

Asfalt wordt ook wel asfaltbeton genoemd, omdat het een samengesteld product is van steenslag, zand en vulstof met eventueel additieven en asfaltgranulaat (gerecycled asfalt), dat met bitumen aan elkaar wordt gekleefd. Asfalt wordt warm aangelegd in meerdere lagen. Asfalt bestaat in ieder geval uit een onder- en toplaag. Met name bij rijkswegen wordt er regelmatig ook een tussenlaag aangelegd. De levensduur van onderlagen en tussenlagen is aanzienlijk langer dan van toplagen. Tijdens vervanging van asfalt, wordt namelijk vaak alleen de toplaag weg gefreesd en vervangen, terwijl de onderlaag behouden blijft.

Voor asfalt lopen momenteel veel circulariteitstrajecten in Nederland, zoals het CHAPLIN-programma (Circular Biobased Delta, 2023). Binnen dit programma werken bedrijven, overheden en kennisinstellingen samen om bitumen te vervangen met biobased varianten zoals lignine. Daarnaast is asfalt door RWS meegenomen als transitiepad binnen de KCI (Strategie Klimaatneutrale en Circulaire Rijksinfraprojecten) trajecten. Zo faciliteert RWS pilots met innovatieve maatregelen voor asfalt, onder andere binnen het Innovatie TestCentrum (Rijkswaterstaat, 2023). Ook heeft RWS de Koploperaanpak duurzame wegverharding (koploperprojecten waarbij RWS investeert in duurzaam asfalt) geïntroduceerd (Rijkswaterstaat, 2022). Vanuit het Asfalt-Impuls programma van CROW (CROW, 2018) is een Asfaltkwaliteitsloket beschikbaar (initiatief om innovatie te versnellen) (CROW, 2020).

Vanuit Europa zijn daarnaast subsidies beschikbaar vanuit LIFE+ (RVO, 2021), waarmee in het verleden bijvoorbeeld het de LE2AP-demonstratieproject (hoogwaardig gerecycled asfalt) is gefinancierd.

4.1.1 Circulaire aandachtspunten en uitdagingen

Asfalt bestaat volledig uit fossiele en minerale grondstoffen die uitgeput kunnen worden. Het bitumen in asfalt is afkomstig uit ruwe aardolie en de minerale grondstoffen worden gewonnen in mijnen en groeven die een grote impact hebben op lokaal landgebruik en biodiversiteit. Voor circulariteit hebben de minerale grondstoffen momenteel niet de grootste aandacht, aangezien er wereldwijd nog ruim voldoende aanbod aan steen, grind en kalksteen is voor beton. Het wereldwijde aanbod van zand dat geschikt is voor beton neemt wel af, maar dit heeft voorlopig weinig effect op de beschikbaarheid van zand in Nederland.

Via de Nederlandse rivieren wordt namelijk nog ruim voldoende zand aangeleverd om aan de nationale vraag te voldoen (CE Delft, 2021a).

Verlengen levensduur asfalt

De levensduur van asfalt is een belangrijk aandachtspunt voor circulariteit. Asfalt wordt intensief gebruikt door vrachtwagens en auto's, waardoor de toplagen slijten. De levensduur van toplagen is daarom ook aanzienlijk lager dan van onderlagen (TNO & Ecochain Technologies, 2022). Afhankelijk van het type weg en de rijstrook, kan de slijtage en daarmee de levensduur van het asfalt op één weg verschillen. Een uitdaging is daarom het verlengen van de levensduur van wegonderdelen en rijstroken die sneller slijten, om te voorkomen dat naastgelegen asfalt met een langere levensduur vroegtijdig wordt vervangen. Hierbij is het ook van belang dat er niet meer (hoogwaardige) materialen en fossiele energie worden verbruikt bij levensduurverlenging, dan bij sloop/nieuwbouw het geval zou zijn.

Sluiten grondstofketen asfalt

Bij het onderhoud, de aanleg en de sloop van nieuw asfalt, is ook het sluiten van grondstofketens een belangrijk aandachtspunt. Asfalt kan niet direct hergebruikt worden, doordat het één continue wegverharding vormt die weg moet worden gefreesd. Wel is asfalt zeer goed te recycleren, op oud teerhoudend asfalt na⁶.

In Nederland wordt asfalt al op grote schaal gerecycled, waarbij het wordt toegepast als fundering onder straatwerk of als grondstof in nieuw asfalt. Zo werd in 2017 82% van al het vrijkomende asfalt gerecycled en wordt in regulier asfalt voor rijkswegen al 30-50% gerecycled asfalt (asfaltgranulaat) toegepast (CE Delft, 2020) (TNO & Ecochain Technologies, 2022). Voor onderlagen is het momenteel mogelijk om tot 97% asfaltgranulaat toe te passen, maar voor deklagen ligt dit percentage nog rond de 50% en is extra bitumen benodigd om de gewenste eigenschappen te behalen (CE Delft, 2020). Om zoveel mogelijk waarde binnen de grondstofketen van asfalt te behouden, is het daarom momenteel vooral een uitdaging op asfaltgranulaat hoogwaardig toe te passen in deklagen zonder de eigenschappen van deze deklagen negatief te beïnvloeden.

Circulaire bindmiddelen asfalt

Naast recycling, is het vervangen van bitumen in asfalt door alternatieve circulaire bindmiddelen ook een aandachtspunt voor de fractie asfalt die niet uit asfaltgranulaat kan worden vervaardigd. Bitumen is een petrochemisch product dat kan worden uitgeput. In vergelijking met de minerale bestanddelen in asfalt, heeft de productie van bitumen bovendien een relatief hoge klimaatimpact.

Een extra uitdaging hierbij is regelgeving, aangezien de huidige normen voor asfalt (zoals de NEN-EN 13108-serie) nog niet volledig afgestemd zijn op de toepassing van alternatieve bindmiddelen. Wel is het mogelijk om alternatieve bindmiddelen te gebruiken, als de functionele eigenschappen van het asfalt conform NEN-EN 12697 aangetoond kunnen worden met een combinatie van praktijk- en laboratoriumtest.

⁶ Teerhoudend asfalt bevat veel PAKs en moet in speciale verbrandingstrommels verbrand worden (CE Delft, 2020).

4.1.2 Toepassen van circulaire principes: mogelijkheden voor ondernemers

Er zijn enkele mogelijkheden en innovaties om de circulariteit van asfalt te verhogen. Hierna brengen we overzichtelijk in kaart welke mogelijkheden nu en in de toekomst beschikbaar zijn voor ondernemers.

Verlengen levensduur asfalt



De levensduur van deklagen is aanzienlijk korter dan van onderlagen (TNO & Ecochain Technologies, 2022). Door de levensduur van deklagen te verhogen, kan de frequentie van wegvervanging verlaagd worden. Dit bespaart grondstoffen, energie en kosten. Voorbeelden van levensduur verlengende maatregelen zijn:

- verjongingsmiddel (synthetisch of bio-based), op verouderde deklagen gespoten om bitumen weer flexibel te maken en scheuren te dichten;
- ZOEB+, waarbij verjongingsmiddel op ZOAB (snelwegen) wordt gecombineerd met een dunne laag asfalt over de originele deklaag, wat de levensduur nog sterker verlengt;
- zelfhelend asfalt, waarbij staalvezels aan asfalt worden toegevoegd die door verwarming het bitumen weer flexibel maken.

Meer informatie over deze maatregelen is te vinden in Paragraaf 4.6 van (CE Delft, 2020).

Sluiten grondstofketen asfalt

Voor de volledige vervanging van asfalt zijn nog geen 100% biobased alternatieve materialen beschikbaar. Wel is het mogelijk wegverharding uit te voeren in (bak)steen of beton, maar net als asfalt zijn deze producten grotendeels geproduceerd uit minerale grondstoffen die uitgeput kunnen raken. Bovendien is de klimaatimpact en MKI van deze alternatieven per m² per jaar niet per definitie lager dan asfalt en zijn met name (bak)stenen niet geschikt voor wegen met hoge snelheden.

Voor meer circulaire wegverharding moet dus ook naar het asfalt zelf gekeken worden. Met name hoogwaardige recycling is hierbij veelbelovend, omdat dit het mogelijk maakt om meer dan 90% gerecycled asfalt toe te passen in deklagen. Bij hoogwaardig recyclen wordt de steen en mastiek (bitumen gemengd met zand en vulstof) in oud asfalt van elkaar gescheiden, wat niet het geval is bij asfaltgranulaat. Hierdoor kunnen de mastiek (met behulp van een verjongingsmiddel) en de stenen direct toegepast worden in nieuwe deklagen (CE Delft, 2020). Tijdens de productie, transport en aanleg van asfalt en diens materialen kan gebruik worden gemaakt van hernieuwbare energie. Asfalt kan daarnaast op lagere temperaturen worden geproduceerd, zodat minder energie benodigd is.

Deze maatregelen zijn in Tabel 2 weergegeven. Meer informatie over deze maatregelen is te vinden in Paragraaf 4.2 van (CE Delft, 2020).

Tabel 4 - Maatregelen om grondstofverbruik te verminderen en/of de grondstofketen van asfalt te sluiten

Maatregel	Milieuvoordeel	Geschikt voor	Aandachtspunten	Circulaire knoppen
Hoogwaardige recycling van deklagen	Meer dan 90% gerecycled asfalt in deklagen mogelijk, verlaagd vraag naar nieuw materiaal	Alle deklagen	De technologie moet nog gevalideerd worden op rijkswegen	Vermindering, hoogwaardige verwerking 
Cellulose uit afvalwaterzuivering als afdruiptremmer*	90% reductie klimaatimpact afdruiptremmer	Asfalt met afdruiptremmer	Massa afdruiptremmer in asfalt relatief laag, de technologie moet nog gevalideerd worden	Substitutie 
Laagtemperatuurasfalt (LTA)	Minder emissies bij asfaltproductie	Alle typen asfalt	Met name in combinatie met hernieuwbare energie en isolatie in de asfaltcentrale effect op klimaatimpact	Vermindering 

* Cellulose uit afvalwaterzuivering is niet opgenomen in Paragraaf 4.2 van (CE Delft, 2020) maar wordt genoemd door (Ecoreview, 2020).

Circulaire bindmiddelen asfalt

Bitumen in asfalt kan worden gemodificeerd of vervangen. Bij bitumenmodificatie worden de materiaaleigenschappen verbeterd, waardoor de levensduur van asfalt verlengd worden en/of kunnen asfaltlagen dunner uitgevoerd worden (Ecoreview, 2020). Ook is het mogelijk om gebruik te maken van alternatieve materialen in bitumen, zoals epoxy of dakplaten. Het basismateriaal blijft bij deze alternatieven echter van fossiele oorsprong. Een meer circulaire optie is daarom vervanging door biobased bitumen. Een voorbeeld hiervan is bitumen op basis van lignine, bijvoorbeeld afkomstig uit stro, olifantsgras, biochar of uit restproducten van de houtverwerkende industrie (Universiteit Utrecht, 2022) (Arcadis, 2022).

Deze en andere maatregelen zijn in Tabel 5 weergegeven. Meer informatie over deze maatregelen is te vinden in Paragraaf 4.2 van (CE Delft, 2020).

Tabel 5 - Alternatieve bindmiddelen voor asfalt

Maatregel	Milieuvoordeel	Geschikt voor	Aandachtspunten	Circulaire knoppen
Biobased bitumen- vervangers.	Volledig biobased, minder klimaatemissies bij productie.	Alle typen asfalt, met name deklagen.	Nog in ontwikkeling en daardoor duur. Nu 20-60% vervanging petrochemisch bitumen haalbaar, in de toekomst mogelijk meer. Nu nog een hogere MKI dan bitumen, doordat nog relatief veel bindmiddel nodig is. Nog niet opgenomen in normen.	Substitutie. 

Maatregel	Milieuvoordeel	Geschikt voor	Aandachtspunten	Circulaire knoppen
Epoxybitumen.	Verlengt levensduur, verlaging temperatuur bij productie.	Alle deklagen.	Vervanging van regulier bitumen, nog niet getoetst. Levensduurverlenging verwacht, maar onzeker. Petrochemisch materiaal.	Substitutie, Levensduurverlenging. 
Bitumen uit dakplaten (dakleer).	Tot 30% minder nieuw bitumen benodigd.	Bijmengen van het bitumen in asfalt.	Materiaal verdwijnt voor gebruik op daken en daar is dus een alternatief nodig. Mogelijk versterkend effect op veroudering en scheurvorming. Petrochemisch materiaal.	Substitutie, hoogwaardige verwerking. 
Plastic in asfalt*.	Minder nieuw bitumen nodig, afvalproduct als input materiaal.	Alle typen asfalt.	Effect op recycling van asfalt is nog niet bekend. Haalt secundair plastic weg uit verpakkingskringloop. Microplastics kunnen ontstaan door slijtage. Grotere verscheidenheid aan mengsels.	Substitutie, hoogwaardige verwerking. 

* Plastic in asfalt is niet opgenomen in Paragraaf 4.2 van (CE Delft, 2020) maar wordt genoemd door (OCW, 2020).

4.2 Beton

Beton is één van de belangrijkste bouwmaterialen ter wereld voor constructies in de GWW en B&U, zo niet de belangrijkste. In Nederland omvat beton ruim 80% van de 20,6 miljoen ton bouwmaterialen (16,6 Mton) die jaarlijks toegepast worden (Circle Economy, 2022). Beton is flexibel en veelzijdig toe te passen, sterk, en kan (mits goed toegepast en onderhouden) decennia of zelfs eeuwen stand houden in een bouwwerk.

Beton is een samengesteld product met als hoofdbestanddelen cement, steenslag en/of grind, zand en water. Daarnaast kunnen kalksteenmeel, poederkoolvliegias en additieven toegevoegd worden aan het mengsel. Als de bestanddelen van beton worden gemengd, ontstaat een chemische reactie tussen het cement en water, waardoor deze na drogen het steenslag/grind en eventuele additieven binden tot beton.

De meest toegepaste vormen van cement zijn Portlandcement (CEM I) en hoogovencement (CEM III). Portlandcement is voor minimaal 90% geproduceerd uit gemalen Portlandcementklinkers die voortkomen uit kalksteen, klei of schalie. Bij de productie van het klinker komt CO₂ vrij bij de chemische reactie. Hoogovencement is geproduceerd uit gemalen hoogovenslakken die als bijproduct vrijkomen tijdens de ijzerproductie, waaraan minimaal 5% gemalen Portlandcementklinkers aan wordt toegevoegd.

Voor beton lopen momenteel veel circulariteitstrajecten bij partijen die deelnemen aan het Betonakkoord (Betonakkoord, 2023). Daarnaast is er vanuit CROW een innovatieloket voor beton beschikbaar (initiatief om innovatie te versnellen) (CROW, 2021). Ook is er voor hergebruik van bruggen (en onderdelen van bruggen) een Nationale Bruggenbank (de Bruggenstichting, 2022), om dit type hergebruik toegankelijker te maken voor marktpartijen en overheden.

4.2.1 Circulaire aandachtspunten en uitdagingen

Beton is een composiet: het is samengesteld uit minerale grondstoffen, die worden gewonnen uit mijnen en groeven. Deze minerale grondstoffen kunnen op termijn worden uitgeput. Lokaal beginnen tekorten aan grind en zand te ontstaan. Met name voor zand dat geschikt is voor beton neemt het aanbod af. Verder draait de winning van minerale grondstoffen uit mijnen en groeven grotendeels op fossiele energie en heeft een negatief effect op lokaal landgebruik en biodiversiteit.

Verlengen levensduur constructies en onderdelen

Als beton toegepast wordt in constructies of onderdelen, is een belangrijk aandachtspunt het behoud van de waarde van dit beton en diens materialen gedurende een zo lang mogelijke periode. Een uitdaging is het verlengen van de technische en functionele levensduur van zowel bestaande als nieuwe constructies, zonder dat hiervoor meer (hoogwaardige) materialen en fossiele energie voor gebruikt worden dan bij sloop/nieuwbouw het geval zou zijn. Ook is standaardisatie een uitdaging, omdat veel betonnen constructies en hun onderdelen uniek zijn. Ten slotte levert de inherent lange levensduur van betonnen constructies ook een uitdaging op voor het verder verlengen van de levensduur, omdat de functionele eisen van constructies tijdens hun levensduur (50-100 jaar) drastisch kunnen veranderen.

Vervangen Portlandcement met alternatieve binders

De grondstofketen kan dus door de lagere kwaliteit van secundair cement niet geheel gesloten worden met materialen uit de betonketen zelf. Daarom is de vervanging van Portlandcement door circulaire alternatieven ook een aandachtspunt. Momenteel worden de afvalstoffen staalslak⁷ (onder andere in hoogovencement) en poederkoolvliegask⁸ (onder andere in Portland-vliegascement) al veelvuldig toegepast in beton als (gedeeltelijke) vervanging van Portlandcement. De vraag naar deze afvalstoffen is nu al bijna gelijk aan het (toekomstige) aanbod en neemt in de toekomst mogelijk af, doordat staalproductie en energieproductie uit kolen dan waarschijnlijk in mindere mate voor zal komen in West-Europa. Hierdoor zijn aanvullende circulaire binders noodzakelijk, bijvoorbeeld op basis van andere afvalstoffen of hernieuwbare materialen. Een extra uitdaging hierbij is regelgeving, aangezien de huidige normen voor cement en constructief beton (zoals NEN-EN 197 en NEN-EN 206) nog niet zijn afgestemd op de toepassing van alternatieve binders die afwijken van hoogovencement en poederkoolvliegask (CE Delft, 2021a).

Sluiten grondstofketen beton

Door grondstofketens binnen de betonindustrie te sluiten, kan de winning van nieuwe materialen voor nieuw beton zoveel mogelijk voorkomen worden. Hergebruik en recycling van oud beton kan hierbij een belangrijke rol spelen. Een uitdaging hierbij is het afstemmen van aanbod van en vraag naar secundaire materialen en onderdelen uit oud beton. Er moet namelijk voorkomen worden dat bestaande betonnen constructies worden gesloopt ten behoeve van hergebruik en recycling, terwijl het verlengen van de levensduur van deze constructies technisch en economisch ook haalbaar zou zijn. Deze uitdaging zal groter worden in de toekomst, aangezien er wordt verwacht dat de vraag naar oud beton zal

⁷ Staalslakken komen vrij bij de productie van ijzer uit erts.

⁸ Poederkoolvliegask komt vrij bij de verbranding van steenkool.

toenemen. Voor de komende jaren wordt nog verwacht dat er een overschot van oud beton zal zijn, ten opzichte van de vraag binnen de betonketen (CE Delft, 2021a).

Een andere uitdaging bij het sluiten van de grondstofketen, is de optimalisatie van waardebehoud binnen deze keten. Zo'n 95% van al het beton dat vrijkomt in bouwwerken wordt momenteel gerecycled (Circle Economy, 2022), maar hiervan wordt slechts 5-10% toegepast binnen de betonindustrie (CE Delft, 2021a). Het overgrote deel van het betongranulaat wordt nog toegepast in funderingslagen in de wegenbouw, waardoor veel waarde verloren gaat. Beton wordt gerecycled tot granulaat, wat dient ter vervanging van grind/steenslag in beton (CE Delft, 2021a). Hiermee vervangt betongranulaat relatief laagwaardige materialen. Ook is door toepassing van betongranulaat meer water nodig in het betonmengsel en daardoor meer cement, vanwege de zuigende werking van het betongranulaat (Betoniek, 2022). Een hoogwaardigere toepassing van oud beton is mogelijk, bijvoorbeeld door zand, grind en cement uit oud beton van elkaar te scheiden via slim breken.

Een laatste uitdaging bij het sluiten van de grondstofketen, is de inherente kwaliteit en losmaakbaarheid van oud beton. De kwaliteit van beton dat decennia lang blootgesteld is aan weer en wind kan namelijk afnemen, terwijl eisen en normen voor beton(constructies) met de tijd juist strenger worden. Ook zijn oude betonconstructies over het algemeen niet losmaakbaar ontworpen, waardoor onderdelen niet altijd zonder schade vergaard kunnen worden. Noodzakelijke hercertificering voor hergebruik is daarom niet altijd mogelijk. Daarnaast zijn niet alle materialen die uit oud beton teruggewonnen (gerecycled) kunnen worden van dezelfde kwaliteit als de materialen uit primaire productie. Zo is de kwaliteit van gerecycled cement uit oud beton bijvoorbeeld lager dan van Portland- of hoogoven-cement, waardoor momenteel wordt ingeschat dat maximaal 15-20% van de cementvraag in beton vervangen kan worden met secundair cement (CE Delft, 2021d).

4.2.2 Toepassen van circulaire principes: mogelijkheden voor ondernemers

Er zijn veel mogelijkheden en innovaties om de circulariteit van beton te verhogen. Hierna brengen we overzichtelijk in kaart welke mogelijkheden nu en in de toekomst beschikbaar zijn voor ondernemers.

Verlengen levensduur constructies en onderdelen



De levensduur van bestaande betonconstructies en -onderdelen kan verlengd worden door renovatie, versterking en bescherming. Preventief onderhoud is noodzakelijk om de technische levensduur te verlengen. Tests voor het controleren van de technische staat van betonproducten moeten (door)ontwikkeld worden. Zowel om de onderhoudsbehoefte te testen als de mogelijkheid om onderdelen te hergebruiken. Bij nieuwe constructies kan ingespeeld worden op het verlengen van de levensduur van de constructie en onderdelen door losmaakbaar en gestandaardiseerd te ontwerpen. Hierdoor is het mogelijk om tijdens de levensduur van de constructie onderdelen te vervangen en om na de levensduur van de constructie onderdelen te hergebruiken in andere constructies. Hierbij is het wel van belang om te voorkomen dat een circulair ontwerp om meer (hoogwaardige) materialen vraagt dan bij een regulier ontwerp het geval zou zijn (Transitieteam Advies Circulaire Economie, 2022a) (Ellen MacArthur Foundation, 2021) (Circle Economy, 2022).

Sluiten grondstofketen beton

Er zijn diverse mogelijkheden om de circulariteit van bouwwerken met beton te verhogen. Op de eerste plaats kan bij nieuwe constructies gekeken worden of beton vervangen kan worden met hernieuwbare alternatieven, zoals houtbouw (zie Paragraaf 4.4). Hiermee worden alle minerale (uitputbare) materialen vervangen door hernieuwbaar materiaal en wordt de uitstoot van CO₂ door de productie van materialen zoals Portlandcement voorkomen.

Wanneer het noodzakelijk is beton toe te passen, kan gekeken worden naar maatregelen om grondstofverbruik te verminderen en/of de grondstofketen van beton te sluiten. Dit kan zowel bij de ontwikkeling van nieuwe constructies, als aan het einde van de levensduur van bestaande constructies. Voorbeelden van maatregelen om de grondstofketen van beton te sluiten zijn:

Tabel 6 - Maatregelen om grondstofverbruik te verminderen en/of de grondstofketen van beton te sluiten

Maatregel	Circulaire knop
Hergebruik van oude constructie onderdelen.	Levensduurverlenging 
Demontabel bouwen, om toekomstig hergebruik van onderdelen te faciliteren.	
Hoogwaardig recycleren van oud beton tot grind, zand en cement.	Hoogwaardige verwerking 
Grindvervangende aggregaten die worden geproduceerd door een carbonatiereactie van CO ₂ en AEC bodem- of vliegas.	Substitutie 
Bijmengen vezels van biomassa in niet-constructief beton, om CO ₂ op te slaan.	
Alternatieve wapening, zoals basaltvezelstaven die staal vervangen en de cementvraag verlagen.	Vermindering 
Modulerend koelen en warmen, om cementvraag voor snelle uitharding te verlagen.	

Meer informatie over deze maatregelen is te vinden in Paragraaf 8.4 en Bijlagen C en D van (CE Delft, 2021d)⁹.

Vervangen Portlandcement met alternatieve binders



Er worden momenteel binders ontwikkeld die geen Portlandcement bevatten. Met name geopolymers lijken hierbij veelbelovend, aangezien deze potentieel in zowel niet-constructief als constructief beton kunnen worden toegepast. Deze alternatieve bindmiddelen kunnen in veel gevallen grotendeels van reststromen geproduceerd worden, waardoor ze een aanzienlijk lagere klimaatimpact kunnen hebben dan Portlandcement en hoogovenscement. Vooral geopolymers die reststromen toepassen die nu nog weinig hoogwaardige toepassingen kennen zijn interessant, zoals geopolymers op basis van LD-staalslakken of eventueel van opgewerkte AEC bodemas (CE Delft, 2021a) (CE Delft, 2021d).

⁹ Bijmengen van biogene vezels in beton is niet opgenomen in Paragraaf 4.2 van (CE Delft, 2021d), maar wordt genoemd door (Arcadis, 2022).

Voorbeelden van alternatieve binders zijn:

- geopolymeren (zie beschrijving op vorige pagina;
- cement uit CSA-beliet (calcium sulfoalumaat-beliet) klinkers, dat tijdens de productie minder CO₂-uitstoot dan Portlandcementklinkers;
- gehydrateerd calciumsilicaat, dat tijdens de productie minder CO₂-uitstoot dan Portlandcement;
- binders die worden geproduceerd door een carbonatiereactie van CO₂ en wollastoniet of andere mineralen;
- binders die worden geproduceerd door een carbonatiereactie van CO₂ en LD-staalslakken of AEC-bodemas¹⁰.

Meer informatie over deze en andere alternatieve binders is te vinden in Paragraaf 8.4 en Bijlagen C en D van (CE Delft, 2021d). Alternatieve binders kunnen op korte termijn nog niet volledig aan de vraag naar Portlandcement voldoen. Verduurzaming van het productieproces van Portlandcement kan daarom ook bijdragen aan het verhogen van de circulariteit en het verlagen van de klimaatimpact van dit cement. Zo kunnen fossiele brandstoffen vervangen worden door hernieuwbare energie en kan CO₂ dat vrijkomt uit het materiaal opgevangen worden (CE Delft, 2021d).

4.3 Elektronica en elektronische apparatuur

Elektronische apparatuur is tegenwoordig overal te vinden in huishoudens, bij bedrijven en bij de overheid. Zo maakt bijna 90% van alle inwoners in Nederland dagelijks gebruik van het internet via smartphones, computers, smart televisies en andere apparaten (CBS Statline, 2022a).

Elektronische apparaten zijn complexe samengestelde producten die veel materialen bevatten, waaronder kunststoffen, metalen en kritieke materialen. Elektronische apparatuur voor Nederlandse consumenten wordt veelal buiten Nederland en Europa geproduceerd, in landen zoals China en Vietnam. Het ontwerp en de verkoop vindt ook vaak plaats in landen zoals Nederland, Duitsland en de Verenigde Staten. Elektronische apparaten zijn zodanig onderdeel van een sterk internationale productieketen.

4.3.1 Circulaire aandachtspunten en uitdagingen

De milieu-impact van elektronische materialen is relatief hoog, doordat deze veel zeldzame en kritieke materialen bevatten die energie-intensief zijn om te produceren. Ook het productieproces van elektronica zelf is veelal energie- en grondstof-intensief.

De wereldwijde productie van elektronica voor consumenten, de industrie en de energietransitie is daarnaast in groeiende mate afhankelijk van kritieke materialen die veelal maar door een klein aantal landen worden gewonnen. Hierdoor staat de leveringszekerheid van deze materialen steeds meer onder druk (Europese Commissie, 2017) (Circulaire Maakindustrie, 2019). Het behoud van grondstoffen en het verhogen van de circulariteit is daarom bij elektronica van groot belang.

¹⁰ LD-slakken worden momenteel laagwaardig toegepast als steenbestorting voor bodem- en oeverbescherming. AEC-bodemas en -vliegas worden momenteel laagwaardig toegepast als navulling van mijnen. AEC-bodemas en -vliegas mag sinds 2020 alleen in beton worden toegepast als het is opgewerkt tot AEC-granulaat volgens CUR-Aanbeveling 116 en is gecertificeerd volgens de beoordelingsrichtlijn 2507 'AEC-granulaten als toeslagmateriaal voor beton' (Rijkswaterstaat, 2019) (Rijkswaterstaat, 2020).

De levensduur van elektronica is relatief kort is in vergelijking met andere productgroepen. De verwachte levensduur van elektronica verschilt per apparaat en wordt ingeschat op zo'n twee jaar voor goedkope apparaten tot acht jaar voor apparaten van hoge kwaliteit (UNETO-VNI, 2020). De levensduur van elektronica is overigens wel vaak langer dan producenten en verkopers claimen (Consumentenbond, 2021), zeker als er goed voor apparaten wordt gezorgd en reparaties uitgevoerd worden.

De levensduur van elektronica wordt zowel door producenten als door gebruikers beïnvloed. Producenten willen zoveel mogelijk producten verkopen, wat te zien is in het niet aanbieden van software-updates en afneembare repareerbaarheid. Dit heeft een negatief effect op de levensduur (Natuur & Milieu, 2016). Consumenten letten bij de aanschaf en het gebruik van elektronische apparaten vooral op de technische prestaties en prijs, niet op duurzaamheid en circulariteit (CBS Statline, 2022b). Als het product trager wordt, software niet meer geüpdatet wordt of een onderdeel kapot is, wordt het hele product al snel vervangen (Natuur & Milieu, 2016). De oude elektronica belandt vaak in lades of dozen thuis in plaats van dat het wordt aangeboden voor hergebruik of recycling (CBS Statline, 2022b).

Het komt voor dat elektronica na inzameling illegaal getransporteerd wordt naar landen buiten de EU waar recycling onder erbarmelijke omstandigheden voor mens en milieu plaatsvindt.

4.3.2 Toepassen van circulaire principes: mogelijkheden voor ondernemers

Refuse: geen onnodige aanschaf



Allereerst is het belangrijk dat consumenten en bedrijven geen onnodige elektronica aanschaffen. Wees kritisch of een nieuwe telefoon, laptop, smartwatch, echt nodig is, of dat het gaat om een luxe-aanschaf. Als aanschaf noodzakelijk is, kies dan voor een aanbieder die zich inzet voor de onderstaande circulaire punten.

Langere levensduur



Elektronica raakt vaak onbruikbaar doordat de software niet meer wordt geactualiseerd of ondersteund, terwijl het product technisch nog in orde is. Er is een EU Ecodesign richtlijn in ontwikkeling voor mobiele telefoons en *tablets* waarin is opgenomen dat ten minste drie jaar na marktintroducties softwareupdates moeten worden aangeboden (European Commission, 2020). Het zou goed zijn als bedrijven lange(re) garantietermijnen gaan hanteren. Bedrijven kunnen zich hierin onderscheiden. Let bij de aanschaf op of bedrijven garantie geven.

Circulair ontwerp



Met name het ontwerpproces is een aandachtspunt bij elektronica, omdat hier zo'n 80% van de totale milieu-impact wordt bepaald (PACE, 2019). Voor circulaire elektronica moet bij de ontwerpfase goed nagedacht worden over de mogelijkheden voor reparatie, hergebruik en recycling (PACE, 2019).

Elektronica moet **losmaakbaar** ontworpen worden, zodat reparatie (EPRS, 2022), hergebruik en recycling goed mogelijk is (PACE, 2019). Onderdelen moeten daarbij los van elkaar kunnen worden vervangen, zodat het defect van één onderdeel niet tot vervanging van het volledige apparaat zorgt. Met name voor onderdelen die (gemiddeld genomen) een korte

levensduur hebben ten opzichte van het elektronische apparaat is dit van belang (Rijksoverheid, lopend). Een losmaakbaar ontwerp draagt ook bij aan de hergebruik en recycling van elektronische apparaten na het einde van hun levensduur, doordat onderdelen en materialen gemakkelijker van elkaar te scheiden zijn.

Bij een losmaakbaar ontwerp hoort ook de **beschikbaarheid en verkoop van reserve-onderdelen** voor consumenten. Dit werkt circulariteit met name in de hand als de onderdelen (ver) na de verwachte levensduur van elektronische apparaten nog beschikbaar zijn. Bij elektronica die in grote hoeveelheden worden verkocht aan bedrijven kan dit ook onderdeel zijn van een onderhoudscontract (Rijksoverheid, lopend).

Standaardisering van onderdelen kan de beschikbaarheid van reserveonderdelen faciliteren, omdat hiermee dezelfde onderdelen geschikt zijn voor (vergelijkbare) apparaten uit het verleden, heden en toekomst. De EU heeft een wet opgesteld die telefoonoplading met USB-C verplicht stelt vanaf 2024. Door het ook mogelijk te maken om vervangende onderdelen te voorzien van nieuwe technologische ontwikkelingen, kan een elektronisch apparaat bovendien zelfs beter worden na vervanging van een onderdeel, wat de levensduur van het gehele apparaat ten goede komt. Veel grote en/of duurzame producenten van elektronische apparaten bieden al reserve-onderdelen aan.

Circulair materiaalgebruik



Bij het ontwerp van elektronica speelt materiaalgebruik ook een grote rol voor de circulariteit van elektronische apparaten. Door elektronische apparaten te ontwerpen met zoveel mogelijk gerecyclede materialen en zo weinig mogelijk kritieke, zeldzame, of gevaarlijke stoffen (Rijksoverheid, lopend) (PACE, 2019) (Safe by Design, 2023) wordt nieuwe ('primaire') productie van deze materialen voorkomen. Met name voor kunststoffen zijn er veel circulaire mogelijkheden (zie ook Paragraaf 4.5), voor bijvoorbeeld de behuizing van elektronische apparaten.

Kritieke materialen worden ook veel gerecycled, maar het aanbod gerecyclede kritieke materialen kan momenteel nog niet aan de vraag voor nieuw materiaal voldoen (Circulaire Maakindustrie, 2019). Het best is om het gebruik van zeldzame en kritieke materialen helemaal te voorkomen, door te kijken naar minder zeldzame alternatieven die momenteel in ontwikkeling zijn. Zo wordt bijvoorbeeld verwacht dat natrium-ionbatterijen binnen enkele jaren competitief kunnen worden met lithium-ionbatterijen, waarmee het zeldzame lithium vervangen kan worden door het veel voorkomende (en goedkopere) natrium (NP RES & CE Delft, 2022).

Tekstbox 5 - Niet circulair, wel belangrijk : sociaal verantwoord en duurzaam gewonnen metalen en mineralen

Kies voor materialen uit de mijnbouw met *conflict-free* certificaat en certificaten voor verantwoorde productie. Het aanbod aan dit soort certificaten moet groter worden.

Hergebruik en recycling



Elektronica bevat kritieke, zeldzame en soms gevaarlijke materialen. Als consumenten en bedrijven zich van (verouderde) elektronische apparaten of onderdelen ontdoen, moeten deze daarom zo veel mogelijk verzameld worden voor reparatie, hergebruik van onderdelen en/of recycling van materialen. Er moet worden voorkomen dat elektronica illegaal getransporteerd wordt naar ontwikkelende landen buiten Europa (PACE, 2019), of dat elektronica ongebruikt in dozen en op zolders terecht komt. Idealiter worden apparaten en onderdelen hergebruikt, recycling moet pas plaatsvinden als het elektronische apparaat of onderdeel kapot is.

Voor elektronica in gebruik door bedrijven kan daarvoor een systeem van inzameling, sortering, hergebruik en recycling worden opgezet door de verkoper van deze elektronica, wat bijvoorbeeld contractueel vastgelegd kan worden (Rijksoverheid, lopend). Voor elektronica in gebruik door consumenten zamelt de Stichting Organisatie Producentenverantwoordelijkheid E-waste Nederland (OPEN), namens alle producenten van elektrische apparaten in Nederland, elektronisch afval in via het Wecycle-programma bij supermarkten en bouwmarkten (Stichting OPEN, 2023). Organisaties zoals Stibat verzorgen daarnaast de inzameling, transport en recycling van niet-industriële batterijen voor bedrijven (Stibat, 2023).

Als elektronische apparaten of onderdelen hergebruikt worden is het ook belangrijk dat eventuele data gewist wordt, zodat de apparaten of onderdelen weer als nieuw aangeboden kunnen worden (Rijksoverheid, lopend). Als hergebruik niet mogelijk is, dan moet bij recycling het terugwinnen van kritieke materialen zoveel mogelijk worden geoptimaliseerd.

Materialenpaspoort

Het opstellen van een materialenpaspoort kan bijdragen aan bovenstaand systeem voor hergebruik en recycling. Een materialenpaspoort geeft de verwerker inzicht in de materialen in het apparaat, zodat het recycleproces daarop kan worden afgestemd (Rijksoverheid, lopend) (PACE, 2019).

Kennisuitwisseling

Het belang van circulariteit bij elektronica en de mogelijkheden om hieraan bij te dragen zijn niet bij alle gebruikers van elektronica bekend. Om circulariteit voor deze productgroep te optimaliseren, is kennisuitwisseling daarom ook van belang. Dit kan bijvoorbeeld via marketing, of via overzichtelijke gebruiksaanwijzingen (PACE, 2019) (Natuur & Milieu, 2016).

Producenten, verkopers en inkopers van elektronica kunnen hun klanten/gebruikers/collega's inzicht geven in de mogelijkheden die er zijn voor reparatie, hergebruik en recycling van hun elektronica. Zo kunnen gebruikers gewezen worden op de verkoop van losse onderdelen, op het terugnamebeleid van bedrijven en op inleverpunten van Wecycle. Dit kan gebruikers van elektronica ook geld besparen, bijvoorbeeld doordat elektronica langer meegaat dankzij vervanging van onderdelen, of omdat verouderde elektronica verkocht kan worden.

Ook over het belang van circulariteit bij elektronica kan informatie gedeeld worden, bijvoorbeeld over de aanwezigheid van gevaarlijke, zeldzame en kritieke materialen. Kennis over de afhankelijkheid van externe landen voor de materiaalproductie kan ook bijdragen aan het vergroten van het gevoel van belang.

4.3.3 Ontwikkelingen in Nederland en de EU

Er is momenteel vanuit de politiek in de EU en Nederland veel aandacht voor circulariteit van elektronica. Zo werkt de Nederlandse overheid aan het vergroten van de leveringszekerheid van kritieke materialen en aan verduurzaming van deze grondstoffenketens. Daarbij ligt de nadruk in groeiende mate op de grondstoffenketens die geraakt worden door de energietransitie en naar de milieu- en klimaatrisico's in deze ketens (Staatssecretaris van I&W, 2022). Momenteel wordt binnen de EU ook gewerkt aan de 'European Critical Raw Materials Act', die dit jaar verwacht wordt. Hierin zal worden beschreven hoe de EU de beschikbaarheid aan kritieke materialen kan vergroten en diversifiëren (Europese Commissie, 2023).

Binnen de Europese Unie zijn al afspraken gemaakt over de inzameling en behandeling van elektronisch afval in de WEEE-richtlijn. Hierbij wordt gefocust op het verminderen van afval en het verhogen van hergebruik en recycling (European Commission, 2012). Verder wordt momenteel onder andere gewerkt aan een nieuwe EU-Eco-design verordening, waarin meer aandacht is voor circulariteit van elektronische apparaten (European Commission, 2022e).

Specifieke aandacht is er voor batterijen. Zo moeten batterijen van alle nieuwe smartphones vanaf 2024 in de EU door de gebruiker van de telefoon zelf vervangen kunnen worden (Europees Parlement, 2022). Daarnaast bevat de nieuwe EU-Batterijenverordening diverse andere verplichtingen die de circulariteit bevorderen, waarbij wordt ingegaan op reparbaarheid, inzameling, afvalverwerking en gebruik van gerecycled materiaal (Raad van de Europese Unie, 2023).

4.4 Hout

Hout is het meest toegepaste hernieuwbaar materiaal voor producten en wint de laatste jaren aan populariteit. Hout (en andere biomassa) heeft veel potentie om bij te dragen aan een klimaatneutrale en circulaire economie, omdat het CO₂ opneemt tijdens de groei. Het koolstof in houten producten is vastgelegde CO₂. Het overgrote deel van het hout in Nederland komt van import, met name uit Europa.

Van de totale hoeveelheid bouwmaterialen die jaarlijks toegepast worden, is het aandeel hout echter nog maar 1-2% (NIBE Research bv., 2019), (Arcadis, 2022) (Circle Economy, 2022). In de woningbouw ligt het wat hoger, op 16%. Er is dus nog veel potentie tot uitbreiding: met primair hout, de inzet van resthout en van andere houtige reststromen. Hout wordt daarnaast in minder grote volumes gebruikt voor meubels en wordt ook in veel andere gebruiksvoorwerpen toegepast, zoals pallets, speelgoed en sportmaterialen.

Het Economisch Instituut voor de Bouw (EIB) heeft een schatting gemaakt dat tot 2030 een derde van het benodigde bouw materiaal kan worden vervuld met grondstoffen uit reststromen (NIBE Research bv., 2019). Behoud van afvalhout als grondstof kan dus een belangrijke rol spelen. De uitdaging is hierbij om hout zo lang mogelijk beschikbaar te houden en gerecyclede houten producten met lange levensduur te creëren.

4.4.1 Circulaire aandachtspunten en uitdagingen

Beschikbaarheid van hout versus de vraag naar hout

Van elke hernieuwbare grondstof, dus ook van hout, is jaarlijks een beperkte hoeveelheid duurzaam te kappen/oogsten. Een aandachtspunt is daarom het duurzaam beschikbare aanbod van hout, waarbij een uitdaging ligt in het afstemmen van de productie van hout op wat binnen de grenzen van land -en bosbouw per jaar op duurzame wijze geleverd kan worden (NIBE Research bv., 2019). Ontbossing draagt niet bij aan een circulaire economie en geeft veel milieuproblemen zoals klimaatverandering (minder opname en opslag CO₂), verlaagde gezondheid van ecosystemen, verminderde bescherming tegen aardverschuivingen en extreme regenval en in tropische regio's zelfs verlies van regenval.

Met duurzaam bosbeheer kan houtproductie bijdragen aan een gezond ecosysteem en bescherming van bossen, ook in tropische gebieden (FSC, 2022) (NIBE Research bv., 2019) (NIBE Research bv., 2020) (Centrum Hout, 2020). Er wordt echter verwacht dat de vraag naar hout sterker toeneemt dan duurzaam kan worden geleverd. Zo is ingeschat dat het aanbod van duurzaam hout in Europa de komende jaren met 50% kan groeien, terwijl de vraag naar hout zal verdubbelen of zelfs verdriedubbelen (NIBE Research bv., 2019). Voor de komende jaren wordt nog verwacht dat deze groei geleidelijk zal inzetten, waardoor er in 2030 nog geen leveranciersproblemen worden verwacht (NIBE Research bv., 2020). Toch is het nu al een belangrijke uitdaging om het toekomstige aanbod van hout te verhogen. Het duurt namelijk decennia voordat nieuwe plantages gerooid kunnen worden (CE Delft, 2021c).

Bindmiddelen en lak

In plaatmateriaal worden synthetische kunstharsen en lijmen gebruikt als bindmiddel. Deze bindmiddelen zijn op basis van fossiele grondstoffen, zoals formaldehyde, polyvinyl-acetaat of epoxy. Deze stoffen hebben een hoge milieu-impact vanwege het vrijkomen van vluchtige stoffen naar lucht bij toepassing en gebruik. Ook lak, verf, houtlijm en formaldehyde- en melaminelagen zijn doorgaans op basis van fossiele grondstoffen. Hoewel recycling van hout en spaanplaat tot spaanplaat mogelijk is, kunnen toegevoegde stoffen recycling hinderen.

Productie met duurzame energie

Bij de productieprocessen wordt nog grotendeels gebruik gemaakt van fossiele energie. Denk aan bomenkap met diesel-aangedreven machines en gebruik van (deels) fossiele elektriciteit voor houtverwerkende machines.

Verbranding van hout: concurrerende toepassing

De opgeslagen CO₂ komt weer vrij als hout wordt verbrand. Voor het tegengaan van het broeikasgaseffect is het beter hout niet te verbranden, maar opgeslagen te houden. Op dit moment heeft hout voor producten concurrentie van hout voor energiewinning. Houtpellets, snoeihout en gebruikt hout (secundair) worden via langlopende contracten in bio-energie-centrales verbrand.



Praktische knelpunten

In de praktijk zijn er nog wat knelpunten voor het grootschalig toepassen van hout, met name in de bouw, op het gebied van kennis over de toepassing van hout in de bouw, bewijslast en productiecapaciteit van houten (bouw)delen in Nederland. Met de komst van een fabriek voor de productie van kruislaaghout¹¹ in Nederland is dat laatste knelpunt al een stuk verkleind. Zie voor een overzicht van meer knelpunten (CE Delft, 2021c).

4.4.2 Toepassen van circulaire principes: mogelijkheden voor ondernemers

Hout als vervanger voor fossiele grondstoffen en grondstoffen met hoge milieu-impact.



Ontwerp en herontwerp producten uit hout, waarbij hout een ander materiaal vervangt. Het best is als het hout in zijn nieuwe toepassing een fossiel of vervuilend materiaal vervangt. Houtskeletbouw kan goedkoper zijn dan traditionele zware bouwmethoden, mits al vroeg in het proces voor houtbouw is gekozen (PIANOo, 2021).

Hout heeft als hernieuwbaar materiaal veel potentie om bij te dragen aan een circulaire economie. Met name binnen de bouw kan het potentieel veel minerale materialen vervangen, zoals beton, steenachtige materialen en metalen. Daarnaast kan het bij meubilair en andere gebruiksvoorwerpen metalen en plastics vervangen. De potentie van biobased materialen zoals hout voor de bouw in detail is beschreven door NIBE Research bv., (2019) en Arcadis, (2022). Daarnaast zijn de mogelijkheden voor en milieu-impacts van hergebruik en recycling van gebruikt hout uitgebreid in kaart gebracht door (CE Delft, 2022).

Innovaties en productie



De groeiende behoefte naar houtbouw is een kans voor aannemers om hun kennis en expertise te vergroten en deze (nu nog) niche te bedienen, en voor producenten om productie-locaties te starten waar hout tot producten wordt verwerkt.

Voor het verlijmen van hout zijn duurzame bindmiddelen uit hernieuwbare bronnen hard nodig. Huidige bindmiddelen zijn doorgaans op basis van fossiele chemie. Onderzoek is ondernomen (Cargill, 2021) en er komen langzaam maar zeker oplossingen op de markt (Stora Enso, 2023). De potentiële afzetmarkt voor duurzame bindmiddelen is enorm, aangezien ze worden gebruikt in alle (meubel)panelen, voor kruislaaghout en in producten op basis van versnipperd en geperst hout.

Behoud van hout als grondstof

Vanuit klimaat oogpunt is het belangrijk om verbranding zo lang mogelijk uit te stellen en liefst geheel te voorkomen. Hout is goed te repareren en, mits schoon, goed te recyclen. Onderstaande maatregelen geven een overzicht van maatregelen en recycleroutes voor het beschikbaar houden van hout als grondstof voor producten. Toelichting van deze routes is te vinden in rapporten van CE Delft (CE Delft, 2022) en (CE Delft, 2023).

¹¹ Kruislaaghout of *cross laminated timber* is constructief hout (platen of balken) opgebouwd uit meerdere lagen verlijmd (vuren)hout.

Tabel 7 - Maatregelen om vrijkomend hout als grondstof toe te passen

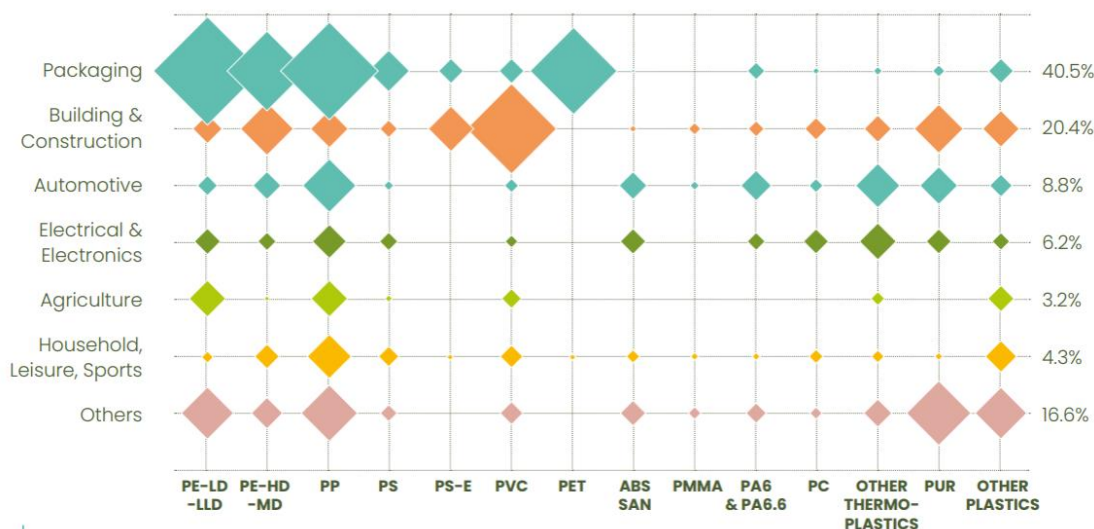
Maatregel	Milieuvoordeel	Aandachtspunt	Circulaire knoppen
Reparatie van hout	Verlenging levensduur met minimale ingreep.	Meest hoogwaardige maatregel.	Levensduurverlenging 
Hergebruik van houten onderdelen	Vermeden productie door volledige vervanging van onderdelen.	Hoogwaardige maatregel, behoud kwaliteit van het hout. Alleen geschikt voor onbeschadigd hout.	Hoogwaardige verwerking 
Recycling als massief hout, zoals CLT	Vermeden productie door volledige vervanging van onderdelen.	Hoogwaardige maatregel, geschikt voor onbeschadigd en licht beschadigd hout. Een deel van het materiaal gaat verloren tijdens verwerking (schaven/zagen).	Hoogwaardige verwerking 
Mechanisch recycleren van verlijmd of geperst B-hout	Vermeden productie door vervanging van materiaal.	Commercieel beschikbaar, maar nog op kleine schaal. Hout wordt met additieven gemengd. Met name buiten Nederland.	Hoogwaardige verwerking 
Mechanisch recycleren van massief A/B-hout	Vermeden productie door vervanging van materiaal.	Laagwaardige recycling, massief hout gaat verloren en wordt met additieven gemengd. Met name buiten Nederland.	Hoogwaardige verwerking 
Bio-raffinage: Chemisch recycleren van massief A/B hout	Vermeden productie van lignine en suikers uit primaire grondstof-productie.	Niet geschikt voor vervuild hout (spijkers, verf, etc.). Hout gaat verloren als grondstof, levert grondstoffen op die ook uit andere biomassa kan worden teruggewonnen.	Hoogwaardige verwerking, substitutie 

Recycling van hout draagt alleen bij aan circulariteit en het verlagen van klimaatimpact als gerecycled houten producten langdurig toegepast kunnen worden. Eenmalige gebruiksvoorwerpen worden vrijwel direct na recycling alsnog verbrand. Door toevoeging van additieven en de energiebehoefte van recycling verhoogt dit de klimaatimpact ten opzichte van direct verbranden en gaat het hout alsnog snel verloren voor verdere recycling. Dat is dus ongewenst in een circulaire economie.

4.5 Kunststof

Kunststof is een zeer veelzijdige materialengroep. Kunststof (en rubber) wordt gebruikt voor specialistische toepassingen, ontworpen op basis van de eigenschappen van specifieke kunststoffen. Vaak worden additieven toegevoegd, bijvoorbeeld vlamvertragers en weekmakers voor plasticiteit. Met relatief kleine hoeveelheid materiaal wordt veel toegevoegde waarde gerealiseerd in producten. Enkele voorbeelden van producten zijn folies en zakken, verpakkingen onder meer voor voedsel, producten in de gezondheidszorg, fietsbanden, buizen en profielen in de bouw, waterproof en rekbare kleding, complexe behuizingen van consumentenproducten, omhulsel van snoeren en kabels, lichtgewicht autocasco's, etc.

Figuur 4 - Toepassing van primair kunststof per sector in Europa



SOURCE: Plastics Europe Market Research Group (PEMRG) and Conversio Market & Strategy GmbH.
Demand estimations do not include recycled plastics.

Bron: (Plastics Europe, 2021).

Als we naar alle kunststoffen op de markt kijken, dan is het gemiddelde gehalte recycalaat slechts 9%. Minder dan 1% is op basis van hernieuwbare grondstoffen. De klimaatimpact van kunststofgebruik kan op korte termijn (2030) met 50% omlaag middels meer recycling, meer hernieuwbaar en via minder gebruik. Om dat te realiseren is strenger overheidsbeleid nodig en actie vanuit de industrie (CE Delft, 2021b).

4.5.1 Circulaire aandachtspunten en uitdagingen

Kunststoffen hebben enkele grote milieukundige nadelen, waardoor primaire (fossiele) kunststoffen geen plek hebben in een klimaatneutrale en circulaire economie:

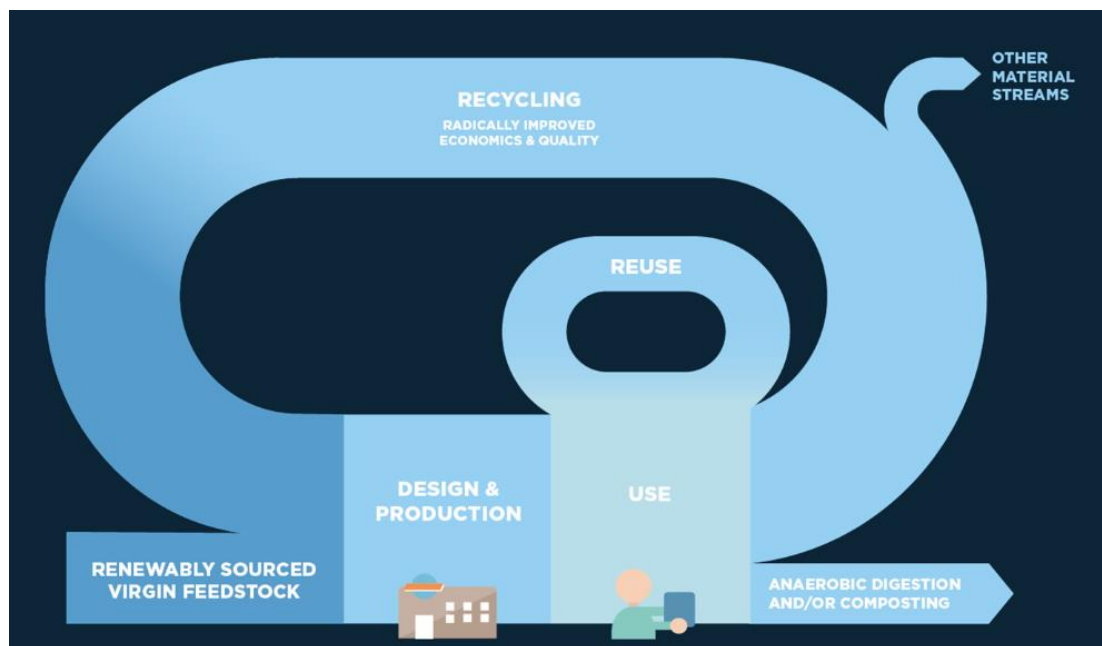
- Conventioneel kunststof is gemaakt uit fossiele bronnen.
- Verbranding leidt tot CO₂-uitstoot (en moet dus vermeden worden in een circulaire economie).
- Kunststoffen zijn meestal niet bioafbreekbaar¹², wat leidt tot ecologische schade als het op straat, land of in water belandt. Vanwege de schadelijke effecten van zwerfafval en microplastics moet lekkage naar milieu worden voorkomen.
- Additieven kunnen schadelijk zijn voor menselijke gezondheid en ecologie. Ook kunnen zij recyclebaarheid beïnvloeden, omdat er vele verschillende kunststofvarianten ontstaan.
- Er is overconsumptie van kunststof, wat een groot ecologisch probleem vormt vanwege de bovengenoemde punten. Kunststof wordt veel gebruikt voor wegwerpartikelen en producten die we eigenlijk niet nodig hebben.

¹² Van al het gebruikte plastic is 99% PET, PP of PE van fossiele herkomst en niet afbreekbaar (Milieu Centraal, 2022). Ook bio-PET, bio-PP en bio-PE zijn niet afbreekbaar, want deze hebben dezelfde technische eigenschappen als hun fossiele variant.

4.5.2 Toepassen van circulaire principes: mogelijkheden voor ondernemers

Kunststof is bij uitstek een materialengroep waarbij alle circulaire principes tezamen nodig zijn om te komen tot een duurzame omgang met kunststoffen. Alleen met verandering op alle vlakken is mogelijk om kunststoffen nog te gebruiken in een circulaire economie. Om daadwerkelijk tot een circulaire economie te komen zal een normerend overheidsbeleid nodig zijn.

Figuur 5 - Kunststoffen in een circulaire economie



Bron: (Ellen MacArthur Foundation, 2022a).

1. Refuse: alleen gebruiken wat nodig is



Een groot deel van het klimaat- en vervuilingprobleem dat door kunststof wordt veroorzaakt is op te lossen als we minder consumeren en zeer kritisch zijn bij de aanschaf van nieuwe producten. Er worden nu grote hoeveelheden kunststof gebruikt voor wegwerp-producten, verpakkingen en (luxe)producten die we eigenlijk niet nodig hebben. De wegwerp- en luxeproducten vallen onder 'overige', huishoudens en elektronica uit Figuur 4 Een grootschaliger omslag van *mindset* is daarvoor nodig. We beginnen strenger beleid van de overheid te zien: enkele wegwerpproducten mogen inmiddels niet meer uit kunststof worden geproduceerd. Het is denkbaar dat dit zich uit gaat breiden naar andere niet-noodzakelijke en vervuilende producten.

2. Geen plastic: herontwerp uit ander materiaal



Ontwerpers: (her)ontwerp producten uit ander materiaal dan kunststof. Onderzoek hoe een functie of behoefte worden vervuld zonder het gebruik van kunststof. Gebruik kunststoffen alleen nog maar gebruiken in toepassingen waar dat echt nodig is. Dit is een noodzakelijke uitdaging om ons totale kunststofgebruik te verminderen.

3. Alleen als kunststof echt nodig is: inzet van kunststofrecyclaat en bioplastics



In een circulaire economie blijven kunststoffen beschikbaar: er treedt geen verbranding en stort meer op. Er verdwijnt geen kunststof naar het milieu: al het geproduceerde kunststof wordt hergebruikt en gerecycled. Daarnaast wordt kunststof geproduceerd uit hernieuwbare bronnen (bioplastics) om uitval bij recycling op te vangen en eventueel om in een grotere vraag te voorzien dan er aan recyclaat beschikbaar is. Belangrijk is dat deze kunststoffen met duurzame energie worden geproduceerd en zelf ook recyclebaar zijn. We zien een ontwikkeling waarbij een aandeel recyclaat en/of hernieuwbaar kunststof verplicht wordt gesteld.

Door het lage gewicht scoort de inzet van kunststof qua milieu-impact vaak redelijk goed in vergelijking met alternatieven. In de bouw en auto-industrie kunnen gerecyclede en hernieuwbare kunststoffen als alternatief dienen en milieukundig gunstig zijn ten opzichte van staal en beton.

Vanwege beperkte beschikbaarheid zal er sturing nodig zijn vanuit de overheid over waar we welke kunststoffen in willen zetten, daar waar het meeste milieuvoordeel optreedt.

4. Lange levensduur: reparatie en herbruikbaarheid



- ontwerp toegespitst op reparatie en losmaakbaarheid van kunststof onderdelen;
- ontwikkeling van normen/technologieën om de kwaliteit van producten te beoordelen voor hergebruik;
- ontwikkeling van een tweedehands markt voor (bouw)materialen;
- retoursystemen, eventueel inclusief statiegeld op producten.

5. Bestaande kunststoffen hoogwaardig behouden



Ontwikkel innovaties voor hoogwaardig recyclaat. Verbeter de recyclebaarheid voor composieten. Ontwerp met bulkplastics waar mogelijk. *“The complex and multimaterial design of plastic products typically prohibits recycling, which is why accounting for recyclability and simplicity in product design can greatly increase recycling rates.”* (Rosenboom et al., 2022)

- Track en trace op productniveau, niet alleen voor bulplastics, maar ook met informatie over de gebruikte additieven. *“Plastic and bioplastic recycling is generally complicated by the presence of additives in almost every finished plastic product. An ‘ingredients table’ (such as those found on food packaging or shampoo bottles) could detail the composition of a plastic product and, therefore, inform of its suitability for local recycling options.”* (Rosenboom et al., 2022).
- Grootschalige recycling zal ook zwerfafval verminderen, met name van consumentenproducten.
- Verhogen van kwaliteit van de kunststoffen bij inzameling, sortering en recycling. De rijksoverheid heeft actielijnen opgesteld gericht op verpakkingen, landbouwplastics en kunststoffen in de bouw. Zoals: tweedehandsmarkt voor producten, verhogen van inzamelkwaliteit, sorteer- en recyclingrendement, voorkomen en opruimen van ondergronds plastic.
- Chemische recycling biedt perspectief voor hoogwaardige inzet van vervuilde kunststoffen, ook in voedseltoepassingen. Daarbij gaat het zowel om additieven in kunststoffen zelf en om bijvoorbeeld vervuiling van buitenaf die met mechanische recycling

niet verwijderd kunnen worden. Mechanische recycling blijft de voorkeursroute voor niet-vervuilde kunststofstromen.

6. Geen toevoegingen van gevaarlijke chemicaliën

In een circulaire economie worden er geen zorgwekkende stoffen in kunststoffen verwerkt die een gevaar kunnen opleveren voor de volksgezondheid en het ecosysteem. Daarnaast worden er geen stoffen toegevoegd die de recyclebaarheid van kunststoffen beperken. Voor alle soorten toevoegingen - onder andere weekmakers, brandvertragers, stabilisatoren, pigmenten - bestaan niet-schadelijke alternatieven (Fantke, 2021). Zie Paragraaf 2.3 voor de richtlijnen van Safe by Design (Safe by Design, 2023) en links naar bronnen die behulpzaam zijn voor ontwerpen van producten zonder schadelijke chemicaliën.

Bronnen

De zes genoemde punten sluiten aan bij diverse bronnen over kunststoffen en circulaire economie. Deze bronnen bevatten meer informatie en zijn nuttig om kennis van te nemen:

- Transitieteam Kunststoffen : ‘Adviesroute naar een circulaire economie voor kunststoffen’. Dit document bevat doelen en te nemen stappen (actielijnen) gericht op kunststof verpakkingen, landbouwplastics en kunststoffen in de bouw. (Transitieteam Advies Circulaire Economie, 2022b).
- Rapport: Kunststoffen in de bouw (NIBE Research bv., 2022).
- Tips voor bedrijven omtrent circulaire toepassing van kunststoffen (The Sustainability Institute, 2020).
- Rapport van de EU kunststofbranche over circulariteit (Plastics Europe, 2022).
- Visie voor kunststoffen in een circulaire economie, inclusief actiepunten (Ellen MacArthur Foundation, 2022a).
- Het nut van mechanische en chemische recycling van kunststoffen (EPEA, 2018).

4.5.3 Aanvullende informatie over biobased, afbreekbaarheid en gerecycled kunststof

Biobased kunststoffen en biologische afbreekbaarheid

Biobased kunststoffen, ofwel kunststoffen van hernieuwbare oorsprong, hebben vergelijkbare eigenschappen als fossiele kunststoffen. Het KIDV schrijft: “De termen biobased en hernieuwbaar zeggen iets over de oorsprong van het materiaal. De term biologisch afbreekbaar zegt iets over de afvalfase van het materiaal. (...) Biobased verpakkingsmaterialen kunnen biologisch afbreekbaar zijn, maar dit is niet altijd het geval.” (KIDV, 2020)

Biologische afbreekbaarheid

Als kunststof in een product wordt toegepast op een manier waarbij het leidt tot microplastics, dan is er geen circulair systeem. Denk aan zwerfafval, textielvezels die breken en via wassen in water (oppervlaktewater, zee) terecht komen, aan slijtende autobanden, slijtende verflagen en korrels op kunstgrasvelden. Helaas zijn bio-afbreekbare kunststoffen geen oplossing voor de ‘*plastic soup*’. De meeste composteerbare kunststoffen breken alleen af in industriële composteerinstallaties en zijn niet afbreekbaar in de natuur (KIDV, 2018). Het kunnen ontstaan van microplastics is bij alle soorten kunststof een aandachtspunt.

Recycling wordt daarom ook bij biologisch afbreekbare biobased kunststoffen als meest wenselijke vorm van einde levensduurverwerking gezien.

“Biodegradation is no ‘silver bullet’ to curb plastic pollution and typically ranks as the least desired fate of bioplastics, especially in anaerobic landfill scenarios without gas capture. Industrial anaerobic digestion offers a potential route for CH₄ and energy recovery. True and fast biodegradation without the release of toxic chemicals may prove useful in settings in which there are no other forms of recycling, but more research on the impact of microplastics as intermediates is required.” (Rosenboom et al., 2022)

Recycling van bioplastics

De vermenging van verschillende plastics en nieuwe bioplastics kan dit moment recycling van alle kunststofsoorten wel lastiger maken:

“Recycling of bioplastics is widely regarded as the most environmentally friendly EOL option and better than simple composting. However, bioplastics recycling streams are less established than those for traditional plastics. Sorting of mixed plastic waste becomes even more demanding with novel (non-drop-in) bioplastics by increasing its heterogeneity, which raises concerns of higher rejection rates.” (Rosenboom et al., 2022)

Gerecycled kunststof versus biobased kunststof

Gerecyclede kunststoffen en biobased kunststoffen kunnen beide duurzaam worden geproduceerd en kunnen gebruikt worden in een circulaire economie. Beide zijn ook hard nodig in een circulaire economie, dus wij pleiten voor een slimme combinatie van beide typen voor onze behoefte aan producten. Of de een duurzamer is dan de ander hangt af van of duurzame energie is gebruikt voor productie, bij primaire¹³ biobased materialen of het duurzaam is geteeld, of er geen concurrentie is met voedselgewassen, en wat de recycle-mogelijkheden zijn van het product.

Gerecycled kunststof versus andersoortige hernieuwbare grondstoffen (zoals hout)

Beide zijn geschikt voor gebruik in een circulaire economie. Bij vergelijking tussen twee verschillende typen grondstoffen hangt het ervan af welke de meest duurzame keuze is:

- Of duurzame energie is gebruikt. Voor beide materialen geldt: gebruik van duurzame energie en brandstof bij productie, transport, toepassing en recycling is belangrijk voor een lage footprint. Als daar verschillen inzitten tussen de twee grondstoffen, dan is de grondstof die met duurzame energie geproduceerd en vervoerd is waarschijnlijk te prefereren.
- Of het virgin hout gecertificeerd is (niet-gecertificeerd kan niet gezien worden als duurzaam).
- Hoe het materiaal wordt toegepast. Als de één wel in een circulair systeem wordt toegepast en de ander niet (bijvoorbeeld geen mogelijkheid tot hoogwaardige recycling) dan is het circulaire systeem te prefereren.
- Of het plastic in zijn toepassing leidt tot microplastics. Als dit zo is, is er geen circulair systeem en is gebruik van (bioafbreekbaar) hout te prefereren.

¹³ Bij secundair biobased materiaal zijn de aandachtspunten niet van toepassing. Secundair biobased materiaal zijn reststromen uit beheer en onderhoud (riet, gras) en uit de industrie (bijvoorbeeld uit de aardappel-verwerkende industrie).



4.6 Staal

Staal is een legering van ijzer (Fe), koolstof en elementen als chroom, mangaan, nikkel en molybdeen. De eigenschappen van het staal zijn afhankelijk van de exacte samenstelling. Staal wordt voornamelijk ingezet in (consumenten)producten, machines en materieel, de bouw en transportmiddelen. Veruit het grootste deel (meer dan 90%) van het staal wordt ingezet in producten met een medium tot lange gebruiksduur (Worldsteel Association, 2018).

Als het gaat om staal (en andere metalen) in een circulaire economie wordt vaak nadruk gelegd op de recyclebaarheid. Vanwege de magnetische eigenschap is staal goed te scheiden van andere, niet-magnetische, grondstoffen. De industrie noemt staal een permanent materiaal, fundamenteel voor een circulaire economie (Worldsteel Association, 2018). Eenmaal geproduceerd zijn producten uit staal doorgaans goed recyclebaar.

Wereldwijd is 70% van al het gebruikte staal van primaire oorsprong (ijzererts), ondanks de lange totale levensduur en de goede recyclemogelijkheden. 30% betreft secundair staal. De vraag is dus (veel) groter dan het aanbod aan secundair staal (IEA, 2022a). Een van de oorzaken is dat staal mede wordt gebruikt in producten en bouwwerken met een lange levensduur, zoals bruggen en gebouwen.

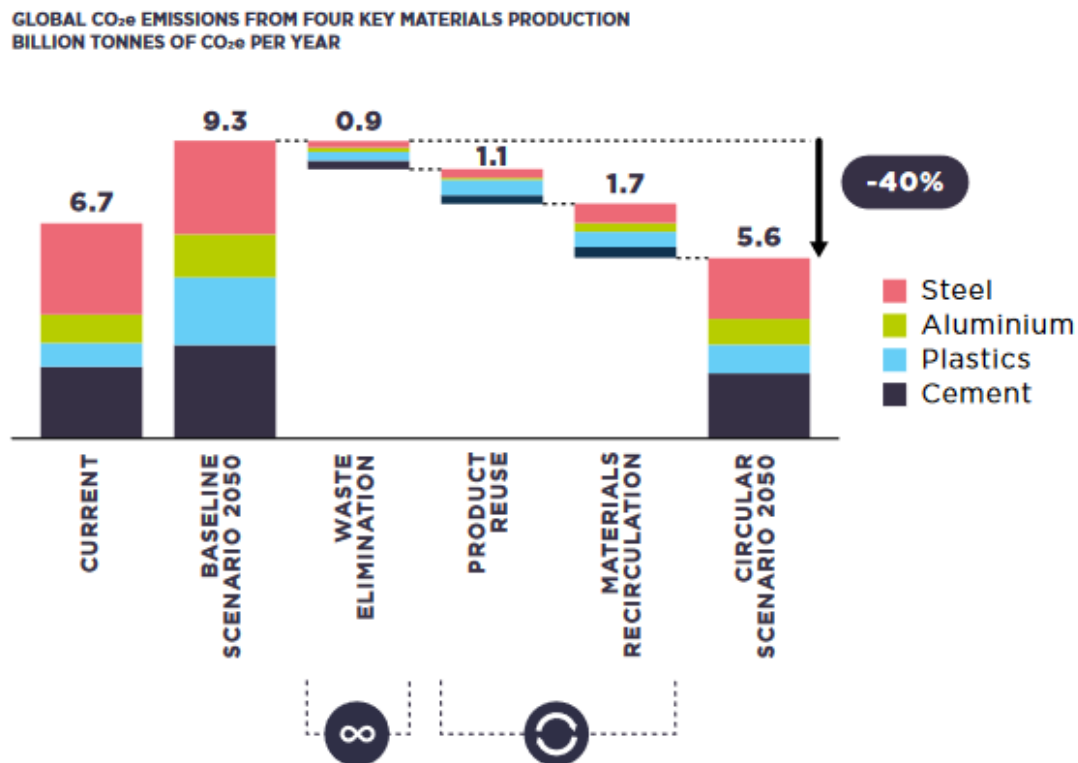
4.6.1 Circulaire aandachtspunten en duurzame uitdagingen

Conventioneel primair staal wordt in hoogovens geproduceerd uit ijzererts en koolstof, met als tussenstap ruwijzer. De processen vinden plaats bij hoge temperatuur en zijn energie-intensief (ArcelorMittal, 2015). Het koolstof wordt doorgaans geproduceerd uit steenkool, door het op hoge temperatuur te stoken. Zodoende is de staalindustrie momenteel verantwoordelijk voor ongeveer 5% van de CO₂-emissies in de EU en 7% wereldwijd (IEA, 2020)). Daarnaast komen er zware metalen en fijnstof vrij.

Figuur 6, afkomstig van de Ellen MacArthur Foundation, laat zien dat ook met hergebruik en recycling er nog steeds behoorlijk wat CO₂-uitstoot zal zijn. Dat heeft twee redenen. Ten eerste wordt in het scenario nog een deel primair staal gebruikt, met alle CO₂-uitstoot door productie en de voorketen (mijnbouw, ertswinning) van dien. Ten tweede is het recycleproces van staal nog niet klimaatneutraal omdat het veel elektriciteit verbruikt, vaak nog fossiel.

Secundair staal kan in vrijwel alle toepassingen weer worden ingezet. Het helpt als sortering plaatsvindt op basis van de samenstelling van het staal. Want zo kan recycling (smelten) van staal op basis van kwaliteit en type gebeuren en kunnen zoveel mogelijk typen primair staal vervangen (Ellen MacArthur Foundation, 2019). Op dit moment is er echter een groter aanbod aan schroot met relatief veel legeringselementen erin (lage puurheid). Voor hoogtechnologische toepassingen verkiezen bedrijven vaak primair staal met laag koolstofgehalte, of een specifieke samenstelling. Het aanbod aan gerecycleerd staal van dit soort kwaliteiten blijft achter. Het gerecyclede schroot wordt bijgemengd met primair staal om tot specifieke samenstellingen te komen. Het is de verwachting dat dit een belangrijke factor is voor het stagneren van de *recycling rate* van staal (S. Dworak, 2022).

Figuur 6 - Wereldwijde CO₂-emissie bij diverse scenario's



Source: Adapted from Material Economics analysis for the Energy Transition Commission, Mission Possible - *Reaching net-zero carbon emissions from harder-to-abate sectors by mid-century* (2018).

Bron: (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

Staal dat in buitentoepassingen wordt gebruikt (machines, auto's, hekwerken, GWW) heeft een bescherm laag nodig om te voorkomen dat het staal wegroest. Het stalen product wordt verzinkt en/of gecoat. Ook deze bescherm lagen hebben milieu-impact en circulaire uitdagingen, zoals zinkuitloging en microplastics. De coating vormt geen probleem bij recycling, mits er geen toxische stoffen in de coating zijn gebruikt (kwik, lood).

Vaak bestaat een product deels uit gerecycled staal en deels uit primair staal. IEA heeft een duurzaam scenario opgesteld voor 2050 waarbij de verwachting is dat dan nog steeds ruim 40% primair staal wordt gebruikt, maar op basis van duurzame productie en met CO₂-afvang, -opslag en -gebruik (CCUS).

Zolang de vraag naar staal groter is dan het aanbod aan secundair staal dan is het belangrijk dat de mijnbouw en staalproductie verduurzaamt. Daarbij gaat het om het toepassen van staalproductietechnieken waarbij geen steenkool nodig is als feedstock, en het gebruik van hernieuwbare energiebronnen bij mijnbouw en staalproductie.

4.6.2 Toepassen van circulaire principes: mogelijkheden voor ondernemers

Als we toe willen naar een circulaire economie waarbij geen of zo min mogelijk primair staal wordt geproduceerd, dan is inzet van alle circulaire principes nodig. Hergebruik en recycling gebeurt vaak ook al: de systemen bestaan en recycletechnieken zijn doorontwikkeld. De uitdaging ligt in nog bredere toepassing van de circulaire principes.

Vermindering



- het voorkomen van productie kan door gedeeld gebruik van producten, zoals auto's en bouw materieel, via verhuur en deelplatforms (*product as a service*);
- ontwerp efficiënt: beperk de benodigde hoeveelheid staal in het product.

Substitutie



- Ontwerp of herontwerp: overweeg of staal noodzakelijk is of dat het product kan ontworpen met een alternatief (duurzaam geproduceerd) materiaal. In de auto-industrie zien we een verschuiving van staal naar lichtgewicht materialen (aluminium, kunststof, carbon). Die substitutie komt voort uit brandstofbesparing en leidt qua materiaalgebruik niet altijd tot een duurzamer(er) systeem.
- Staal is zelf ook een materiaal dat ter vervanging van andere (primaire) grondstoffen kan dienen. Staalconstructies in de bouw maken grote ruimtes mogelijk met relatief weinig materiaal. Zeker als met secundair staal wordt gewerkt kan dat een duurzamer oplossing zijn.

Levensduurverlenging



- Producten met een lange levensduur lenen zich bij uitstek voor *refurbishing* en hergebruik. Denk aan stalen consumentenproducten die via Marktplaats worden verhandeld (kasten, meubelonderstellen, trappen), aan machines die worden doorverkocht en aan bouwproducten die worden gedemonteerd en opgeknapt voor hergebruik zoals damwanden en geleiderails.
- Er is nog steeds een trend naar eenmalige consumentenproducten zoals blikjes, fusten en vaten. Statiegeld en retoursystemen helpen om het staal uit dit soort producten langer beschikbaar te houden in hun oorspronkelijke toepassing.

Hoogwaardige verwerking



- Een wereldwijde uitdaging is om zorgen dat het volume secundair staal stijgt, door al het vrijkomend staal beschikbaar te maken voor recycling. Stalen consumentenproducten belanden buiten Europa nog op stortplaatsen. Scheepswrakken, boorplatforms, machines, materieel en (stalen) bouwwerken worden soms afgedankt en verlaten maar niet ontmanteld en gerecycled. Hoewel er handmatige onofficiële recycling plaatsvindt - mensen die staal zoeken en verkopen - kunnen de staal *recycling rates* nog verder omhoog.
- Technieken zijn in ontwikkeling om hoge kwaliteit staal te verkrijgen uit gemengde stroom secundair staal.
“A new process for electrochemically removing carbon from steel during recycling to create ultra-pure low carbon steel has been developed in Canada. The researchers believe that the technology required could potentially be integrated into secondary

steel mills, allowing the recycling of high-carbon steel into purer, higher-grade metal more in demand for hi-tech industries.” (Chemistry world, 2021)

- Sortering en verwerking kan verbeterd worden: per legeringstype, zodat verschillende staaltypen (roestvaststaal, laaggelegeerdstaal) gescheiden blijven en gerecycled kunnen worden.

4.6.3 Ontwikkelingen verduurzaming van staalproductie en mijnbouw

Ontwikkelingen duurzaam geproduceerd staal

De voornaamste verduurzamingsroute is productie met waterstof (H₂) in plaats van steenkool. Het betreft een volledig ander productieproces, aangezien bij conventionele staalproductie steenkool niet alleen wordt gebruikt als energiedrager, maar ook als grondstof. Deze techniek is in Europa in ontwikkeling bij diverse staalproducenten. Verder kijkt men naar elektrificatie, het gebruik van biomassa en CO₂-afvang, -opslag en -gebruik (CCUS). Energie-infrastructuur en energiekosten zijn belangrijke factoren bij de opschaling en toepassing van de technieken (IEA, 2020). Vergroening zal veel vragen van energie-infrastructuur (Schneider, 2022).

Verduurzaming ertswinning, ook voor legeringscomponenten

Verduurzaming in de mijnindustrie is een grote uitdaging en staat nog in de kinderschoenen. Er is echter groeiende aandacht voor omdat voor de energietransitie veel metalen en mineralen nodig zijn. Verduurzaming van ertswinning richt zich op:

- verduurzaming van het brandstofgebruik, het gebruik van elektrisch materieel of op (groene) waterstof;
- verantwoord landgebruik en het tegengaan van biodiversiteitsverlies en;
- het opwerken van mijnafval - slib, residuen, steenachtig materiaal - tot nuttige grondstoffen die toepasbaar zijn bij productieprocessen of in producten. (IEA, 2022b), (IEA, 2022b)

In landen waar duurzame mijnbouw belangrijk wordt gevonden (Zweden, Groenland) is er echter ook maatschappelijke weerstand tegen het uitbreiden van mijnactiviteit vanwege de aantasting van het landschap (Linköping University, n.d.), (The New York Times, 2021).

4.7 Textiel

Textiel wordt gebruikt in kleding, meubels huishoudtextiel, maar ook in producten zoals medische hulpmiddelen, beschermingsmiddelen, gebouwen en voertuigen. De eigenschappen van textiel die waardevol zijn voor gebruikers zijn functionaliteit en prestaties van het materiaal, maar esthetiek en comfort spelen in veel gevallen ook een rol.

De wereldwijde textielproductie is tussen 2000 en 2015 bijna verdubbeld (Ellen MacArthur Foundation, 2017) en neemt nog steeds toe. De verwachting is dat de consumptie van kleding en schoeisel tegen 2030 zal toenemen van 62 miljoen ton nu tot 102 miljoen ton in 2030 (EEA, 2019). Textiel wordt nu voor het grootste deel ingevoerd naar de EU.

4.7.1 Circulaire aandachtspunten

Textiel heeft in de EU momenteel de op drie na grootste impact op het milieu en de klimaatverandering en de op twee na grootste impact op water en landgebruik (EEA, 2022). Hierbij gaat het om de milieu- en klimaatimpact van de hele productieketen - binnen en buiten de EU.

Elk jaar wordt in de EU ongeveer 5,8 miljoen ton textiel - zo'n 11 kg per persoon - weggegooid (EEA, 2019) en elke seconde wordt ergens ter wereld een vrachtwagenlading textiel gestort of verbrand (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Het grootste deel hiervan in de EU is kleding; deze maakt (81%) van de EU-wijde textielconsumptie uit (JRC, 2021).

In de EU-strategie voor duurzaam en circulair textiel (European Commission, 2022c) staat de gewenste situatie voor textielproducten opgesomd:

- textielproducten gaan lang mee;
- kunnen worden gerecycled;
- zijn grotendeels gemaakt van gerecyclede vezels;
- bevatten geen schadelijke stoffen;
- bij de productie van textiel worden de sociale rechten en het milieu gerespecteerd;
- *fast fashion* is uit de mode geraakt;
- er bestaat een groot aanbod van economisch rendabele hergebruiks- en reparatiediensten;
- producenten nemen verantwoordelijkheid voor de hele waardeketen van hun producten, ook als die afval worden;
- er ontstaat een florerend ecosysteem van circulair textiel;
- er is voldoende capaciteit voor innovatieve '*fibre-to-fibre*'-recycling;
- verbranding en het storten van textiel wordt tot een minimum beperkt.

4.7.2 Toepassen van circulaire principes: mogelijkheden voor ondernemers

Wij zien vier belangrijkste acties om te komen naar circulair en duurzaam textiel gebruik:

1. Uitbannen van overconsumptie: verminder de vraag naar textiel.
2. Maximale recyclebaarheid nastreven: design for recycling.
3. Inzet van gerecycled materiaal.
4. Fossiele vezels terugdringen: meer inzet van en grotere diversiteit aan hernieuwbare vezels.

1. Uitbannen van overconsumptie: verminder de vraag naar textiel



'Fast fashion' is de belangrijkste aandrijver van niet-duurzame patronen van overproductie en overconsumptie in de textielketen (KplusV, 2020). Mensen hebben (veel) meer kleding dan ze nodig hebben. *Fast fashion* verleidt consumenten tot het blijven kopen van goedkope kleding. Deze kleding is van lage kwaliteit en wordt snel geproduceerd in reactie op de laatste trends. Daardoor worden kledingstukken steeds korter gebruikt voordat ze worden weggegooid. Ook leidt *fast fashion* tot vernietiging van onverkocht textiel. Het is een fenomeen in de textielmarkt en -keten dat door diverse mechanismen in stand wordt gehouden (KplusV onderzoek).

Het tegengaan van Fast fashion grijpt aan bij drie circulaire knoppen. Voor consumenten biedt Milieu Centraal een lijst met tips (Milieu Centraal, 2020). Voor ondernemers en overheden noemen we hieronder enkele maatregelen, per knop, die genomen kunnen worden.

Vermindering



- Aantrekkelijke alternatieven ontwikkelen en aanbieden, zoals leaseconstructies voor kleding. Na enkele keer dragen, of als je bent uitgekeken op het kledingstuk, lever je het weer in, waarna het door iemand anders kan worden gedragen. Hoge kwaliteit en kortere gebruikstijd per eigenaar worden gecombineerd. Het vermindert de hoeveelheid kleding die bij mensen in de kast hangt, en de totale hoeveelheid textiel, terwijl de consument steeds iets nieuws kan uitkiezen.
- Voorkom onnodige doekproductie door digitaal ontwerp en productie op aanvraag, in plaats van dat fabrieken doeken produceren die vervolgens niet worden gekocht door de mode-industrie. In Nederland bestaat een bedrijf dat hieraan werkt.
- Invoeren van eerlijke prijs voor textiel, waarin zowel sociale als milieukundige aspecten zijn inbegrepen, zodat ‘veel voor weinig’ wordt ontmoedigd.

Levensduurverlenging



- Levensduur verlengen door hoge kwaliteit aan te bieden.
- Levensduur verlengen door gebruikte kleding in omloop te houden. Bijvoorbeeld inzameling en verkoop makkelijker maken. Tweedehandshandel is alleen zinvol als hierdoor in totaal ook minder nieuwe kleding in omloop komt. Als kleding alleen sneller ingeruild wordt voor een ander (tweedehands)kledingstuk wordt alleen de rotatie sneller en niet de hoeveelheid gekochte en weggegooid kleding lager.
- Reparatie toegankelijk en aantrekkelijk maken. We denken aan: zelf maken en repareren aanmoedigen (*DIY*) zodat mensen een grotere band krijgen met hun textiel, reparatieservice).
- Garantie bij winkels.
- Ondergrens instellen op kwaliteit van textiel voor bepaalde toepassingen, op basis van de *Martindale* test, een gestandaardiseerde meetmethode voor slijtage van doek.

Hoogwaardige recycling



- vernietiging van onverkocht textiel verbieden;
- statiegeld op textiel, waarbij bij inzameling naar de vezelsamenstelling wordt gekeken.

2. Maximale recyclebaarheid en design for recycling

Combinaties van vezels en coatings vermijden verhoogt recyclebaarheid

Om een product optimaal recyclebaar te maken is het belangrijk om combinaties van vezels te vermijden. Gebruik alleen stapelvezels als daar er een recyclebaar bestaat. Het combineren van vezels en het toepassen van milieuschadelijke stoffen houdt recycling van textiel tegen, omdat het met gemengde materialen moeilijker is om een goede kwaliteit secundair textiel te produceren. De technologieën hiervoor zijn namelijk ingewikkelder en daarmee duurder dan voor materialen die uit één vezel bestaan en geen gevaarlijke stoffen bevatten. Daarnaast is het voor recycletechnieken vaak essentieel dat een batch textiel die wordt gerecycled een uniforme of specifieke samenstelling heeft (bijvoorbeeld niet meer dan 10% PET in een batch te recyclen katoen). Dit maakt veel textiel ongeschikt voor recycling of vergt een grote inspanning in het proces van verzamelen en sorteren.

Welke veranderingen kunnen ondernemers helpen bewerkstelligen?

Voor een meer circulaire keten is nodig dat meer textiel uit eenvoudige vezels bestaat zonder toevoeging van milieubelastende stoffen, en dat technologieën worden ontwikkeld die recycling technisch en economisch mogelijk maken. Ondernemers in de keten kunnen het volgende doen:

- In de productontwerpfase kiezen voor textiel zonder stapelvezels, coatings, bedrukking en milieubelastende stoffen. Zo vergroot je de vraag naar zulk textiel. Dit is makkelijker te realiseren voor textiel dat geen kleding is, zoals beddengoed, gordijnen, tafellakens, spandoeken en vlaggen.
- Textiel ontwikkelen en produceren dat vergelijkbare eigenschappen heeft als die van textiel met stapelvezels, maar alleen uit één materiaal bestaat.
- Als textielproducent gevaarlijke stoffen vermijden. Deze stoffen staan in een lijst in EU Inkoopcriteria (European Commission, 2017).
- Oplossingen ontwikkelen voor problemen die recycling nu technisch moeilijk maken. Een recente innovatie is thermisch oplosbaar garen om het ontmantelen van kleding te mechaniseren (Innovation Origins, 2023).
- Als merk samenwerken met organisaties die textiel innoveren op het gebied van recyclebaarheid om hun technologie te laten groeien.
- Als (grote) retailer samenwerkingen tot stand brengen tussen merken en innoverende organisaties.
- Als afvalverwerker/recycler samenwerken met start-ups (en andere organisaties) die recyclingtechnologie ontwikkelen en innoveren.

Deze handelingsperspectieven sluiten aan op de doelen die kunnen worden gesteld in de Uitgebreide Producentenverantwoordelijkheid (UPV) voor textiel die nu in ontwikkeling is (Rebel & Tauw, 2021). Ze kunnen invulling geven aan de verantwoordelijkheid om meer recycling te realiseren en afvalverwerking, waar producenten volgens de UPV verantwoordelijk voor worden gesteld, goedkoper maken.

3. Inzet van hoogwaardige gerecyclede vezels om de vraag naar primair materiaal te verlagen



Op dit moment is er nog een hoge vraag naar primaire vezels en knelt het bij de vraag naar gerecyclede vezels om een volwassen markt te krijgen. Er kan nog veel meer onbruikbaar textiel gerecycled worden.

Welke veranderingen kunnen ondernemers helpen bewerkstelligen?



Wakker de vraag naar secundaire textielvezels aan door:

- Als textielproducent in te zetten op het verwerken van secundaire textielvezels bij het maken van nieuw textiel.
- Als producent van textielproducten (bijvoorbeeld kleding) textiel te gebruiken van gerecycled *post-consumer* materiaal. Het is belangrijk dat het daadwerkelijk gebruikt materiaal betreft. Gerecycled polyester kan beter in andere producten dan textiel worden ingezet, omdat het nadeel van microvezels blijft bestaan.

4. Natuurlijke vezels en kunstmatige vezels van hernieuwbare materialen

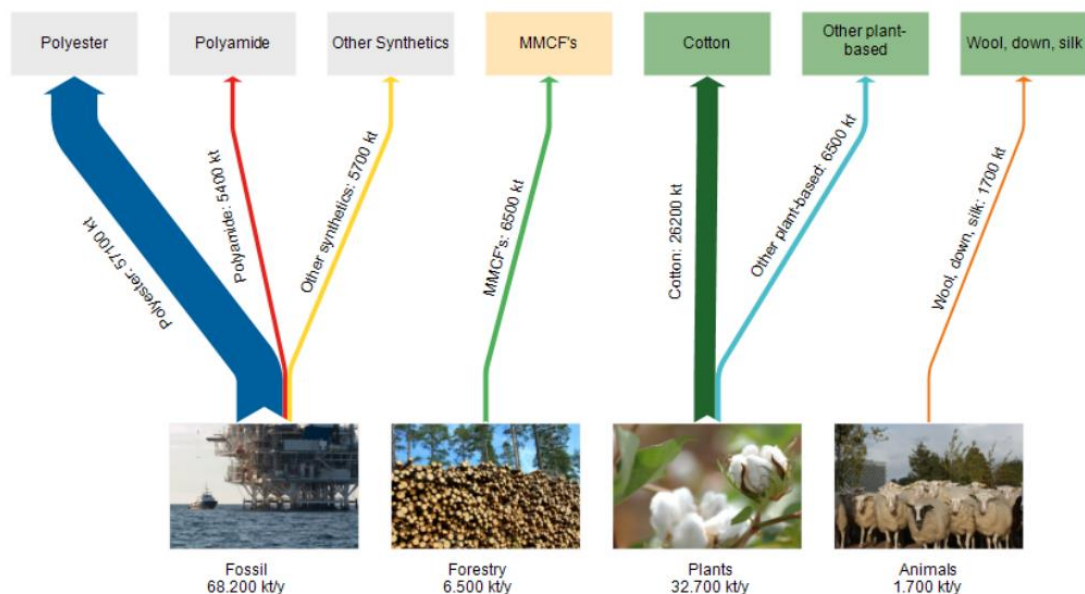


Natuurlijke vezels zijn hernieuwbaar en passen daarom, in de basis, in een circulaire economie. Synthetische vezels op basis van aardolie zijn geen hernieuwbaar materiaal en veroorzaken in hun afvalstadium klimaatimpact als ze verbrand worden (of op de vuilstort langzaam afbreken). Ook komen door het uitwassen en slijten van synthetische vezels microplastics in het milieu terecht. In een circulaire economie worden synthetische vezels - polyester, elastaan, nylon -- dus zo veel mogelijk vermeden. De twee opties zijn:

1. Vervangen door een ander type vezel van hernieuwbare oorsprong.
2. Vervangen door kunststoffen uit hernieuwbare bron. Hierbij blijft het probleem van microplastics echter wel bestaan.

Het rapport '*Textiles for sustainable fashion*' biedt een gedetailleerd overzicht van alle mogelijke hernieuwbare vezels en een overzicht van vervangende bronnen voor polyester, elastaan en nylon (Harmsen et al., 2021). Figuur 7 toont dat met name polyester zeer veel gebruikt wordt. In een circulaire economie voor textiel ligt een grote uitdaging in het vervangen van polyester door andere materialen.

Figuur 7 - Wereldwijde vezelproductie in 2020 en relatie tussen grondstoffen (onder) en vezelproducten (boven)



Bron figuur: (Harmsen et al., 2022).

NB: MMCF staat voor *man-made cellulosic fibres*.

Overzicht hernieuwbare vezels

Katoen is de meest bekende en gebruikte natuurlijke vezel (zie donkergroene pijl in Figuur 7). Katoen is een voorbeeld van een hernieuwbaar materiaal waarbij milieukundige problemen spelen omdat deze in grote monoculturen worden verbouwd. Dit gebeurt vaak in gebieden die gevoelig zijn voor de uitputting van zoetwaterreserves en verschraving en degradatie van bodem en landschap. Daarnaast veroorzaakt pesticidegebruik toxische effecten en biodiversiteitsverlies.

Andere gangbare gewassen die vezels opleveren zijn vlas (linnen), hennep en sisal (touw). Deze zijn minder gangbaar en worden minder gebruikt dan katoen. Deze gewassen hebben milieu-gerelateerde voordelen ten opzichte van katoen. Zo kunnen ze bijvoorbeeld groeien in koelere en nattere gebieden, waar de teelt minder gevolgen heeft voor de zoetwater-reserves en ecosystemen die hiervan afhankelijk zijn. Ook zijn er vaak minder kunstmest en pesticiden nodig voor deze gewassen (La Rosa & Grammatikos, 2019).

Kunstmatige cellulosevezels (MMCF - ‘*man-made cellulosic fibres*’) hebben eigenschappen die belangrijk zijn voor materialen waar kleding van gemaakt wordt. Deze eigenschappen zijn bijvoorbeeld een gladde en zachte textuur en dat de stof soepel valt en snel droogt. MMCF wordt gemaakt van cellulosepulp dat afkomstig is van hout, en is daarmee hernieuwbaar. Dit hout kan van verschillende gewassen afkomen, zoals bomen, maar ook bamboe of houtige plantenresten. Omdat de eigenschappen van MMCF vergelijkbaar zijn met die van synthetische materialen en katoen, en blends hiervan, kunnen MMCF deze makkelijker vervangen dan materialen van vezelgewassen. Deze zijn vaak wat stugger en minder veelzijdig. De meest gebruikelijke kunstmatige cellulosevezel is viscose, die meestal van bomen uit beheerde bosbouw wordt gemaakt.

Innovaties: alternatieve materialen in opkomst

Innovatie zorgt ervoor dat steeds meer hernieuwbare materiaalstromen kunnen worden verwerkt tot textiel, in de vorm van gesponnen en gewoven vezels, maar ook bijvoorbeeld non-woven en leerachtige materialen. Opschaalbare innovaties zijn bijvoorbeeld vezels uit de tomatenplant of kelp (zeewier), cellulose uit andere bronnen zoals gerecycled katoen, bananenbladeren, kapokresten, abaca en brandnetels en non-woven textiel gemaakt van algen of mycelium. Er zijn voorbeelden waar op kleine schaal succesvol nieuwe materialen worden ingezet voor textielproducten, zoals leer van appelrestanten uit de appelsap-productie, leer uit de vezels van ananasbladeren en vezels voor functionele kleding van een combinatie van koffiedik en een ander polymeer.

Het opschalen van dit soort innovaties kan zowel het gebruik van polyester terugdringen en duurzame alternatieven bieden die de druk op landbouwgrond voor katoen kunnen verlagen. Recyclebaarheid is een aandachtspunt: nieuwe materialen moeten ook gerecycled kunnen worden. Liefst via bestaande recycleroutes. Als die niet geschikt zijn voor nieuwe materialen, zal bij materiaalontwikkeling ook een recyclemethode moeten worden ontwikkeld.

Duurzame aandachtspunten bij hernieuwbare vezels

De teelt van gewassen voor textielproductie kan gepaard gaan met milieu-impact door de inputs (kunstmest, pesticiden) en uitputting van de bodem en zoetwatervoorraden. Vooral katoen heeft een hoge milieu-impact.

Een aandachtspunt bij MMFC is duurzame teelt en bosbouw. Duurzame teelt is een voorwaarde om MMFC daadwerkelijk hernieuwbaar te maken. Een ander aandachtspunt is het productieproces van de vezels. Hier komen chemicaliën aan te pas. Als deze via bijvoorbeeld proceswater in het milieu belanden heeft dit effect op ecosystemen en menselijke gezondheid. Dit kan voorkomen worden door gesloten productieprocessen en goede afval(water)behandeling.



Welke veranderingen kunnen ondernemers helpen bewerkstelligen?

- Hernieuwbare alternatieven ontwikkelen die zich qua kwaliteit en gebruiksgemak kunnen meten met synthetische materialen (prestaties van het materiaal, esthetiek, comfort). Zo blijft de drempel om over te stappen zo klein mogelijk, zowel voor producenten als ook voor consumenten.
- Als producent van kleding of andere textielproducten overstappen op hernieuwbare materialen waar secundair materiaal geen optie is.
- Als textielproducent verkennen welke hernieuwbare alternatieven er zijn voor synthetische vezels die textiel de gewenste eigenschappen geeft en deze inzetten.

Om de milieu-impact van hernieuwbare grondstoffen voor textiel zo laag mogelijk te houden kunnen ondernemers denken aan deze oplossingsrichtingen:

- Zo veel mogelijk gewassen met een relatief lage milieu-impact in de textielproductie introduceren en opschalen waar de eigenschappen dit toelaten.
- Werken aan de eigenschappen van textiel op basis van vezelgewassen zodat deze katoen beter kunnen vervangen.
- Innoveren om grootschalige reststromen uit de landbouw te verwaarden tot textielvezels. Voor zulk textiel hoeven namelijk geen extra gewassen geteeld te worden.

5 Literatuurlijst

- Agrodome et al. 2022. Kennisbank Biobased Bouwen, <https://www.biobasedbouwen.nl/producten/>
- Alba Concepts & Cirkelstad. 2020. Circulaire productencatalogus 2.0, <https://www.cirkelstad.nl/circulaire-productencatalogus-2-0/>.
- Arcadis, 2022. *De Urgente Belofte van Biobased*, Amersfoort: Arcadis
- ArcelorMittal. 2015. Making steel, <https://corporate.arcelormittal.com/about/making-steel>. 2023
- Betonakkoord. 2023. *Betonakkoord - Samen maken we de betonsector duurzamer* [Online] <https://www.betonakkoord.nl/.2023>
- Betoniek. 2022. *Betoniek Standaard 17/09 - Betongranulaat in kwaliteitsbeton* [Online] <https://www.betoniek.nl/betongranulaat-in-kwaliteitsbeton.17-01-2023>
- Cargill. 2021. SUSBIND Project, Cargill <https://www.cargill.com/bioindustrial/adhesives-and-binders-susbind-page>. 2023
- CBS. 2020. Hoeveel wegen zijn er in Nederland?, <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/verkeer-en-vervoer/vervoermiddelen-en-infrastructuur/wegen#:~:text=Nederland%20beschikte%20in%202018%20over,bijna%2011%20meter%20per%20inwoner>. februari 2023
- CBS Statline. 2022a. *Internettoegang en internetactiviteiten; persoonskenmerken* [Online] <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/84888NED.27-02-2023>
- CBS Statline. 2022b. *Oude mobieltjes, laptops en tablets verdwijnen in la of doos op zolder* [Online] <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2022/46/oude-mobieltjes-laptops-en-tablets-verdwijnen-in-la-of-doos-op-zolder.27-02-2023>
- CE Delft, 2020. *Kostencurves asfalt, update 2020*, Delft: CE Delft
- CE Delft, 2021a. *Circulair beton bij Rijkswaterstaat*, Delft: CE Delft
- CE Delft, 2021b. *CO₂-reductie met circulaire kunststoffen in Nederland - Scenario-analyse voor 2030 en diverse praktijkcases*, Delft: CE Delft
- CE Delft, 2021c. *Kennisnotitie Circulair Zuid-Holland Biobased bouwen*, Delft: CE Delft
- CE Delft, 2021d. *Kostencurves beton 2020*, Delft: CE Delft
- CE Delft, 2022. *Verwerkingsroutes van afvalhout*, Delft: CE Delft
- CE Delft, 2023. *Carbon footprint repairing versus replacing of window frames*, Delft: CE Delft
- Centrum Hout, 2020. *Hout - bouwen aan de biobased circulaire economie*, Almere: Centrum Hout
- ChemFORWARD. 2022. MaterialWise screening tool, <https://www.materialwise.org/>. oktober 2022
- Chemistry world. 2021. New process could turn scrap metal into hi-tech steel in demand for cars and alloys, Royal Society of Chemistry <https://www.chemistryworld.com/news/new-process-could-turn-scrap-metal-into-hi-tech-steel-in-demand-for-cars-and-alloys/4014512.article>. 2023



- Circle Economy.2016.Master Circular Business with the Value Hill, September 22<https://www.circle-economy.com/master-circular-business-with-the-value-hill/#.Wia4W4uWyzm>. 2017
- Circle Economy, 2022.*The Circularity Gap Report*, Amsterdam: Circle Economy
- Circle Economy, 2023.*The Circularity Gap Report The Netherlands*:
- CIRCO.2022a.CIRCO - Creating businesses through circular design, <https://www.circonl.nl/>.
- CIRCO.2022b.CIRCO Cases, CIRCO <https://www.circonl.nl/cases/>.
- CIRCO.2022c.Presentatie: Zeer Zorgwekkende Stoffen en Safe by Design, CIRCO https://www.circonl.nl/resources/uploads/2022/07/CIRCO-module-SbD-en-ZZS_release-01_220714.pdf
- Circulaire Maakindustrie.2019. *Kritieke materialen* [Online] <https://circulairemaakindustrie.nl/kritieke-materialen/.27-02-2023>
- Circular Biobased Delta.2023.CHAPLIN, <https://circularbiobaseddelta.nl/focus-themas/projecten/chaplin/>. 2023
- Circular Design Guide.2022.Circular design guide - material selection, <https://www.circulardesignguide.com/post/material-selection>.
- Circular Fashion, 2022. Circular Design Software and Circular Material Library.
- Consumentenbond.2021. *Levensduur van digitale apparaten* [Online] <https://www.consumentenbond.nl/laptop/levensduur-digitale-producten>.
- Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2021.*Cradle to Cradle Certified Product Standard Version 4.0*:
- CROW.2018.Programma Asphalt-Impuls, <https://www.crow.nl/asfalt-impuls/programma>. 2023
- CROW.2020.Asfaltkwaliteitsloket, <https://www.crow.nl/asfalt-impuls/projecten/asfaltkwaliteitsloket>. 2023
- CROW.2021.Betoninnovatieloket, <https://www.crow.nl/themas/infratechniek/betoninnovatieloket/betoninnovatieloket>. 2023
- de Bruggenstichting.2022. *Nationale Bruggenbank* [Online] <https://www.nationalebruggenbank.nl.2023>
- Ecoreview, 2020.*MRA Klimaatneutrale en Circulaire Inkoop : Handreiking Asphalt en Beton*, Amsterdam: Metropool Regio Amsterdam (MRA)
- EEA.2019. *Textiles and the environment in a circular economy* [Online] <https://www.eea.europa.eu/publications/textiles-in-europes-circular-economy>.
- EEA.2022.Textiles and the environment: the role of design in Europe's circular economy, European Environment Agency (EEA) <https://www.eea.europa.eu/publications/textiles-and-the-environment-the>.
- Ellen MacArthur Foundation, 2017.*A new textiles economy: Redesigning fashion's future*:
- Ellen MacArthur Foundation, 2019.*Completing the picture: How the circular economy tackles climate change*: Ellen MacArthur Foundation
- Ellen MacArthur Foundation.2021. *Our plan for cement? The circular economy* [Online] <https://ellenmacarthurfoundation.org/news/our-plan-for-cement-the-circular-economy.17-01-2023>



Ellen MacArthur Foundation.2022a.Plastics and the circular economy, Ellen MacArthur Foundation <https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/explore/plastics-and-the-circular-economy>

Ellen MacArthur Foundation.2022b.What is a circular economy?, <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>. oktober, 2022

EPEA, 2018.*EPEA Position Paper: Mechanical and chemical recycling of plastics*, Hamburg: EPEA Internationale Umweltforschung GmbH

EPEA.2022.What is not remaining in cycles ends up as waste - Rethinking products, <https://epea.com/en/about-us/cradle-to-cradle>. oktober 2022

EPRS, 2022.*Briefing: Right to repair*: European Parliamentary Research Service (EPRS)

European Commission.2012. *Waste from Electrical and Electronic Equipment (WEEE)* [Online] https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee_en.28-02-2023

European Commission, 2017.*Commission staff working document: EU green public procurement criteria for textiles products and services*, Brussels: European Commission (EC)

European Commission, 2018a.*Mededeling van Commissie aan het Europees Parlement, de Raad, het Europees Economisch en Sociaal Comité en het Comité van de regio's - Een Europese strategie voor kunststoffen in een circulaire economie*, Straatsburg: European Commission (EC)

European Commission, 2018b.*Mededeling van de commissie aan het Europees Parlement; Een Europese strategie voor kunststoffen in een circulaire economie*, Straatsburg: European Commission

European Commission 2018. *A sustainable bioeconomy for Europe : strengthening the connection between economy, society and the environment : updated bioeconomy strategy*, Publications Office.

European Commission.2020.Designing mobile phones and tablets to be sustainable - ecodesign, European Commission (EC) <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/>. 2023

European Commission.2022a.Biologische productie en producten, https://agriculture.ec.europa.eu/farming/organic-farming/organic-production-and-products_nl

European Commission.2022b.Biologo, https://agriculture.ec.europa.eu/farming/organic-farming/organic-logo_nl.

European Commission, 2022c.*Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of Regions, EU strategy for Sustainable and Circular Textiles*, COM(2020) 141 final, Brussels: European Commission (EC)

European Commission.2022d.Ecodesign for sustainable products, European Commission (EC) https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/sustainable-products/ecodesign-sustainable-products_en.

European Commission.2022e. *Green Deal: New proposals to make sustainable products the norm and boost Europe's resource independence* [Online] https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_2013.28-02-2023



European Commission, 2022f. *Proposal for a regulation of the European Parliament and of the council: establishing a framework for setting ecodesign requirements for sustainable products*, COM(2022) 142 final, Brussels: European Commission (EC)

European Commission, Joint Research Centre, Caldeira, C., Farcas, L., Garmendia Aguirre, I., Mancini, L., Tosches, D., Amelio, A., Rasmussen, K., Rauscher, H., et al., 2022. *Safe and sustainable by design chemicals and materials : framework for the definition of criteria and evaluation procedure for chemicals and materials*, Publications Office of the European Union.

Europees Parlement. 2022. *New rules on batteries: MEPs want more environmental and social ambition* [Online] <https://www.europarl.europa.eu/news/nl/press-room/20220304IPR24805/new-rules-on-batteries-meps-want-more-environmental-and-social-ambition.27-02-2023>

Europese Commissie, 2017. *Study on the review of the list of Critical Raw Materials*:

Europese Commissie. 2023. Voortgang Critical Raw Materials Act, https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13597-European-Critical-Raw-Materials-Act_nl. 17-2-2023

Fantke, N. A. R. W. P., 2021. Enabling a circular economy for chemicals in plastics. *Green and Sustainable Chemistry*, 31.

FSC. 2022. Tropisch hout, FSC <https://nl.fsc.org/nl-nl/gebruik-hout/tropisch-hout>.

Harmsen, P., Post, W. & Bos, H., 2022. *Textiles for circular fashion. Part 2, From renewable carbon to fibres*, Wageningen, Wageningen Food & Biobased Research.

Harmsen, P., Scheffer, M. & Bos, H., 2021. Textiles for Circular Fashion: The Logic behind Recycling Options. *Sustainability*, 13, 9714.

Het Groene Brein. 2022. Wat is ketensamenwerking?, <https://kenniskaarten.hetgroenebrein.nl/kenniskaart-circulaire-economie/wat-is-ketensamenwerking/>.

IEA, 2020. *Iron and Steel Technology Roadmap*, Parijs, Frankrijk: International Energy Agency

IEA. 2022a. *Global crude steel production by process route and scenario, 2019-2050* [Online] <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-crude-steel-production-by-process-route-and-scenario-2019-2050>.

IEA, 2022b. *The role of critical minerals in clean energy transitions*: International Energy Agency (IEA)

IKEA of Sweden AB, 2022. *Circular Product Design Guide - Guide to Navigate Through the Process of Designing Circular Products*:

Innovation Origins. 2023. A new type of thread could allow the creation of a circular economy in the fashion industry, <https://innovationorigins.com/en/a-new-type-of-thread-could-allow-the-creation-of-a-circular-economy-in-the-fashion-industry/>. 2023

International Aluminium. 2021. Global aluminium cycle 2019, <https://alucycle.international-aluminium.org/public-access/public-global-cycle/>.

JRC, 2021. *Circular Economy Perspectives in the EU Textile sector*: Publications Office of the European Union

KIDV, 2018. *Factsheet: biologisch afbreekbare kunststof verpakkingen*: Kennisinstituut Duurzaam Verpakken (KIDV)

KIDV.2020.Biobased materiaal en biologisch afbreekbare verpakkingen, Kennisinstituut Duurzaam Verpakken (KIDV) <https://kidv.nl/biobased-materiaal-en-biologisch-afbreekbare-verpakkingen>. 2023

KplusV, 2020.*Fast fashion onderzoek - Vermindering van de negatieve impact*, Arnhem: KplusV

La Rosa, A. D. & Grammatikos, S. A., 2019. Comparative Life Cycle Assessment of Cotton and Other Natural Fibers for Textile Applications. *Fibers*, 7(12).

Linköping University.n.d.Swedish Mining Policy, a Controversial Story, <https://liu.se/en/research/swedish-mining-policy>. 2023

Madaster.2022.Madaster platform en materialenpaspoort, <https://madaster.nl/platform/>.

Milieu Centraal.2020.10 tips voor duurzamere kleren, Milieu Centraal <https://www.milieucentraal.nl/bewust-winkelen/kleding/10-tips-voor-duurzamere-kleren/>. 2023

Milieu Centraal, 2022.*Factsheet biobased en composteerbare plastic verpakkingen*: Milieu Centraal

Ministerie van I&W.2020.Kamerbrief d.d. 16 oktober 2020 : Duurzaamheidskader biograndstoffen, Tweede Kamer der Staten-Generaal Oktober 16 <https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/moties/detail?id=2020Z19173&did=2020D41361>.

Ministerie van I&W, 2023.*Nationaal Programma Circulaire Economie 2023-2030 (NCPE)*, Den Haag: Ministerie van I&W

Natuur & Milieu, 2016.*De (on)mogelijkheden van reparatie*:

NIBE Research bv., 2019.*Eindrapportage potentie biobased materialen*, Bussum: NIBE

NIBE Research bv., 2020.*Biobased: een pijler van de circulaire bouweconomie*, Utrecht: NIBE

NIBE Research bv., 2022.*Kunststoffen in de bouw*, Utrecht: NIBE Research bv.

NP RES & CE Delft, 2022.*Factsheet Opslag van elektriciteit*, Den Haag:

NY Times, 2022. That Organic Cotton T-Shirt May Not Be as Organic as You Think. *NY Times*.

OCW, 2020.*Recycling van plastics in asfalt - een analyse*, Brussel: Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw

PACE.2019. *The Electronics Program* [Online] <https://pacecircular.org/action-agenda/electronics.27-02-2023>

PBL, 2023.*Integrale Circulaire Economie Rapportage 2023*, Den Haag: Planbureau voor de leefomgeving

PIANOo, 2021.*Buyer Group Marktvisie en -strategie houtbouw*:

Plastics Europe, 2021.*Plastics - the facts 2021 : An analysis of European plastics production, demand and waste data*, Brussels: Plastics Europe

Plastics Europe, 2022.*The Circular Economy for Plastics A European Overview*, Brussels: Plastics Europe

Platform CB'23, 2021.*Leidraad Circulair Ontwerpen - Werkafspraken voor een circulaire bouw*: Platform CB'23,

Platform CB'23, 2022.*Metten van circulariteit - Meetmethode voor een circulaire bouw; Versie 3.0*: Platform CB'23



- Preferred by Nature.**2022.Verifieer certificaten, <https://www.preferredbynature.org/nl/certification/fsc/verifieer-certificaten>.
- Raad van de Europese Unie.**2023. *Raad en Parlement sluiten voorlopig akkoord over batterijen* [Online] <https://www.consilium.europa.eu/nl/press/press-releases/2022/12/09/council-and-parliament-strike-provisional-deal-to-create-a-sustainable-life-cycle-for-batteries/> 28-02-2023
- Rebel & Tauw,** 2021.*Naar een UPV voor textiel*, Rotterdam: Rebel Group
- Rijksoverheid.**lopend. *MVI-criteriatool* [Online] <https://www.mvicriteria.nl/nl/webtool?cluster=3#/35/3/nl.9/15/2022>
- Rijkswaterstaat,** 2019.*Besluit tot wijziging van het Besluit activiteiten leefomgeving (Aanvullingsbesluit bodem Omgevingswet)*, Den Haag: Rijksoverheid
- Rijkswaterstaat.**2020. *In welke gevallen mag ik een afvalstof als grondstof gebruiken in een nieuwe bouwstof?* [Online] <https://www.bodemplus.nl/onderwerpen/wet-regelgeving/bbk/vragen/bouwstoffen-algemeen/faq/welke-gevallen-mag-0/.31-01-2023>
- Rijkswaterstaat.**2022.Rijkswaterstaat daagt de markt uit: wie maakt het duurzaamste asfalt?, <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/archief/2022/12/rijkswaterstaat-daagt-de-markt-uit-wie-maakt-het-duurzaamste-asfalt>. 2023
- Rijkswaterstaat.**2023.Innovatie TestCentrum, <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/innovatie/innovatie-testcentrum>. 2023
- Rijkswaterstaat.**n.d.Afval Circulair - Kenniscentrum Circulaire Economie, <https://www.afvalcirculair.nl/onderwerpen/circulair-praktijk/circulair-ontwerp/>.
- RIVM.**2022.Risico's van stoffen - Stoffenlijsten, <https://rvs.rivm.nl/onderwerpen/stoffenlijsten>.
- Rosenboom, J.-G., Langer, R. & Traverso, G.,** 2022. Bioplastics for a circular economy. *Nature Reviews Materials*, 7, 117-137.
- RVO.**2021.LIFE: Deelprogramma Circulaire economie en kwaliteit van leven, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) <https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/europese-projecten/circulaire-economie>. 2023
- S. Dworak, H. R., J. Fellner,** 2022. How will tramp elements affect future steel recycling in Europe? A dynamic material flow model for steel in the EU-28 for the period 1910 to 2050. *Resources, Conservation & Recycling*, 179.
- Safe by Design.**2023. *Safe-by-Design, over Safe-by-Design, Documenten* [Online] <https://www.safe-by-design-nl.nl/documenten/over+safe-by-design+documenten/default.aspx.17-02-2023>
- Schneider, C.,** 2022. Steel manufacturing clusters in a hydrogen economy - Simulation of changes in location and vertical integration of steel production in Northwestern Europe. *Journal of Cleaner Production*, 341, 130913.
- SER,** 2020.*Biomassa in balans : Een duurzaamheidskader voor hoogwaardige inzet van biograndstoffen*,2022 Den Haag: Sociaal-Economische Raad (SER)
- Staatssecretaris van I&W.**2022.Voortgang strategische aanpak batterijen 2022, Ministerie van I&W 23-12-2023<https://open.overheid.nl/documenten/ronl-2e66f1494249ef25343c700416f62fffe9795391/pdf>.
- Stibat.**2023. *Lege batterijen - Stibat* [Online] <https://www.legebatterijen.nl/>.
- Stichting OPEN.**2023. *Inleveren is terugkrijgen - Wecycle* [Online] <https://wecycle.nl/>.



Stora Enso, 2023. *A revolutionary bio-based furniture board, joint development by Koskisen and Stora Enso*: Stora Enso,

Stuurgroep Routekaart Nationale Biograndstoffen. 2020. Routekaart nationale biograndstoffen: Naar een groter aanbod en betere benutting, 29 juni 2020 <https://www.klimaatakkoord.nl/documenten/publicaties/2020/06/29/routekaart-nationale-biograndstoffen>.

The New York Times. 2021. The World Wants Greenland's Minerals, but Greenlanders Are Wary, <https://www.nytimes.com/2021/10/01/business/greenland-minerals-mining.html>. 2023

The SustainAbility Institute. 2020. Creating a Circular Economy for Plastics, ERM Group, Inc. <https://www.sustainability.com/thinking/creating-a-circular-economy-for-plastics/>. 2023

Timber Procurement Assessment Committee, 2014. Dutch Timber Procurement Policy; Framework for Evaluating Evidence of Compliance with Timber Procurement Requirements.

TNO. 2022. *Asfalt in Nederland* [Online] <https://www.tno.nl/nl/duurzaam/veilige-duurzame-leefomgeving/infrastructuur/asfalt/.25-01-2023>

TNO & Ecochain Technologies, 2022. *Product Category Rules voor bitumineuze materialen in verkeersdragers en waterwerken in Nederland ("PCR Asfalt")*, versie 2.0, Utrecht: TNO

Transitieteam Advies Circulaire Economie, 2022a. *Adviesroute naar een circulaire economie voor de bouw*, Den Haag: Transitieteam Advies Circulaire Economie

Transitieteam Advies Circulaire Economie, 2022b. *Adviesroute naar een circulaire economie voor kunststoffen*:

UNETO-VNI, 2020. *Tabel met gemiddelde gebruiksduurverwachtingen*:

Universiteit Utrecht, 2022. *Collaboration in asPhalt APplications with Lignin in the Netherlands - eXtra Lignin (CHAPLIN XL)*, Utrecht: Universiteit Utrecht

Wolter Elbersen, A. S.-J., Siemen van Berkum, Just Dengerink, Maria Naranjo- & Barrantes, E. O., 2022. *Identifying and implementing circular applications of agri-residues - Identifying and implementing circular applications of agri-residues*, Wageningen: Wageningen Food & Biobased Research

Worldsteel Association. 2018. *Steel - The permanent material in the circular economy*, Worldsteel Association <https://worldsteel.org/circulareconomy/>. 2023

WWF. 2022. *Ontbossing*, <https://www.wwf.nl/wat-we-doen/focus/bossen/ontbossing>.

