Ontwikkeling van een BBT-methodologie voor de evaluatie van circulariteit

Kristof Custers

Eindrapport
September 2026

vito
Vision on technology for a better world
vito.be

Ontwikkeling van een BBT-methodologie voor de evaluatie van circulariteit

VITO
Boeretang 200
2400 MOL
Belgium
VAT No: BE0244.195.916
vito@vito.be – www.vito.be
IBAN BE34 3751 1173 5490 BBRUBEBB

vito
Vision on technology for a better world
vito.be

De gegevens uit dit rapport zijn geactualiseerd tot 01/09/2026.

This report is the result of an independent scientific study based on the state of knowledge of science and technology available at VITO at the time of the study. All intellectual property rights, including copyright, of this report belong to the Flemish Institute for Technological Research ("VITO"), Boeretang 200, BE-2400 Mol, RPR Turnhout BTW BE 0244.195.916. This report may not be reproduced in whole or in part or used for the establishment of claims, for the conduct of legal proceedings, for advertising or anti-advertising.
Unless stated otherwise the information provided in this report is confidential and this report, or parts of it, cannot be distributed to third parties. When reproduction or distribution is permitted, e.g. for texts marked "general distribution", VITO should be acknowledged as source.

INHOUD

INHOUD I
LIJST VAN FIGUREN IV
LIJST VAN TABELLEN V
LIJST VAN AFKORTINGEN VI
1 INLEIDING 1
1.1 Achtergrond en context 1
1.2 Doelstellingen van het onderzoek 2
1.3 Methodologie en aanpak 3
1.3.1 Werkdefinitie en afbakening 3
1.3.2 Selectie van casestudies 4
1.3.3 Analyseaanpak 4
2 Analyse van de BBT-studie voor asfaltcentrales 9
2.1 Huidige opname van circulariteitsaspecten 9
2.2 Hiaten en verbetermogelijkheden 11
2.2.1 Levenscyclusanalyse (LCA) en levenscyclusdenken 11
2.2.2 Urban mining 11
2.2.3 Toepassing van de R-hiërarchie en de afvalhiërarchie 12
2.2.4 Ecodesign 13
2.2.5 Circulaire businessmodellen 13
2.2.6 Indicatoren voor circulariteit 14
2.2.7 Toekomstige ontwikkelingen 15
2.3 Integratie van circulariteit in de BBT-methodologie 15
2.3.1 Procesbeschrijving 15
2.3.2 Kandidaat-BBT 18
2.3.3 BBT-evaluatie 21
2.3.4 Aanbevelingen 22
3 Analyse van de BBT-studie voor de aardappel-, groente- en fruitverwerkende industrie (AGF) 24
3.1 Huidige opname van circulariteitsaspecten 24
3.2 Hiaten en verbetermogelijkheden 27
3.2.1 Circulariteit doorheen de keten 27
3.2.2 Systeeminnovaties en circulaire businessmodellen 28
3.2.3 Circulair productontwerp 29
3.2.4 Toepassing van de afvalhiërarchie 30
3.2.5 Andere circulariteitsaspecten en ketenrelaties 30
3.3 Integratie van circulariteit in de BBT-methodologie 32

3.3.1 Procesbeschrijving ... 32
3.3.2 Kandidaat-BBT ... 34
3.3.3 BBT-evaluatie ... 37
3.3.4 Aanbevelingen ... 39
4 Analyse van de BREF voor de productie van glas (BREF GLS) ... 42
4.1 Huidige opname van circulariteitsaspecten ... 42
4.2 Hiaten en verbetermogelijkheden ... 44
4.2.1 Externe circulariteit en industriële symbiose ... 44
4.2.2 Kwantitatieve doelstellingen ... 45
4.2.3 Ecodesign en design for recycling ... 46
4.2.4 Productlevensduurverlenging (reuse, repair & refurbish) ... 47
4.2.5 Levenscyclusbenadering ... 48
4.2.6 Nieuwe businessmodellen ... 49
4.3 Integratie van circulariteit in de BBT-methodologie ... 50
4.3.1 Procesbeschrijving, technieken en verbruiks- en emissieniveaus ... 50
4.3.2 Technieken voor de BBT-bepaling ... 51
4.3.3 BBT-conclusies ... 52
5 Een geïntegreerd kader voor de evaluatie van circulariteit in BBT-studies ... 55
5.1 Doel en rationale van het evaluatiekader ... 55
5.1.1 Handvatten voor de BBT-auteur ... 56
5.1.2 Scope en beperkingen ... 56
5.1.3 Relatie tot andere methoden ... 57
5.2 Gemeenschappelijke bevindingen uit de casestudies ... 58
5.2.1 Dominantie van R2 en R8 in bestaande BBT-studies ... 58
5.2.2 Scope-uitdagingen in de keten ... 59
5.2.3 Terminologie en systematiek ... 60
5.2.4 Beschikbaarheid van data ... 61
5.3 Drie leidende principes voor circulariteit in BBT-studies ... 61
5.3.1 Principe 1: De 9R-hiërarchie als kapstok ... 61
5.3.2 Principe 2: Levenscyclusdenken en ketenperspectief ... 64
5.3.3 Principe 3: De techniek als enabler ... 67
6 Integratie in de BBT-methodologie ... 69
6.1 Templatehoofdstuk 3: ketencontext en circulariteitskader ... 69
6.2 Templatehoofdstuk 4: bijdrage van technieken aan circulariteit ... 71
6.2.1 Voorafgaande relevantiecheck circulariteit ... 71
6.2.2 Aanpassing van de techniek-template ... 72
6.2.3 Illustratieve invulling (voorbeeld) ... 73
6.3 Templatehoofdstuk 5: circulariteit als evaluatiecriterium ... 74

6.3.1 Aanpassing van de definitie van de criteria (paragraaf 5.1 van de BBT-template) 74
6.3.2 Integratie in de evaluatietabel 76
6.4 Templatehoofdstuk 6: aanbevelingen 77
6.4.1 Aanbevelingen voor milieuvoorwaarden (VLAREM) 77
6.4.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek 77
Bibliografie 79

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Butterfly diagram 2
Figuur 2: 9R-hiërarchie voor circulariteit (naar Potting, Hekkert, Worrell, & Hanemaaijer, 2017) 5
Figuur 3: Energie-, emissie- en materiaalstromen in de asfaltproductieketen (Figuur 28 in (Custers & Janssens, 2024); oorspronkelijk Leyssens, Verstappen, & Huybrechts, 2013) 10
Figuur 4: Cascade van waardebehoud (Figuur 46 in Van den Abeele et al., 2015) 25
Figuur 5: Energie- en materiaalstromen in de productketen (Figuur 43 in Van den Abeele et al., 2015) 26
Figuur 6: Toegevoegde waarde van landbouwproducten (Figuur 47 in Van den Abeele et al., 2015) 27

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Kernbegrippen circulariteit in BBT-context 7
Tabel 2: Toepasbaarheid van de 9R-hiërarchie binnen de context van BBT-studies 63

LIJST VAN AFKORTINGEN

AG: Asfaltgranulaat.
AGF: Aardappelen, groenten en fruit (verwerkende industrie).
AVT: Asfalt bereid bij Verlaagde Temperatuur.
BAT: Best Available Techniques; de Engelstalige term voor BBT, gebruikt in EU-BREF's.
BBT: Beste Beschikbare Technieken.
BBT-GMPN: met de BBT geassocieerde milieuprestatieniveaus (Engels: BAT-AEPL).
BREF: BAT Reference Document (BBT-referentiedocument).
CE: Circulaire Economie.
CTI: Circular Transition Indicators.
DBFM: Design, Build, Finance & Maintain.
EPD: Environmental Product Declaration.
EU: Europese Unie.
FEVE: European Container Glass Federation.
GLS: sectorcode voor de glasindustrie in de BREF-nomenclatuur.
KPI: Key Performance Indicator.
LCA: Levenscyclusanalyse.
LCCA: Levenscycluskostenanalyse (Life Cycle Cost Analysis).
MCI: Material Circularity Indicator.
MFA: Materiaalstroomanalyse (Material Flow Analysis).
OCW: Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw.
OVAM: Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij.
PAK: Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen.
PE: Polyethyleen.
PET: Polyethyleentereftalaat.
PMD: Plastic, Metaal en Drankkartons.
PP: Polypropyleen.
PS: Polystyreen.
PVB: Polyvinylbutyral.
PVC: Polyvinylchloride.
REACH: Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals.
RIE: Richtlijn Industriële Emissies.
SB 250: Standaardbestek 250 (Vlaamse standaardbestekken voor wegenbouw).
SVHC: Substances of Very High Concern (zeer zorgwekkende stoffen).
TRL: Technology Readiness Level.
VITO: Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek.
VLAREM: Vlaams Reglement betreffende de Milieuvergunning.
VLAREMA: Besluit van de Vlaamse Regering tot vaststelling van het Vlaams reglement betreffende het duurzaam beheer van materiaalkringlopen en afvalstoffen.
VOS: Vluchtige Organische Stoffen.

1 INLEIDING

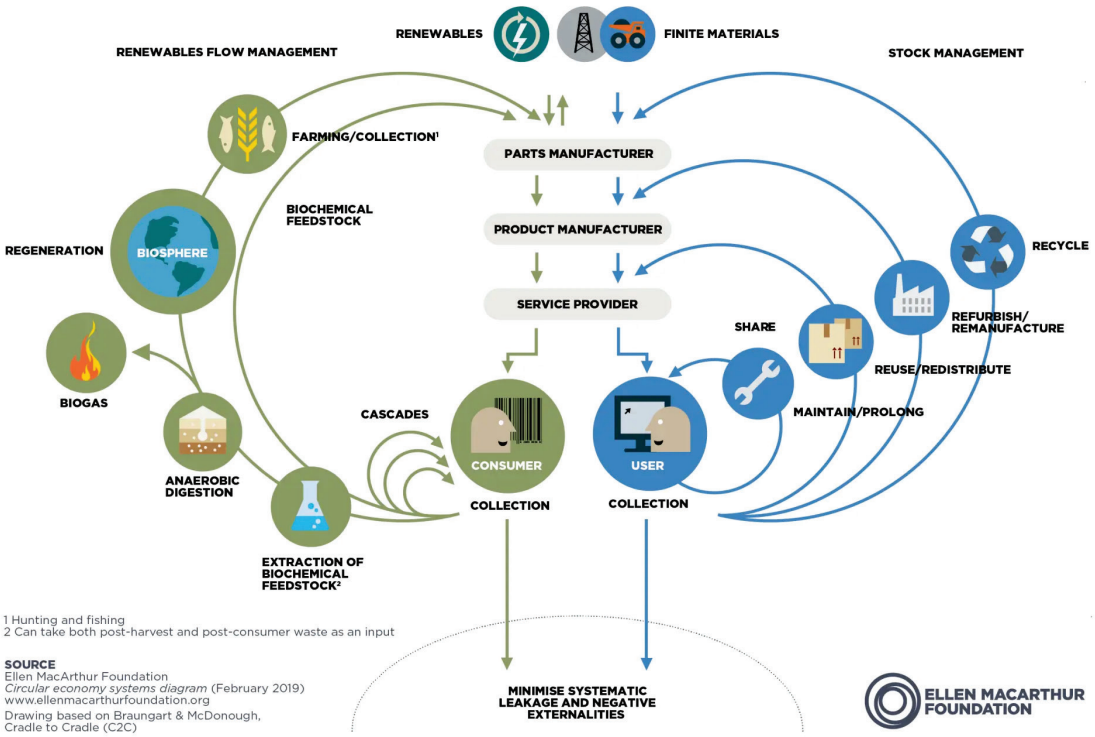
1.1 Achtergrond en context

De herziene Richtlijn Industriële Emissies (RIE 2.0; Richtlijn (EU) 2024/1785) legt meer nadruk op circulariteit, onder meer via energie- en hulpbronnenefficiëntie en circulaire waardeketens. Daarom heeft het VITO BBT-kenniscentrum onderzocht hoe principes van de circulaire economie een duidelijkere en praktisch hanteerbare plaats kunnen krijgen in de bestaande BBT-methodologie en BBT-studies. Deze studie onderzoekt hoe circulariteit, waar relevant binnen de scope van een BBT-studie, op een meer herkenbare en consistente manier kan worden meegenomen in Beste Beschikbare Technieken (BBT)-studies en BBT-referentiedocumenten (BREF).

BBT-studies beoordelen productietechnieken in eerste instantie op directe en lokale milieu-impact van de installatie, met aanknopingspunten voor een bredere beoordeling via cross-media-analyse en het criterium ‘effect op de keten’ (inclusief circulariteit). De circulaire economie reikt verder: ze richt zich op het zo lang en hoogwaardig mogelijk in omloop houden van materialen, producten en hulpbronnen over de hele waardeketen, en draagt naast milieuwinst ook bij aan grondstoffenzekerheid en economische veerkracht. Deze studie onderzoekt hoe beide perspectieven binnen het BBT-instrument met elkaar kunnen worden verbonden, zonder het beoordelingsobject of de scope van de BBT-studie te verlaten.

De circulaire economie vertrekt van het idee dat materialen, producten en hulpbronnen zo lang mogelijk, zo hoogwaardig mogelijk en veilig in de kringloop worden gehouden. Dat kan materiaalverlies, afvalproductie en de afhankelijkheid van primaire grondstoffen beperken. Figuur 1 toont de logica achter deze benadering: materialen zo lang mogelijk in omloop houden, met zo weinig mogelijk waardeverlies. In de technische cyclus gebeurt dit via hergebruik, herstel en recyclage. In de biologische cyclus keren organische stromen via cascadering, compostering, vergisting en nutriëntenterugwinning terug naar biologische kringlopen. Een gezonde bodem blijft daarbij een randvoorwaarde. Zonder geschikt ontvangend systeem kan de biologische kringloop niet duurzaam worden gesloten.

Circulariteit staat ook beleidsmatig hoog op de agenda. Zowel op Europees niveau (o.a. de ‘Clean Industrial Deal’, die voortbouwt op het ‘Circular Economy Action Plan’ onder de Green Deal) als op Vlaams niveau (o.a. ‘Vlaanderen Circulair’ en ‘Visie 2050’) is de transitie naar een circulaire economie een strategische doelstelling. Circulariteit kan ook klimaat-, energie- en bevoorradingsdoelstellingen ondersteunen, bijvoorbeeld door materiaalverlies te beperken en primaire materiaalproductie deels te vermijden. Deze effecten worden in dit rapport niet als afzonderlijke beoordelingscriteria behandeld, maar meegenomen voor zover ze relevant zijn binnen levenscyclusdenken en cross-media-afweging.



Figuur 1: Butterfly diagram

1.2 Doelstellingen van het onderzoek

Dit onderzoek analyseert de integratie van circulariteit in bestaande BBT/BREF-studies aan de hand van drie casestudies:

- De BBT-studie voor asfaltcentrales
- De BBT-studie voor de aardappel-, groente- en fruitverwerkende industrie (AGF-industrie)
- De BREF voor de productie van glas (BREF GLS)

Voor elke casestudie wordt nagegaan hoe circulariteit aan bod komt in de verschillende hoofdstukken, van procesbeschrijving tot aanbevelingen. Daarbij worden goed geïntegreerde elementen, hiaten en verbetermogelijkheden in kaart gebracht.

Door de cases naast elkaar te leggen, worden gemeenschappelijke uitdagingen, goede praktijken en verbeterpunten zichtbaar. Centraal staat de vraag hoe de BBT-methodologie kan worden aangepast om circulariteit beter te beoordelen en te ondersteunen.

De specifieke onderzoeksvragen die hieraan bijdragen zijn:

1. Hoe worden circulariteitsaspecten momenteel geïntegreerd in de geanalyseerde BBT/BREF-studies?
2. Welke hiaten bestaan er in de huidige benadering binnen deze studies?
3. Welk conceptueel kader, inclusief definitie, R-strategieën en scope-afbakening, kan worden gehanteerd voor de evaluatie en integratie van circulariteit binnen BBT-studies?
4. Hoe kunnen circulariteitsaspecten, op basis van de casestudies, systematischer worden geïntegreerd in de BBT-methodologie, en welke aanpassingen zijn daarvoor nodig?

1.3 Methodologie en aanpak

Het onderzoek vertrekt van een screening en kritische analyse van de drie geselecteerde BBT/BREF-studies.

Voor de analyse wordt een werkdefinitie van circulariteit gebruikt die aansluit bij de bestaande BBT-methodologie en tegelijk ruimte laat voor materiaalstromen en relevante keteneffecten.

1.3.1 Werkdefinitie en afbakening

De onderstaande definitie geldt als werkdefinitie voor BBT-studies. Ze beschrijft hoe circulariteit binnen een techniek- en installatiegericht beoordelingskader wordt meegenomen, zonder de circulaire economie als breder maatschappelijk transitiemodel volledig te definiëren.

Voor deze studie wordt circulariteit in BBT-context als volgt afgebakend: circulariteit in de context van BBT-studies betekent dat technieken, proceskeuzes en materiaalkeuzes worden beoordeeld op hun bijdrage aan het behoud van materiaalwaarde en het efficiënte gebruik van grondstoffen, materialen en hulpbronnen. Dit omvat het beperken van materiaalverbruik en materiaalverlies, het voorkomen van afval, het verlengen van de levensduur van producten, materialen en productiemiddelen, het mogelijk maken van hergebruik en herstel, en het sluiten van materiaalkringlopen via hoogwaardige recyclage.

Deze beoordeling houdt rekening met de volledige levenscyclus voor zover die door de techniek, procesvoering of materiaalkeuze wordt beïnvloed. Daarbij wordt nagegaan of circulaire maatregelen geen probleemverschuiving veroorzaken naar andere levenscyclusfasen of milieucompartimenten, en of zij de toekomstige inzetbaarheid van materialen niet hypothekeren, bijvoorbeeld door het gebruik van zorgwekkende stoffen of andere stoffen die hergebruik of recyclage bemoeilijken.

Binnen de BBT-beoordeling geldt als uitgangspunt dat circulaire maatregelen, over de relevante keten bekeken, naar verwachting netto milieuwinst opleveren. Een verschuiving van impact naar andere milieucompartimenten of levenscyclusfasen is daarbij niet uitgesloten, maar wordt transparant afgewogen tegen de verwachte milieuwinst. Circulariteit weegt positief mee voor zover de netto milieubalans over de relevante keten aannemelijk positief blijft.

Belangrijk hierbij is dat recyclage in Vlaanderen een lokale milieu-impact met zich kan meebrengen, terwijl de winst, bijvoorbeeld door vermeden ontginning en productie van primaire grondstoffen, zich vaak grotendeels buiten de regio situeert. Het levenscyclusdenken maakt ook die vermeden lasten zichtbaar.

BBT-studies beoordelen circulariteit primair op het niveau van de installatie en de toegepaste technieken, maar nemen ook relevante effecten in de waardeketen en interacties met andere sectoren mee. Binnen het BBT-kader ligt de focus op technieken, proceskeuzes en materiaalkeuzes die helpen om grondstoffen, producten en materialen langer en hoogwaardiger in gebruik te houden. De analyse houdt rekening met relevante effecten in de waardeketen, maar het beoordelingsobject blijft de techniek, procesvoering of materiaalkeuze binnen of in directe relatie tot de installatie.

BBT-studies gaan over Beste Beschikbare Technieken, niet over productnormering. Deze studie beoordeelt daarom niet of bepaalde producten of functies maatschappelijk wenselijk zijn. Wel wordt onderzocht hoe productietechnieken, proceskeuzes en materiaalkeuzes productkenmerken beïnvloeden die relevant zijn voor circulariteit, zoals technische levensduur, herstelbaarheid en recycleerbaarheid. Productie- en gebruiksmodellen kunnen als contextuele factor worden beschreven wanneer zij de toepassing van circulaire technieken mogelijk maken of versterken, maar worden niet als zelfstandige BBT beoordeeld tenzij zij rechtstreeks gekoppeld zijn aan een beoordeelbare techniek, procesvoering of materiaalstroom.

Hoofdstuk 5 vertaalt deze werkdefinitie, op basis van de casestudies, naar drie leidende principes voor de integratie van circulariteit in BBT-studies.

1.3.2 Selectie van casestudies

Om die vertaalslag concreet te onderzoeken, analyseert deze studie drie sectoren met verschillende circulariteitsdynamieken: asfaltproductie (Custers & Janssens, 2024), AGF-verwerking (Van den Abeele, Vanassche, Weltens, & Huybrechts, 2015), en glasproductie (Scalet, Garcia Munoz, Sissa, Roudier, & Delgado Sancho, 2013).
De drie cases zijn gekozen omdat ze elk een ander type circulariteitsvraag tonen en illustreren hoe de mogelijkheden voor bijvoorbeeld hergebruik, recyclage en substitutie van primaire grondstoffen sterk verschillen afhankelijk van de gebruikte materialen, processen en producten. Zo biedt de asfaltsector kansen voor urban mining, de AGF-sector voor het vermijden van voedselverlies en de hoogwaardige valorisatie van organische reststromen volgens de cascade van waardebehoud, en de glassector voor gesloten materiaalkringlopen. De vergelijking moet helpen om aanbevelingen te formuleren die ook buiten de drie cases bruikbaar zijn.

1.3.3 Analyseaanpak

Voor elke casestudie wordt dezelfde aanpak gevolgd:

1. In kaart brengen hoe circulariteit vandaag is opgenomen in de verschillende hoofdstukken van de BBT-studie (procesbeschrijving, selectie van technieken, evaluatie, aanbevelingen).
2. Bepalen welke hiaten en verbetermogelijkheden zichtbaar worden. Hierbij wordt de 9R-hiërarchie (Figuur 2) gebruikt als analytische leidraad om aspecten van preventie, hergebruik, herstel, recyclage, valorisatie en keteneffecten te structureren.
3. Formuleren van concrete suggesties voor een betere integratie van circulariteit in de BBT-methodologie, voor elk van de hoofdstukken van de studie. Daarbij gaat de aandacht naar indicatoren, evaluatiecriteria, databehoefte en aanbevelingen die circulariteit in installaties en sectoren kunnen ondersteunen.

Figuur 2: 9R-hiërarchie voor circulariteit (naar Potting, Hekkert, Worrell, & Hanemaaijer, 2017)

De casestudies in hoofdstukken 2 tot en met 4 zijn bewust breed en verkennend opgevat. Ze brengen niet alleen onmiddellijk toepasbare BBT-elementen in beeld, maar ook bredere circulariteitsopties, randvoorwaarden en kennishiaten. In hoofdstukken 5 en 6 wordt vervolgens afgebakend welke elementen praktisch bruikbaar zijn binnen de BBT-methodologie. Het kader krijgt de vorm van praktische handvatten, bijvoorbeeld een checklist met gerichte vragen voor de BBT-auteur. Deze vragen vertrekken van de 9R-hiërarchie, maar worden in hoofdstuk 6 vertaald naar een werkbare toepassing binnen de verschillende onderdelen van een BBT-studie.

Methodologisch steunt het onderzoek op een kwalitatieve analyse van bestaande BBT/BREF-documenten, aangevuld met inzichten uit de wetenschappelijke en grijze literatuur over circulaire economie, industriële symbiose en duurzaam materialenbeheer.

Een klassieke BBT-studie richt zich vaak op technieken en processen binnen de ‘fabriekspoorten’. Circulariteit vraagt echter soms een ruimere blik. De methodologie verkent daarom hoe de bestaande hoofdstukken van een BBT-studie ruimte kunnen bieden voor bredere systeemgrenzen, zonder de BBT-studie uit te breiden tot een volledige keten-, product- of beleidsbeoordeling. Dit omvat het analyseren van relevante keteneffecten in de procesbeschrijving en het evalueren van technieken op hun bijdrage aan R-strategieën, voor zover die bijdrage samenhangt met de onderzochte activiteit, techniek, procesvoering of materiaalstroom. Waar een strikte BBT-conclusie niet aangewezen is, kunnen beschouwende paragrafen of voorbeeldcases de sector wel richting geven. Waar relevant wordt ook bekeken of organisatorische modellen, ketensamenwerking of circulaire businessmodellen de toepassing van circulaire technieken mogelijk maken of versterken. Deze aspecten worden niet als zelfstandige BBT beoordeeld, tenzij zij rechtstreeks gekoppeld zijn aan een beoordeelbare techniek, procesvoering of materiaalstroom.

Dit rapport kent enkele beperkingen. De analyse steunt op een beperkt aantal cases, wat de generaliseerbaarheid kan beperken. Daarom zijn cases gekozen die verschillende sectoren en circulariteitsvragen vertegenwoordigen.

Een tweede aandachtspunt is dat bestaande BBT-studies zich vaak beperken tot procesmatige materiaalefficiëntie, afvalbeheer en recyclage. Hogere R-strategieën, zoals preventie, herontwerp, hergebruik, herstel en levensduurverlenging, komen minder systematisch aan bod. Daarom wordt in de verdere analyse en in het evaluatiekader de 9R-hiërarchie gebruikt als analytisch kader, voor zover dat binnen de BBT-scope haalbaar en relevant is.

Wanneer dit rapport spreekt over ‘technische levensduur’, wordt ‘durability’ bedoeld. ‘Duurzaamheid’ verwijst naar de bredere milieukundige beoordeling. Tabel 1 geeft de kernbegrippen weer zoals ze in dit rapport worden gebruikt, telkens met het begrip waarmee ze niet mogen worden verward.

Tabel 1: Kernbegrippen circulariteit in BBT-context

Begrip	Definitie BBT-context	Niet te verwarren met	Voorbeeld
Primaire grondstof	Materiaal dat rechtstreeks uit de natuur wordt gewonnen en nog niet eerder is gebruikt	Nieuwe grondstof (kan secundair zijn)	Zand, ruwe olie, ertsen
Secundaire grondstof	Materiaal dat niet rechtstreeks uit primaire ontginning afkomstig is, maar voortkomt uit reststromen, bijproducten, afvalstoffen, recyclage of ontmanteling, en opnieuw als grondstof wordt ingezet ter vervanging van een primaire of andere grondstof. De inzet ervan moet voldoen aan de toepasselijke materiaal- en afvalregelgeving, waaronder eventuele voorwaarden voor einde-afvalstatus.	Gerecycleerd materiaal (is subcategorie)	Staalslakken, gerecycleerde granulaten, asfaltgranulaat, gerecycleerde kunststoffen
Pre-consumer recyclaat	Materiaal dat tijdens de productie uit de afvalstroom wordt teruggewonnen en na verwerking opnieuw als grondstof wordt ingezet, voordat het een gebruiksfase heeft doorlopen. Productie-uitval die rechtstreeks opnieuw kan worden gebruikt in hetzelfde proces waarin zij ontstaat, wordt afzonderlijk beschouwd als interne procesrecirculatie.	Post-consumer recyclaat	Snijresten uit verdere glasverwerking die als grondstof worden teruggevoerd naar de glasproductie
Post-consumer recyclaat	Materiaal dat na gebruik door de eindgebruiker is ingezameld, een recyclage- of opwerkingsproces heeft doorlopen en opnieuw als grondstof kan worden ingezet.	Pre-consumer recyclaat	PET-recyclaat uit ingezamelde flessen; asfaltgranulaat uit opgebroken wegverhardingen na verwerking en kwaliteitsborging

Begrip	Definitie BBT-context	Niet te verwarren met	Voorbeeld
Recyclage	Verwerking waarbij afvalstoffen opnieuw worden omgezet in producten, materialen of stoffen voor het oorspronkelijke of een ander doel, in aansluiting bij de wettelijke definitie. Recyclage kan leiden tot een gelijkwaardige, hoogwaardige of laagwaardigere toepassing, afhankelijk van de functionele waarde, kwaliteitseisen en toekomstige recycleerbaarheid van het materiaal[1].	Hergebruik (product wordt opnieuw gebruikt zonder verwerking)	Gelijkwaardige toepassing: glas → glas; asfaltgranulaat → nieuw asfalt. Hoogwaardige toepassing: zuivere AGF-nevenstroom → voedingsingrediënt. Laagwaardigere toepassing: asfaltgranulaat ingezet als funderingsmateriaal in plaats van in een nieuw asfaltmengsel.
Levenscyclusdenken	Kwalitatieve beschouwing van effecten gedurende de volledige levensduur van een product, materiaal of techniek, zonder volledige kwantitatieve LCA	Levenscyclusanalyse (LCA - kwantitatief)	Beoordelen of de milieuwinst van recyclage opweegt tegen de transportemissies
Cross-media-effect	Impact op een ander milieucompartiment of in een andere levenscyclusfase als gevolg van een maatregel	Trade-off (bewuste afweging)	Lagere luchtemissies door techniek → meer vast afval
Industriële symbiose	Systematische uitwisseling van reststromen tussen (sectoren van) bedrijven	Ad-hoc materiaaluitwisseling	Restwarmte asfaltcentrale → stadsverwarming
Urban mining	Terugwinning van materialen uit bestaande maatschappelijke voorraden, zoals gebouwen, infrastructuur, installaties, voertuigen of elektronica.	Recyclage (kan deel zijn van)	Selectieve sloop en sortering van bouwmaterialen; terugwinning van metalen uit elektronisch afval

[1] De termen upcycling en downcycling worden in dit rapport niet gebruikt als afzonderlijke juridische categorieën, maar als kwalitatieve duiding van het resultaat van recyclage. Upcycling verwijst naar inzet in een toepassing met hogere of meer hoogwaardige functionele waarde; downcycling naar inzet in een toepassing met lagere functionele eisen of met verlies aan toekomstige recyclagemogelijkheden.

2 ANALYSE VAN DE BBT-STUDIE VOOR ASFALTCENTRALES

De asfaltsector is relevant voor deze analyse omdat materiaalgebruik, recyclage en kwaliteit sterk met elkaar verweven zijn.[2] Een centraal aandachtspunt is de inzet van asfaltgranulaat (d.w.z. gerecycleerd asfaltpuin afkomstig van opgebroken asfaltverhardingen)[3] en 'urban mining' – het proces waarbij waardevolle materialen worden teruggewonnen uit bestaande infrastructuur en gebouwen in stedelijke omgevingen. Afhankelijk van de kwaliteit en verwerking kan opgebroken asfalt worden ingezet in nieuwe asfaltmengsels of, wanneer hoogwaardige toepassing niet mogelijk is, in laagwaardigere toepassingen zoals funderingen. Daarnaast biedt de sector mogelijkheden voor de inzet van secundaire grondstoffen uit andere industrieën.
Een belangrijke uitdaging hierbij is de balans tussen kwantiteit en kwaliteit van gerecycleerd materiaal. De prestaties van het eindproduct moeten gewaarborgd blijven. Daarnaast moeten verontreinigingen worden voorkomen of beheerst, zodat de materiaalstromen voldoen aan de toepasselijke kwaliteitseisen en veilig kunnen worden ingezet en opnieuw gerecycleerd (niet-toxische materiaalkringlopen, in de literatuur ook 'clean circularity').

2.1 Huidige opname van circulariteitsaspecten

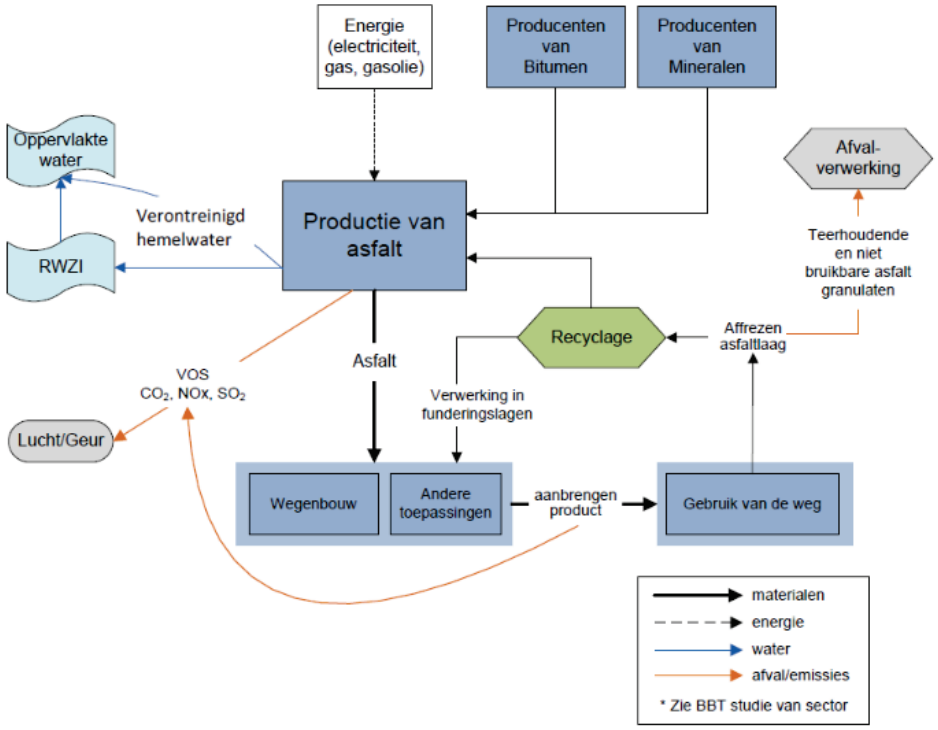
De BBT-studie voor asfaltcentrales neemt circulariteit vooral mee via materiaalgebruik, asfaltgranulaat en de kringloop van asfalt. De scope van de studie richt zich expliciet op de technische specificaties van asfaltcentrales en de kringloop van asfalt, met inbegrip van het gebruik van asfaltgranulaat (gerecycleerd asfaltpuin), zoals beschreven in §2.1.1. Daarmee is circulariteit al aanwezig in de afbakening van de studie.

De BBT-studie legt de nadruk op het efficiënter inzetten van materialen. Dit gebeurt door materiaalverliezen tijdens opslag en productie te beperken en door primaire grondstoffen te vervangen door recyclaten, zoals asfaltgranulaat, en alternatieve grondstoffen, zoals staalslakken. De kwaliteit van het eindproduct blijft daarbij een randvoorwaarde. Het gebruik van asfaltgranulaat wordt in detail behandeld in §3.3.3, met aandacht voor toevoegingsmethoden, impact op het productieproces, emissies en financiële aspecten. De BBT-studie spreekt zelf van een 'hoge recyclagegraad (van 40% tot 70% asfaltgranulaat)', maar die cijfers betreffen het aandeel asfaltgranulaat in specifieke mengsels: gemiddeld circa 40% in recyclagemengsels, met in het standaardbestek een bovengrens van 70% voor onderlagen en geen toepassing in toplagen. Omdat volgens de studie in ongeveer de helft van de mengsels asfaltgranulaat wordt gebruikt, komt dit neer op gemiddeld circa 20% asfaltgranulaat per ton geproduceerd asfalt. Dat laatste cijfer geeft de recyclagegraad van de sector beter weer dan de vork van 40 tot 70%.

In §3.10.9 brengt de BBT-studie de materiaalkringlopen van de sector in kaart (Figuur 3). Daarbij wordt ook gekeken naar de verbinding met andere sectoren, waar kringlopen kunnen worden gesloten en asfalt als secundaire grondstof kan dienen. De studie bespreekt onder meer het vervangen van minerale materialen door alternatieven, zoals staalslakken, en het vervangen van bitumen door alternatieve materialen, zoals dakbaanbitumen of rubbermeel. Ook de vervanging van primaire vulstoffen door alternatieve of secundaire vulstoffen, waaronder composietvulstoffen, vormt een bijkomende circulaire hefboom. De

[2] Paragraaf- en figuurnummers in dit hoofdstuk verwijzen naar de BBT-studie voor asfaltcentrales (Custers & Janssens, 2024), tenzij anders vermeld.
[3] Het juridische statuut van asfaltgranulaat (afvalstof, grondstof na zelfbeoordeling, of bijproduct) kan variëren naargelang de specifieke situatie en de gevolgde procedure. In dit rapport wordt 'recyclage' gehanteerd als beschrijving van het technische verwerkingsproces, ongeacht het juridische statuut van het materiaal.

milieuhygiënische kwaliteitsbewaking kan worden ondersteund door keurings- en certificeringsprocedures, zoals de COPRO-procedure voor composietvulstoffen.



Figuur 28: Energie-, emissie- en materiaalstromen in de asfaltproductieketen (Leyssens, Verstappen, & Huybrechts, 2013)

Figuur 3: Energie-, emissie- en materiaalstromen in de asfaltproductieketen (Figuur 28 in (Custers & Janssens, 2024); oorspronkelijk Leyssens, Verstappen, & Huybrechts, 2013)

Verder komen projecten rond 'urban mining' en de sluiting van materiaalkringlopen aan bod in §3.10.9, zoals het gebruik van verjongingsmiddelen om de mogelijkheden van asfaltrecyclage verder te verhogen (§4.2.2). Bij de evaluatie en selectie van de Beste Beschikbare Technieken in hoofdstuk 5 van de BBT-studie voor asfaltcentrales wordt rekening gehouden met het potentieel om materiaalkringlopen te sluiten en afvalstromen te valoriseren, naast de impact op milieu, technische haalbaarheid en financiële aspecten.

De BBT-studie voor asfaltcentrales neemt circulariteit al duidelijk mee, met aandacht voor materiaalkringlopen en hoogwaardige recyclage. Het concept ‘urban mining’ omvat daarbij niet enkel de recyclage van het materiaal, maar begint al bij de selectieve afbraak van de bestaande wegeninfrastructuur om zuivere en hoogwaardige materiaalstromen te genereren. Tot slot komt ook de interactie met andere sectoren aan bod. De focus ligt hierbij vooral op het sluiten van de kringloop voor asfalt zelf, door het maximaliseren van de recyclage van asfaltgranulaat in nieuwe asfaltmengsels.

Tegelijk toont de analyse waar de circulariteitsbenadering nog breder kan worden uitgewerkt. Zo kan de studie sterker ingaan op ontwerpkeuzes die de technische levensduur, toekomstige recycleerbaarheid of inzet van secundaire grondstoffen beïnvloeden. Ook levenscyclusdenken en ketensamenwerking komen nu nog beperkt aan bod. De volgende paragrafen bespreken waar de bestaande BBT-studie aanknopingspunten biedt en waar aanvulling mogelijk is.

2.2 Hiaten en verbetermogelijkheden

De volgende paragrafen bespreken welke circulariteitsaspecten in de bestaande BBT-studie al aanwezig zijn, en waar een toekomstige studie bijkomende verdieping kan bieden.

2.2.1 Levenscyclusanalyse (LCA) en levenscyclusdenken

Analyse van het hiaat:
De huidige studie focust op de directe impact van de asfaltcentrale, zonder systematische aandacht voor de milieu-impact van de grondstofwinning (upstream) of de gebruiksfase en eindfase van het asfalt (downstream).

Concrete acties voor de BBT-auteur:
De auteur kan 'levenscyclusdenken' integreren. Dit houdt in dat, op basis van bestaande en publiek beschikbare literatuur (zoals sectorale LCA's van het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW) of Environmental Product Declarations (EPD's)), de belangrijkste milieu-hotspots in de keten geïdentificeerd worden. Het voorgestelde kader vereist niet dat voor elke kandidaat-techniek een nieuwe LCA wordt uitgevoerd. Bij de evaluatie van technieken moet kwalitatief worden meegewogen of een techniek een positief of negatief effect heeft op deze hotspots.

Benodigde informatie en haalbaarheid:
Hiervoor zijn vooral bestaande LCA-studies en sectordata nodig. Een nieuwe, volledige LCA wordt in dit kader niet als standaardonderdeel van elke BBT-studie voorzien. De focus ligt op een kwalitatieve, onderbouwde redenering. Hierbij moet rekening worden gehouden met de lokale context, aangezien substitutie-effecten, transportafstanden, energiemix en beschikbaarheid van secundaire grondstoffen regionaal sterk kunnen verschillen.

Het kwantificeren van deze effecten kan helpen om hotspots te identificeren en circulaire strategieën gerichter in te zetten. Als uit bestaande studies blijkt dat transport een grote impact heeft, kan de BBT-auteur bijvoorbeeld technieken die lokale grondstofstromen ondersteunen positiever beoordelen. Als de productie van bepaalde additieven sterk doorweegt, kunnen alternatieven worden onderzocht.

Ook scenario's in de gebruiksfase kunnen relevant zijn, zoals de milieu-impact van frequent onderhoud en herstel tegenover een volledige vervanging van de wegverharding. Dit kan helpen om langetermijnstrategieën voor assetmanagement te beoordelen, maar vraagt wel een bredere scope dan de klassieke installatiegerichte BBT-analyse.

Levenscyclusdenken helpt zo om verder te kijken dan procesefficiëntie binnen de fabriekspoorten. Het maakt zichtbaar of een efficiëntieverbetering in de asfaltcentrale niet leidt tot een grotere milieu-impact elders in de keten.

2.2.2 Urban mining

Analyse van het hiaat:
De huidige BBT-studie focust voornamelijk op de standaard recyclage van asfaltgranulaat in nieuwe asfaltmengsels. Daardoor blijft het bredere potentieel van urban mining minder uitgewerkt. Er is bijvoorbeeld nog ruimte om de kwaliteit van verschillende verwerkingsroutes voor asfaltpuin en asfaltgranulaat scherper te beschrijven, met onderscheid tussen inzet in nieuwe asfaltmengsels, laagwaardigere toepassingen en mogelijke terugwinning van specifieke componenten zoals polymeren of vezels. Daarnaast kan industriële symbiose sterker worden uitgewerkt, bijvoorbeeld door secundaire grondstofstromen uit andere sectoren, zoals staalslakken, rubber of glasafval, systematischer te beoordelen als alternatieve grondstof voor asfalt.

Concrete acties voor de BBT-auteur:
- Verbreding van de definitie: hanteer een eenduidige systematiek voor urban mining die verder gaat dan enkel de standaard recyclage van asfaltgranulaat in nieuwe mengsels, met aandacht voor de volledige keten;
- Samenwerkingsmodellen: neem praktijkvoorbeelden op van proactieve ketensamenwerking en partnerschappen tussen asfaltcentrales, sloopbedrijven en wegenbouwers (BAM, 2024)
- Randvoorwaarden: beschrijf de technische, economische en institutionele randvoorwaarden en hefbomen, waaronder kwaliteitseisen voor minerale afvalstoffen, traceersystemen en financieringsmechanismen.

Benodigde informatie en haalbaarheid:
Voor deze uitbreiding zijn technische fiches en kwaliteitsnormen van externe reststromen nodig. Informatie over samenwerkingsmodellen kan worden verzameld via gesprekken met koplopers in de sector en met wegbeheerders. Een kwalitatieve beschrijving en het opnemen van praktijkvoorbeelden is haalbaar. Een gedetailleerde technische evaluatie van elke mogelijke reststroom blijft binnen een BBT-studie beperkt tot de meest relevante of reeds gedocumenteerde stromen.

2.2.3 Toepassing van de R-hiërarchie en de afvalhiërarchie

Analyse van het hiaat:
In de huidige BBT-studie worden R-strategieën eerder ad hoc behandeld, zonder duidelijke prioritering of methodologische verankering via de 9R-hiërarchie (Figuur 2, Tabel 2). De wettelijk verankerde afvalhiërarchie focust vooral op de afvalfase en biedt daardoor maar een deel van het circulaire perspectief. Een bredere toepassing van de 9R-hiërarchie (Reike, Vermeulen, & Witjes, 2018) kan helpen om preventie, hergebruik, levensduurverlenging, hoogwaardige recyclage en laagwaardigere verwerkingsroutes beter van elkaar te onderscheiden. Ook ecodesign-principes, zoals ontwerpen voor technische levensduur, herstelbaarheid en hoogwaardige recycleerbaarheid, kunnen explicieter worden benoemd als voorwaarden voor circulariteit.

Concrete acties voor de BBT-auteur:
- 9R-hiërarchie: gebruik de 9R-strategieën als overkoepelend kader om technieken voor materiaalbeheer te beoordelen. Kader de wettelijke afvalhiërarchie expliciet binnen dit bredere circulaire model;
- Ecodesign: neem een specifieke sectie of paragraaf op over ecodesign bij de ontwerpfase van wegen. Focus hierbij op de technische samenwerking tussen producenten en wegbeheerders om de levensduur en de herstelbaarheid van asfalt te maximaliseren;
- Prioritering: gebruik de hiërarchie als een rode draad doorheen de verschillende hoofdstukken om een consistente prioritering aan te brengen bij het vergelijken van technieken.

Benodigde informatie en haalbaarheid:
De algemene kaders voor circulariteit, zoals de 9R-hiërarchie, de afvalhiërarchie en bestaande definities rond circulaire economie, zijn beschikbaar en kunnen als vertrekpunt dienen. Ze geven echter nog niet vanzelf aan hoe een specifieke asfalttechniek moet worden beoordeeld. De uitdaging ligt vooral in de vertaling naar concrete technische keuzes voor de asfaltsector. Daarbij is afstemming nodig met onderzoek naar levensduurverlenging van wegdekken, bestaande normen, keuringssystemen en technische voorschriften.

2.2.4 Ecodesign

Analyse van het hiaat:
De huidige studie benadrukt de inzet van recyclaat, maar besteedt minder aandacht aan de manier waarop het ontwerp van het asfaltmengsel de latere circulariteit beïnvloedt. Het gaat dan onder meer om toekomstige recycleerbaarheid, technische levensduur, herstelbaarheid en compatibiliteit met herhaalde recyclagerondes.

Concrete acties voor de BBT-auteur:
De BBT-auteur kan strategieën voor ecodesign onderzoeken en beschrijven. Daarbij kan inspiratie worden gehaald uit bestaande methodieken, zoals de LiDS-wheel (Lifecycle Design Strategies), om de verschillende ontwerpstrategieën te structureren. Voor asfalt zijn vooral drie invalshoeken relevant:

- ***Design for disassembly:*** Ontwerpen voor eenvoudige scheiding van componenten (bitumen, aggregaten) aan het einde van de levensduur;
- **Design for longevity:** Selectie van componenten (bv. polymeren, additieven) die de levensduur van het asfalt verlengen en onderhoud verminderen;
- **Design for recyclability:** Selectie van componenten die compatibel zijn met meervoudige recyclagerondes zonder significant kwaliteitsverlies.

Concrete ecodesignstrategieën die aan bod kunnen komen zijn bijvoorbeeld:

- Het ontwerpen van asfaltmengsels met het oog op een eenvoudige scheiding van de verschillende componenten (steenslag, zand, vulstof, bitumen) aan het einde van de levensduur, om zuivere materiaalstromen voor recyclage te bekomen. Complementair aan het ontwerp zijn ook innovatieve scheidingstechnieken (zoals solventextractie of pyrolyse) belangrijk om de initiële componenten te recupereren (zie §2.2.7 ‘Toekomstige ontwikkelingen’);
- De selectie van additieven en polymeren die compatibel zijn met herhaaldelijke recyclage, zonder verlies van kwaliteit of functionaliteit van het asfaltmengsel;
- Het gebruik van groen of biogebaseerd bitumen dat, mits duurzaam geproduceerd en rekening houdend met de volledige levenscyclus (inclusief bv. landgebruik), een lagere milieu-impact heeft dan zijn fossiele tegenhanger;
- Het optimaliseren van de levensduur en herstelbaarheid van asfaltverhardingen, bijvoorbeeld door zelfherstellend vermogen, om de vervangingsfrequentie te verminderen.

Een systematische bespreking van ecodesign maakt duidelijker hoe hogere R-strategieën, zoals Rethink en Reduce, in de asfaltsector kunnen doorwerken (Ness & Xing, 2017)

Algemene ecodesignprincipes, zoals het vermijden van onomkeerbaar verbonden materialen en het gebruik van demonteerbare verbindingen, kunnen als leidraad dienen. Voor asfalt betekent dit vooral dat ontwerpkeuzes worden beoordeeld op hun effect op latere recycleerbaarheid, technische levensduur en materiaalwaarde.
Benodigde informatie en haalbaarheid: Ecodesignstrategieën zijn beschreven in de literatuur (LiDS-wheel) en in wegenbouwkundig onderzoek (OCW); de vertaling naar mengselontwerp vraagt afstemming met wegbeheerders en met de technische voorschriften (SB 250). Een kwalitatieve bespreking is haalbaar; kwantificering van levensduureffecten niet zonder langetermijnmonitoring.

2.2.5 Circulaire businessmodellen

Analyse van het hiaat:
De huidige BBT-studie is sterk technisch georiënteerd en focust vooral op productieprocessen en emissies. Daardoor komt de rol van circulaire businessmodellen minder aan bod. Dat is begrijpelijk vanuit de juridische scope van een BBT-studie, maar zulke

modellen kunnen wel relevant zijn als ze de toepassing van circulaire technieken mogelijk maken of versterken. Denk bijvoorbeeld aan DBFM-contracten (Design, Build, Finance & Maintain), prestatiegerichte aanbesteding, deelgebruik van kapitaalintensieve installaties of financieringsmodellen die investeringen in levensduurverlenging en hoogwaardige recyclage ondersteunen.

Concrete acties voor de BBT-auteur:
- Product-dienstsystemen en prestatiegerichte contracten: beschrijf bijvoorbeeld DBFM-contracten, waarbij de opdrachtnemer of het consortium gedurende de contractperiode instaat voor ontwerp, bouw, financiering en onderhoud. Bespreek hoe de contractvoorwaarden investeringen in technische levensduur, onderhoud en recycleerbaarheid kunnen stimuleren;
- Deelplatformen (R1 Rethink): verken de mogelijkheden voor gezamenlijk gebruik van kapitaalintensieve activa (machines en transportmiddelen) om drempels voor circulaire innovatie te verlagen;
- Financiële instrumenten: bespreek modellen zoals leasing, pay-per-use en modulaire installaties die specifiek gericht zijn op de transitie naar circulaire asfalttechnieken;
- Verbinding tussen techniek en organisatie: maak duidelijk hoe organisatorische modellen de technische haalbaarheid van circulaire oplossingen kunnen ondersteunen.

Benodigde informatie en haalbaarheid:
Informatie over circulaire businessmodellen is beschikbaar via kennisplatforms zoals Vlaanderen Circulair en via praktijkvoorbeelden uit de bouwsector, bijvoorbeeld rond circulaire aanbestedingen. Het is haalbaar om deze modellen kwalitatief te beschrijven en te koppelen aan de asfaltsector. De directe vertaling naar vergunningsvoorwaarden blijft moeilijk, omdat de regelgeving vooral gericht is op procesvoering en emissies (Pieroni, McAloone, & Pigosso, 2019)
Daarom worden deze modellen in deze case verkennend besproken.

2.2.6 Indicatoren voor circulariteit

Analyse van het hiaat:
Een aandachtspunt in de huidige BBT-studie is het ontbreken van kwantitatieve maatstaven om circulariteit van asfaltcentrales en de sector als geheel op te volgen. Zonder gedragen indicatoren blijft het moeilijk om installaties te vergelijken, vooruitgang op te volgen of sectorbrede ambities te onderbouwen. Zulke indicatoren hoeven niet meteen tot een verplicht KPI-kader te leiden, maar kunnen wel helpen om de circulariteitsanalyse concreter te maken.

Concrete acties voor de BBT-auteur:
- Mogelijke indicatoren zijn onder meer:
  - het percentage gerecycleerde content, uitgesplitst naar materiaaltype, zoals asfaltgranulaat, secundaire toeslagstoffen en gerecupereerde bindmiddelen;
  - de verhouding tussen primaire en secundaire bitumineuze bindmiddelen en vulstoffen;
  - de gemiddelde technische levensduur van asfaltverhardingen, voor zover hierover bestaande gegevens beschikbaar zijn uit bouwtechnisch onderzoek, praktijkmonitoring of bronnen zoals het OCW;
  - de hoeveelheid niet-recycleerbare afvalstromen per ton geproduceerd asfalt;
  - de koolstofvoetafdruk (LCA) over de volledige keten, voor zover beschikbaar uit bestaande LCA-studies;
  - de koppeling van indicatoren aan R-strategieën, zodat zichtbaar wordt of de sector opschuift naar hoogwaardigere recyclage of andere strategieën hoger op de R-ladder.

Benodigde informatie en haalbaarheid:
Voor deze indicatoren zijn productie- en samenstellingsgegevens van asfaltcentrales nodig. Een deel van die data, zoals inputstromen en recyclagepercentages, is al beschikbaar via kwaliteitsborging en CE-markering. Andere gegevens, zoals gemiddelde levensduur of integrale koolstofvoetafdruk, vragen langdurige monitoring of gestandaardiseerde rekenmethoden. De haalbaarheid verschilt dus per indicator en hangt mee af van de manier waarop exploitanten en wegbeheerders data registreren (Haupt, Vadenbo, & Hellweg, 2016); (Linder, Sarasini, & van Loon, 2017); (Potting, Hekkert, Worrell, & Hanemaaijer, 2017)

2.2.7 Toekomstige ontwikkelingen

Analyse van het hiaat:
Hoewel de huidige BBT-studie een hoofdstuk wijdt aan “Technieken in opkomst”, ontbreekt nog een bredere toekomstverkenning rond circulaire asfaltproductie. De huidige analyse kijkt vooral naar verbeteringen van bestaande processen. Een aanvullende verkenning van technieken met een lagere Technology Readiness Level (TRL) kan de sector informeren over langetermijnmogelijkheden en relevante onderzoeksvragen.

Concrete acties voor de BBT-auteur:
- Geavanceerde terugwinningstechnieken: verken solventextractie voor de scheiding en terugwinning van bindmiddel en minerale bestanddelen. Behandel pyrolyse afzonderlijk als thermochemische omzetting, waarbij de organische fractie verandert en het oorspronkelijke bitumen niet zonder meer wordt teruggewonnen. Bespreek per techniek de kwaliteit en bestemming van de teruggewonnen fracties, energiegebruik, emissies en de omgang met historische verontreinigingen, zoals teerhoudend asfalt;
- Biogebaseerde alternatieven: verken hernieuwbare bindmiddelen op basis van lignine, plantaardige oliën of algenvetten;
- Digitale enablers: beschrijf hoe materiaalpaspoorten, traceersystemen, blockchain en *Internet of Things* (IoT) de traceerbaarheid en hoogwaardige valorisatie van materiaalstromen kunnen faciliteren;
- Circulair productontwerp: neem concepten op voor asfaltverhardingen die ontworpen zijn op eenvoudige demontage en volledige herstelbaarheid.

Benodigde informatie en haalbaarheid:
Informatie over deze technieken is beschikbaar via academische literatuur, Europese onderzoeksprojecten (Horizon Europe) en sectororganisaties. Een kwalitatieve beschrijving van het potentieel en de randvoorwaarden is haalbaar. Voor technieken met een lage TRL (TRL 1–4, fundamenteel onderzoek tot laboratoriumvalidatie) is een diepgaande economische haalbaarheidsstudie nog niet realistisch. De nadruk ligt daarom op technologische potentie, onzekerheden en voorwaarden voor opschaling.

2.3 Integratie van circulariteit in de BBT-methodologie

De voorgaande hiatenanalyse identificeerde thematische verbetermogelijkheden: LCA-denken, urban mining, R-hiërarchie, ecodesign, businessmodellen, indicatoren en toekomstige ontwikkelingen. In deze paragraaf wordt vertaald waar deze inzichten een plaats kunnen krijgen in de bestaande hoofdstukstructuur van een BBT-studie, per hoofdstuk van de BBT-template.

2.3.1 Procesbeschrijving

In het hoofdstuk over de procesbeschrijving kan meer aandacht gaan naar processen en activiteiten die bijdragen aan circulariteit, hun impact, mogelijke cross-media-effecten en de informatie die nodig is om die impact te beoordelen.

De data voor een diepgaande circulariteitsanalyse, zoals gedetailleerde massabalansen, samenstelling van reststromen of gegevens voor levenscyclusdenken, zijn niet altijd standaard beschikbaar. De BBT-auteur kan deze informatie gericht opvragen bij bedrijven, sectorfederaties en ketenpartners. Waar kwantitatieve data ontbreken, kan worden gewerkt met literatuur, expertinschattingen en kwalitatieve analyse. Aannames en beperkingen worden daarbij expliciet vermeld. Waar bedrijfsgevoelige informatie nodig is, kan de BBT-auteur werken met geaggregeerde gegevens, vertrouwelijke input of kwalitatieve expertinschattingen.

Voor asfalt zijn vooral de volgende processen en activiteiten relevant. Per onderdeel kan worden aangegeven hoe het bijdraagt aan circulariteit, welke cross-media-effecten mogelijk zijn en welke informatie nodig is voor de beoordeling.

<u>Processen die bijdragen aan circulariteit:</u>

1. Gebruik van asfaltgranulaat (AG):
    - Impact:
        - Vermindert de vraag naar primaire grondstoffen zoals nieuwe aggregaten en bitumen, waardoor de milieu-impact van ontginning en productie wordt verlaagd;
        - Verlaagt transportafstanden en daarmee samenhangende emissies, aangezien AG lokaal wordt ingezameld en verwerkt, terwijl primaire grondstoffen vaak over langere afstanden worden getransporteerd;
        - Verlaagt het energieverbruik over de keten doordat minder primaire grondstoffen moeten worden gewonnen en geproduceerd; in de centrale zelf stijgt het energieverbruik door het verwarmen van AG (vuistregel 10 tot 15% per ton bij warme toevoeging).
    - Cross-media-effecten:
        - Kan leiden tot hogere emissies van vluchtige organische stoffen (VOS), polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) en benzeen tijdens de productie, met name bij het verwarmen van AG in de paralleltrommel; de omvang hangt af van de kwaliteit van het asfaltgranulaat en de gebruikte procestechnologie;
        - Kan geurhinder veroorzaken voor omwonenden van de asfaltcentrale als gevolg van deze emissies;
        - Kan invloed hebben op de technische prestaties en levensduur van het asfaltmengsel, afhankelijk van de kwaliteit en homogeniteit van het AG;
    - Benodigde info:
        - Percentage AG in verschillende asfaltmengsels en de invloed op de mechanische en prestatiegerelateerde eigenschappen van het eindproduct;
        - Kwaliteit en homogeniteit van het AG, inclusief de aanwezigheid van verontreinigingen en de verouderingsgraad van het bitumen;
        - Oorsprong en transportafstanden van het AG, om de milieu-impact van transport te kunnen beoordelen;
        - Vergelijking van het energieverbruik en de emissies bij de productie van asfaltmengsels met en zonder AG;
        - De beschikbaarheid van deze gedetailleerde data kan variëren. De BBT-auteur dient dit via gerichte bevraging bij bedrijven en sectorfederaties, aangevuld met literatuuronderzoek, te maximaliseren. Als data schaars zijn, kan een kwalitatieve analyse of onderbouwde schatting (met duidelijke vermelding van aannames) noodzakelijk zijn.

2. Interne recyclage van afgekeurde productiemengsels en proefstukken:
   - Impact:
     - Vermindert de hoeveelheid afval die ontstaat bij de asfaltproductie en voorkomt dat waardevolle grondstoffen verloren gaan;
     - Verlaagt de vraag naar nieuwe grondstoffen, waardoor de milieu-impact van ontginning en productie wordt verminderd.
   - Cross-media-effecten:
     - Kan stof- en geluidshinder veroorzaken tijdens het breken en zeven van de afgekeurde mengsels en proefstukken, met mogelijke gevolgen voor de arbeidsomstandigheden en de omgeving van de asfaltcentrale;
     - Kan extra energieverbruik vergen voor het breken en zeven van het materiaal voordat het opnieuw kan worden gebruikt.
   - Benodigde info:
     - Hoeveelheid afgekeurde mengsels en proefstukken die ontstaan bij de asfaltproductie en het percentage dat daadwerkelijk wordt gerecycleerd of opnieuw ingezet;
     - Kwaliteit en samenstelling van de afgekeurde mengsels en proefstukken, om te beoordelen of ze geschikt zijn voor recyclage zonder afbreuk te doen aan de kwaliteit van het eindproduct;
     - Energieverbruik en emissies verbonden aan het breken, zeven en opnieuw inzetten van dit materiaal.

3. Gebruik van secundaire en alternatieve grondstoffen:
   - Impact:
     - Vermindert de afhankelijkheid van primaire, niet-hernieuwbare grondstoffen en draagt bij aan de verlenging van de levensduur van natuurlijke hulpbronnen;
     - Valoriseert afvalstromen uit andere sectoren, zoals staalslakken, rubber uit afvalbanden[4], glasafval, enz., waardoor de algehele milieu-impact van deze materialen wordt verlaagd;
     - Kan bijdragen aan lokale economie en werkgelegenheid door het stimuleren van nieuwe waardeketens en samenwerkingsverbanden tussen sectoren.
   - Cross-media-effecten:
     - Kan invloed hebben op de emissies tijdens de asfaltproductie, afhankelijk van de aard en samenstelling van de secundaire grondstoffen (bv. verhoogde uitloging, afwijkende verbrandingsproducten);
     - Kan gevolgen hebben voor de kwaliteit, homogeniteit en technische prestaties van het asfaltmengsel, wat een zorgvuldige selectie en dosering van secundaire grondstoffen vereist;
     - Kan leiden tot verschuiving van milieueffecten naar andere sectoren of levenscyclusfasen, wat een holistische benadering vereist om te verzekeren dat de netto milieuwinst positief is.
   - Benodigde info:
     - Type, hoeveelheid en samenstelling van de secundaire grondstoffen die worden gebruikt in asfaltmengsels, inclusief mogelijke verontreinigingen en variabiliteit in kwaliteit;
     - Oorsprong en transportafstanden van deze grondstoffen, om de milieu-impact van transport te kunnen beoordelen in vergelijking met primaire grondstoffen;
     - Invloed van de secundaire grondstoffen op de technische prestaties, technische levensduur en milieuprofiel (emissies, uitloging, recycleerbaarheid) van het asfaltmengsel over de volledige levenscyclus;

[4] Hierbij moet worden afgewogen of de inzet van rubbermeel in asfalt een hoogwaardige toepassing is voor de afvalbanden en of dit de toekomstige recycleerbaarheid van het asfalt niet bemoeilijkt.

- Potentiële toepassingen en afzetmarkten voor asfaltmengsels met secundaire grondstoffen, rekening houdend met eventuele technische of wettelijke beperkingen.

Processen en stromen die circulariteit kunnen beperken:

1. Gebruik van primaire grondstoffen (bitumen, aggregaten):
   - Impact: Hoewel het doel is om het gebruik van primaire grondstoffen te minimaliseren, is het belangrijk te erkennen dat een zekere hoeveelheid soms technisch noodzakelijk kan zijn om de kwaliteit en prestaties van een product met een hoog aandeel recyclaat te garanderen. De focus ligt op het reduceren van de afhankelijkheid en het vermijden van onnodig gebruik.
   - Cross-media-effecten: Energieverbruik en emissies bij productie en transport.
   - Benodigde info: Hoeveelheid primaire grondstoffen, oorsprong en transportafstanden, milieu-impact van ontginning.

2. Afvalproductie (bv. stof uit ontstoffing):
   - Impact: Materiaalverlies (inclusief de eventuele inzet van bijkomend materiaal voor immobilisatie of stabilisatie van te verwijderen materialen), mogelijke milieu-impact afhankelijk van afvaltype.
   - Cross-media-effecten: Energieverbruik voor afvalverwerking, transport van afval.
   - Benodigde info: Hoeveelheid en type afval, verwerkingsmethode, restfracties.

3. Energieverbruik in productieprocessen (bv. drogen en verwarmen van mineralen):
   - Impact: Uitputting van fossiele brandstoffen, broeikasgasemissies.
   - Cross-media-effecten: Luchtemissies (CO_2, NO_x, SO_2, stof), mogelijke impact op energienetwerk.
   - Benodigde info: Hoeveelheid en type brandstof, energieverbruik per ton asfalt, CO_2-emissies.

Deze analyse toont dat het gebruik van AG, interne recyclage van afgekeurde mengsels en inzet van secundaire grondstoffen belangrijke hefbomen zijn voor circulariteit in de asfaltsector. Tegelijk blijft een zorgvuldige afweging nodig. Materiaalwinst moet worden beoordeeld samen met emissies, energiegebruik, technische prestaties, contaminanten en toekomstige recycleerbaarheid. Daarvoor is informatie-uitwisseling nodig tussen asfaltproducenten, wegenbouwers, leveranciers van secundaire grondstoffen en onderzoeksinstellingen.

2.3.2 Kandidaat-BBT

In het hoofdstuk over kandidaat-BBT kan meer aandacht gaan naar technieken die processen circulairder maken. Daarbij wordt gekeken naar hun effect op materiaalgebruik, recyclage, levensduur, cross-media-effecten en de informatie die nodig is om de milieu-impact te beoordelen.

Deze paragraaf illustreert hoe kandidaat-BBT met een circulariteitsfocus kunnen worden geïdentificeerd en beschreven. Bij de opmaak van een concrete BBT-studie vult de auteur dit verder in op basis van sectorgegevens, literatuur en specifieke evaluaties.

Voorbeelden van relevante kandidaat-BBT zijn:

1. Technieken voor het gebruik van asfaltgranulaat (AG):
   - Warme toevoeging van AG in de paralleltrommel (4.3.13 en 4.3.14)
     - Maakt hogere aandelen asfaltgranulaat mogelijk; het standaardbestek begrenst het aandeel momenteel tot 70% voor onderlagen en laat het niet toe in toplagen. Het effectief toepasbare aandeel en de productkwaliteit hangen daarbinnen af van de installatie, de kwaliteit en homogeniteit van het granulaat, het mengselontwerp en de eisen van de beoogde toepassing.
     - Cross-media-effecten: kan leiden tot hogere emissies (VOS, PAK, benzeen) en geurhinder, met name bij direct gestookte paralleltrommel.
     - Benodigde info: % AG, kwaliteit en homogeniteit van AG, energieverbruik en emissies met/zonder AG, invloed op productkwaliteit en levensduur.
   - Koude toevoeging van AG (§3.3.3; §4.2)
     - Vermindert het gebruik van primaire grondstoffen. Volgens de BBT-studie is koude toevoeging in Vlaanderen enkel toegelaten voor onderlagen, met een bovengrens van 20% bitumineus materiaal; Europese normen voorzien 10 tot 30%, afhankelijk van het vochtgehalte en de kwaliteit van het granulaat en van technische grenzen zoals de maximale bedrijfstemperatuur. Die begrenzing is dus regelgevend en kwaliteitsgedreven, geen vaste technische limiet.
     - Cross-media-effecten: kan stoom- en geurvorming veroorzaken door temperatuurschok, vereist langere mengtijd en kan leiden tot lagere productkwaliteit.
     - Benodigde info: % AG, energieverbruik met/zonder koude toevoeging, invloed op productkwaliteit en emissies.

2. Technieken voor recyclage van afgekeurde mengsels (§4.2.3):
   - Breken en opnieuw inzetten van afgekeurde mengsels en proefstukken
     - Voorkomt afval en vermindert het gebruik van nieuwe grondstoffen.
     - Cross-media-effecten: kan stof- en geluidshinder veroorzaken tijdens het breken.
     - Benodigde info: hoeveelheid en kwaliteit van afgekeurde mengsels, % recyclage, energieverbruik en emissies bij breken en opnieuw inzetten.
     -
3. Technieken voor inzet van secundaire grondstoffen:
   - Gebruik van staalslakken, rubber, glas, enz. ter vervanging van primaire grondstoffen (§4.2.4 en §4.2.5)
     - Valoriseert afvalstromen en vermindert het gebruik van natuurlijke hulpbronnen.
     - Cross-media-effecten: kan invloed hebben op emissies, uitloging en technische prestaties van het asfalt, afhankelijk van het type materiaal.
     - Benodigde info: type, hoeveelheid en kwaliteit van secundaire grondstoffen, milieu-impact over de volledige levenscyclus, invloed op productkwaliteit en recycleerbaarheid.

4. Overige technieken die bijdragen aan circulariteit:
   - Asfalt bereid bij verlaagde temperatuur (§4.3.23):
     - Verlaagt energieverbruik en emissies, verlengt de verwerkbaarheid van het asfalt.
     - Cross-media-effecten: kan invloed hebben op de verdichtingsgraad en mechanische eigenschappen van het asfalt.
     - Benodigde info: energiebesparing, emissies, invloed op kwaliteit en levensduur van het asfalt.

Een levenscyclus- en ketenbenadering helpt om de milieuaspecten van deze technieken breder te beoordelen. Daarbij wordt rekening gehouden met materiaalstromen,

energieverbruik, emissies, afvalproductie en mogelijke verschuivingen van impact binnen de asfaltcentrale en in aanleverende of afnemende sectoren. Bestaande LCA-informatie, kwalitatief levenscyclusdenken, eenvoudige materiaalstroominzichten en risicobeoordelingen kunnen hierbij samen worden gebruikt.

Daarnaast kan het hoofdstuk kandidaat-BBT ook aangeven welke bestaande BBT verder uitgewerkt kunnen worden vanuit circulariteit en welke bijkomende kandidaat-BBT relevant kunnen zijn. De voorbeelden hieronder zijn illustratief en tonen welke richting een toekomstige BBT-studie kan uitwerken.

Bestaande BBT die verder kunnen worden uitgewerkt vanuit circulariteit:

- Gebruik van asfaltgranulaat (AG) (§3.3.3; §4.2.6; §4.3.13–4.3.14):
  - Onderzoek naar het effect van verschillende kwaliteiten en gradaties van AG op de verwerkbaarheid, mechanische eigenschappen en milieuprestaties van asfaltmengsels;
  - ontwikkeling van geavanceerde mengselontwerpen en productiemethoden die het aandeel AG in toplagen en speciale asfaltmengsels (bv. geluidsarm asfalt) kunnen verhogen zonder kwaliteitsverlies;
  - implementatie van kwaliteitscontrole- en traceringssystemen voor AG, gekoppeld aan een digitaal platform, om de inzet van hoogwaardig AG in nieuwe asfaltmengsels te optimaliseren.
- Recyclage van afgekeurde productiemengsels en proefstukken (§4.2.3):
  - Onderzoek naar de invloed van het percentage afgekeurd materiaal op de kwaliteit en milieuprestaties van nieuwe asfaltmengsels;
  - ontwikkeling van geavanceerde breek- en zeeftechnieken om de kwaliteit en zuiverheid van het gerecycleerde materiaal te verbeteren en stof- en geluidshinder te verminderen;
  - implementatie van een systeem voor de monitoring en traceerbaarheid van afgekeurde mengsels en proefstukken, om hun inzet in nieuwe asfaltmengsels te optimaliseren.
- Asfalt bereid bij verlaagde temperatuur (AVT) (§4.3.23):
  - Onderzoek naar de compatibiliteit van AVT-technieken met het gebruik van hoge percentages asfaltgranulaat en secundaire grondstoffen;
  - ontwikkeling van nieuwe bindmiddelen en additieven op basis van biogebaseerde grondstoffen die de verlaging van de verwerkingstemperatuur van AVT-mengsels verder kunnen optimaliseren;
  - uitvoering van pilootprojecten en langetermijnmonitoring om de technische levensduur en circulaire voordelen van AVT-mengsels in de praktijk aan te tonen en eventuele technische of milieugerelateerde belemmeringen te identificeren.

Bijkomende kandidaat-BBT die kunnen worden toegevoegd:

- Dynamisch materiaalmanagement en ‘urban mining’ van asfalt:
  - Real-time monitoring en karakterisering van asfaltpuin dat vrijkomt bij wegenwerken, gekoppeld aan een digitaal platform voor vraag en aanbod van asfaltgranulaat;
  - geavanceerde sorteertechnieken (bv. op basis van beeldherkenning of hyperspectrale analyse) om de kwaliteit en zuiverheid van asfaltpuin te verbeteren;
  - technieken voor de extractie van waardevolle componenten uit asfaltgranulaat, zoals polymeren of vezels, voor gebruik in andere toepassingen.
- Ecodesign van asfaltmengsels voor verbeterde recycleerbaarheid:

  - Ontwerp van asfaltmengsels met het oog op een eenvoudige scheiding van de componenten (bv. steenslag, zand, vulstof, bitumen) aan het einde van de levensduur;
  - gebruik van 'groene' bitumen op basis van biogrondstoffen of gemodificeerd met natuurlijke additieven voor een verbeterde verwerkbaarheid en recycleerbaarheid;
  - onderzoek naar zelfhelende asfaltmengsels, bijvoorbeeld met microcapsules die een verjongingsmiddel vrijgeven, gericht op levensduurverlenging en beperking van materiaalverbruik.
- Circulaire businessmodellen voor asfaltproductie:
  - Introductie van product-dienstcombinaties, waarbij asfaltproducenten niet alleen het asfaltmengsel verkopen maar ook de prestaties ervan over de volledige levensduur garanderen en onderhouden.
  - opzetten van materialenpaspoorten en traceringssystemen voor asfaltgranulaat, om de herkomst, kwaliteit en milieuvoordelen van gerecycleerd asfalt transparant te maken voor opdrachtgevers.
  - opzetten van ketensamenwerking (industriële symbiose): Concreet onderzoeken van de technische en economische haalbaarheid om specifieke reststromen van andere sectoren in te zetten. Bijvoorbeeld: de kwalificatie van staalslakken uit de metaalindustrie als hoogwaardig aggregaat, of het gebruik van gerecycleerde polymeren uit de kunststofindustrie als bitumenmodificator. Dit vereist het opstellen van materiaalpaspoorten en het afstemmen van kwaliteitsspecificaties.

De circulariteitstoets die vandaag vooral op bouwmaterialen is gericht, biedt ook aanknopingspunten voor de asfaltsector. Niet alle voorbeelden zijn rechtstreeks toepasbaar op asfaltgranulaat, maar het principe van materialen die geen storende stof vormen voor recyclage is wel relevant. Voor asfalt kan worden onderzocht welke materialen of additieven de kwaliteit van asfaltgranulaat bij recyclage verminderen en welke alternatieven dat effect kunnen beperken.

2.3.3 BBT-evaluatie

In het hoofdstuk over BBT-evaluatie kan circulariteit explicieter worden geïntegreerd als beoordelingscriterium. Dit vraagt geen volledig nieuwe kwantitatieve berekening, maar wel een meer gestructureerde bespreking van circulaire subcriteria. De beoordeling blijft voornamelijk kwalitatief en wordt onderbouwd met beschikbare data uit literatuur, sectorervaring en input van het begeleidingscomité. Het doel is om de afweging transparanter te maken, met de 9R-hiërarchie als leidraad.

Aan de hand van de volgende twee criteria zou circulariteit meegewogen kunnen worden in de BBT-evaluatie van asfaltcentrales:

1. Effect op het sluiten van materiaalkringlopen en de valorisatie van secundaire grondstoffen:
   Dit criterium evalueert in welke mate een techniek bijdraagt tot het sluiten van materiaalkringlopen en het valoriseren van afval- en secundaire stromen. Hierbij wordt gekeken naar:
   - Het potentieel om primaire grondstoffen (bitumen, aggregaten) te vervangen door gerecycleerde of secundaire grondstoffen[5], zoals asfaltgranulaat, dakbitumen en rubbermeel. Een hoger vervangingspercentage wordt positief beoordeeld voor zover de productkwaliteit, technische levensduur en toekomstige recycleerbaarheid

[5] Voor zover hun inzet voldoet aan de toepasselijke materiaal- en afvalregelgeving, waaronder eventuele voorwaarden voor bijproductstatus, einde-afvalstatus of toegelaten gebruik als afvalstof.

behouden blijven en de bijkomende milieubelasting de verwachte ketenwinst niet tenietdoet;
- de mate waarin de techniek afstemming en samenwerking met andere sectoren faciliteert voor de uitwisseling van afval- en secundaire stromen (bv. urban mining van asfalt uit wegeninfrastructuur);
- de impact op afvalproductie en -verwerking in de eigen sector. Technieken die afval en productieverliezen minimaliseren en hergebruik maximaliseren scoren beter.

2. Invloed op recycleerbaarheid, levensduur en toekomstige materiaalkringlopen:
Dit criterium beoordeelt hoe een techniek de toekomstige recycleerbaarheid en de levensduur van het eindproduct van asfalt beïnvloedt. Aspecten die hierbij in beschouwing worden genomen zijn:
   - De mate waarin een techniek de scheiding van asfaltcomponenten aan het einde van de levensduur vergemakkelijkt of bemoeilijkt (bv. door vermenging van niet-compatibele materialen);
   - de invloed op de kwaliteit en homogeniteit van asfaltgranulaat bij toekomstige recyclage. Technieken die zuivere hoogwaardige granulaten opleveren scoren beter;
   - potentiële beperkingen die de techniek oplegt aan toekomstige herverwerking en toepassing in nieuwe asfaltproducten (bv. door veroudering of degradatie van de materialen);
   - de mate waarin een techniek bijdraagt aan de verlenging van de functionele levensduur van de asfaltverharding, bijvoorbeeld door verbeterde weerstand tegen slijtage of veroudering.

Deze twee criteria maken de circulariteitsbijdrage van asfalttechnieken explicieter zichtbaar in de BBT-evaluatie. De beoordeling blijft deel van de bredere BBT-afweging, waarin ook milieu-impact, technische haalbaarheid, economische haalbaarheid en eventuele keteneffecten worden meegenomen.

2.3.4 Aanbevelingen

In het hoofdstuk over aanbevelingen kan circulariteit sterker worden meegenomen in aanbevelingen naar VLAREM en VLAREMA, en in mogelijke met de beste beschikbare technieken geassocieerde milieuprestatieniveaus (BBT-GMPN; Engelse BREF-term: BAT-AEPL) voor materiaalgebruik en afval. De voorbeelden hieronder moeten worden gelezen als pistes voor beleidsmatige of sectorale opvolging. Ze zijn niet automatisch geschikt als directe VLAREM- of BBT-aanbeveling. Daarvoor is telkens bijkomende technische, juridische en beleidsmatige onderbouwing nodig. Onderstaande indicatoren zijn voorstellen voor verdere uitwerking. Er worden in dit rapport geen numerieke BBT-prestatieniveaus voor vastgesteld. Daarvoor zijn gegevens nodig over behaalde prestaties, toepassingsvoorwaarden en een eenduidige berekeningswijze.

Mogelijke circulaire aanbevelingen zijn:
- De BBT-studie kan signaleren welke inzetpercentages van asfaltgranulaat en secundaire grondstoffen technisch haalbaar zijn onder bepaalde randvoorwaarden. De vertaling naar bindende beleidsdoelstellingen of minimumeisen voor gerecycleerde content valt buiten de scope van de BBT-studie zelf, maar kan relevant zijn voor circulaire aanbestedingscriteria, technische voorschriften of productregelgeving;
- onderzoek kan uitwijzen of rapportage over primaire, secundaire en gerecycleerde grondstoffen nuttig is, bijvoorbeeld als onderdeel van de bestaande milieu- of materiaalrapportage. Dat kan de transparantie vergroten en opvolging van sectorale circulariteitsdoelstellingen ondersteunen;

- een mogelijke benchmark (bv. BBT-GMPN) voor het percentage asfaltgranulaat in verschillende asfalttoepassingen, gedifferentieerd naar toplaag en onderlagen;
- een mogelijke indicator (plafondwaarde) voor de hoeveelheid niet-recycleerbare afvalstoffen die per ton geproduceerd asfalt ontstaan;
- op basis van de analyse van de best presterende technieken, kunnen streefwaarden worden voorgesteld voor het percentage gerecycleerde en secundaire materialen in verschillende asfalttoepassingen. Deze dienen als benchmark voor de sector en als input voor beleid;
- technieken die de levensduur van asfaltverhardingen kunnen verlengen, zoals optimalisatie van het mengselontwerp, geschikte bindmiddelen of hersteltechnieken, worden beoordeeld op hun bijdrage aan circulariteit doordat zij de vervangingsfrequentie en het grondstoffengebruik kunnen verminderen. Daarbij moet ook worden nagegaan of zij de toekomstige recycleerbaarheid niet bemoeilijken.

Andere mogelijke circulaire aanbevelingen:
- Verplichte implementatie van een materiaalstroomanalyse en -boekhouding op bedrijfsniveau, als instrument voor circulair materialenbeheer;
- opname van circulariteitscriteria in openbare aanbestedingen voor wegenprojecten. Bijvoorbeeld door een minimumpercentage gerecycleerde content of een plafond op de milieu-impact per ton asfalt te eisen;
- actief ondersteunen en uitbouwen van bestaande platformen (bv. binnen sectorfederaties of kenniscentra) om de uitwisseling van goede praktijken, technische data en innovaties rond circulaire asfalttechnieken te faciliteren;
- financiële en fiscale stimuli voor R&D rond circulaire asfalttechnieken, zoals chemische recyclage van bitumen, biogebaseerde bitumenvervangers, en methoden voor oneindige recyclage van asfalt. De BBT-studie kan diverse technische en investeringsdrempels identificeren. Er wordt aanbevolen dat de bevoegde overheidsinstanties de haalbaarheid en effectiviteit van gerichte financiële en fiscale stimuli onderzoeken om R&D en de marktintroductie van veelbelovende circulaire technieken te versnellen.

Deze aanvullende aanbevelingen kunnen de verdere ontwikkeling van een circulaire asfaltsector ondersteunen. Ze maken zichtbaar waar materiaalkringlopen, urban mining en afvalpreventie een plaats kunnen krijgen in operationele of beleidsmatige kaders. Voor de BBT-studie blijft vooral van belang dat de technische mogelijkheden, randvoorwaarden en beperkingen helder worden beschreven. De uiteindelijke vertaling naar bindende voorwaarden, stimulansen of beleidsinstrumenten vraagt telkens een afzonderlijke beoordeling.

3 ANALYSE VAN DE BBT-STUDIE VOOR DE AARDAPPEL-, GROENTE- EN FRUITVERWERKENDE INDUSTRIE (AGF)

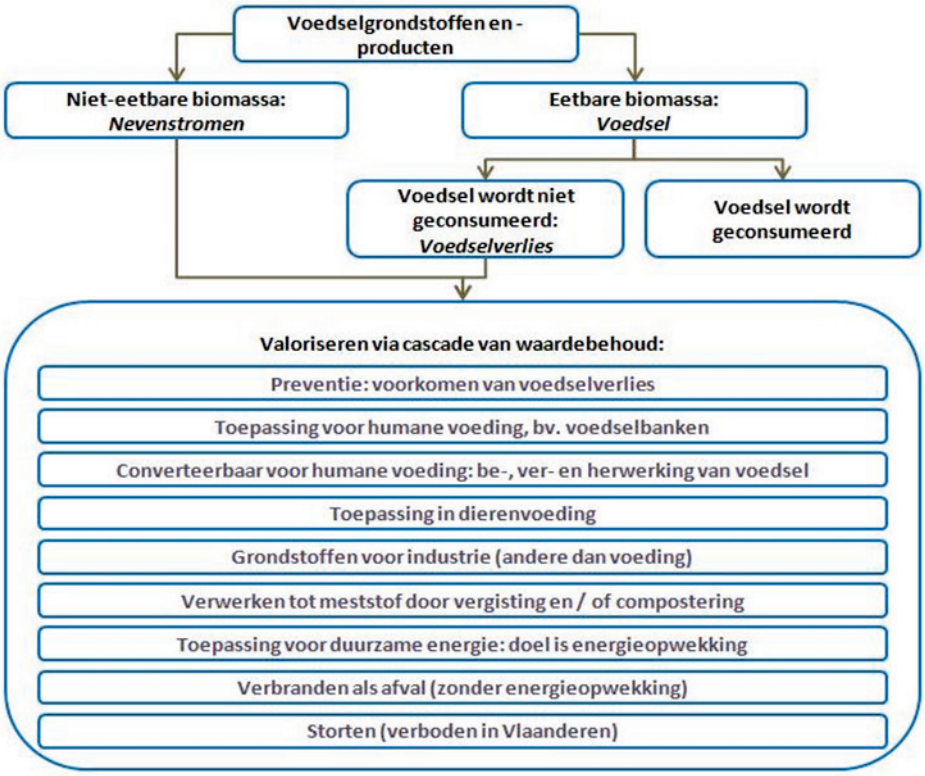
De aardappel-, groente- en fruitverwerkende industrie (AGF-industrie) is een relevante case voor circulariteit door het grote volume aan organische neven- en reststromen, de mogelijkheden voor hoogwaardige valorisatie, nutriëntenkringlopen, waterhergebruik en cascadering.[6] Daarbij moet worden erkend dat de biologische kringloop afhankelijk is van een gezonde bodem en van duurzaam beheer van organische stof en nutriënten in de primaire productiefase. Hoewel teelttechnieken buiten de directe scope vallen van een BBT-studie voor de verwerkende industrie, kan het levenscyclusdenken wel signaleren wanneer de circulariteit van verwerkingsprocessen afhankelijk is van upstream randvoorwaarden in de landbouw. Innovatieve technieken zoals bioraffinage en cascadering van voedselresten bieden kansen voor een meer circulaire benadering in deze sector. De case laat vooral zien hoe procesvoering, productverlies, waterstromen, nevenstromen, verpakkingen en ketenafspraken samen bepalen hoeveel materiaalwaarde behouden blijft (Papargyropoulou, Lozano, Steinberger, Wright, & Ujang, 2014)

3.1 Huidige opname van circulariteitsaspecten

De BBT-studie voor de AGF-sector neemt circulariteit op verschillende plaatsen mee. De nadruk ligt op het beperken van grondstoffengebruik, het valoriseren van nevenstromen en het sluiten van water- en nutriëntenkringlopen.

Een sterk punt in de BBT-studie is de aandacht voor materiaalverlies en hoogwaardige valorisatie van nevenstromen, zonder afbreuk te doen aan de kwaliteit van de eindproducten. In §4.2 worden diverse technieken besproken om nevenstromen te valoriseren, van directe valorisatie van nevenstromen tot de winning van hoogwaardige componenten zoals vitamines en vezels (zie §4.2.4). De studie sluit daarbij aan bij de cascade van waardebehoud voor biomassa. Die cascade geeft in principe voorrang aan toepassingen met hogere materiaal- of voedingswaarde boven laagwaardigere routes, zoals vergisting of compostering (zie Figuur 4).

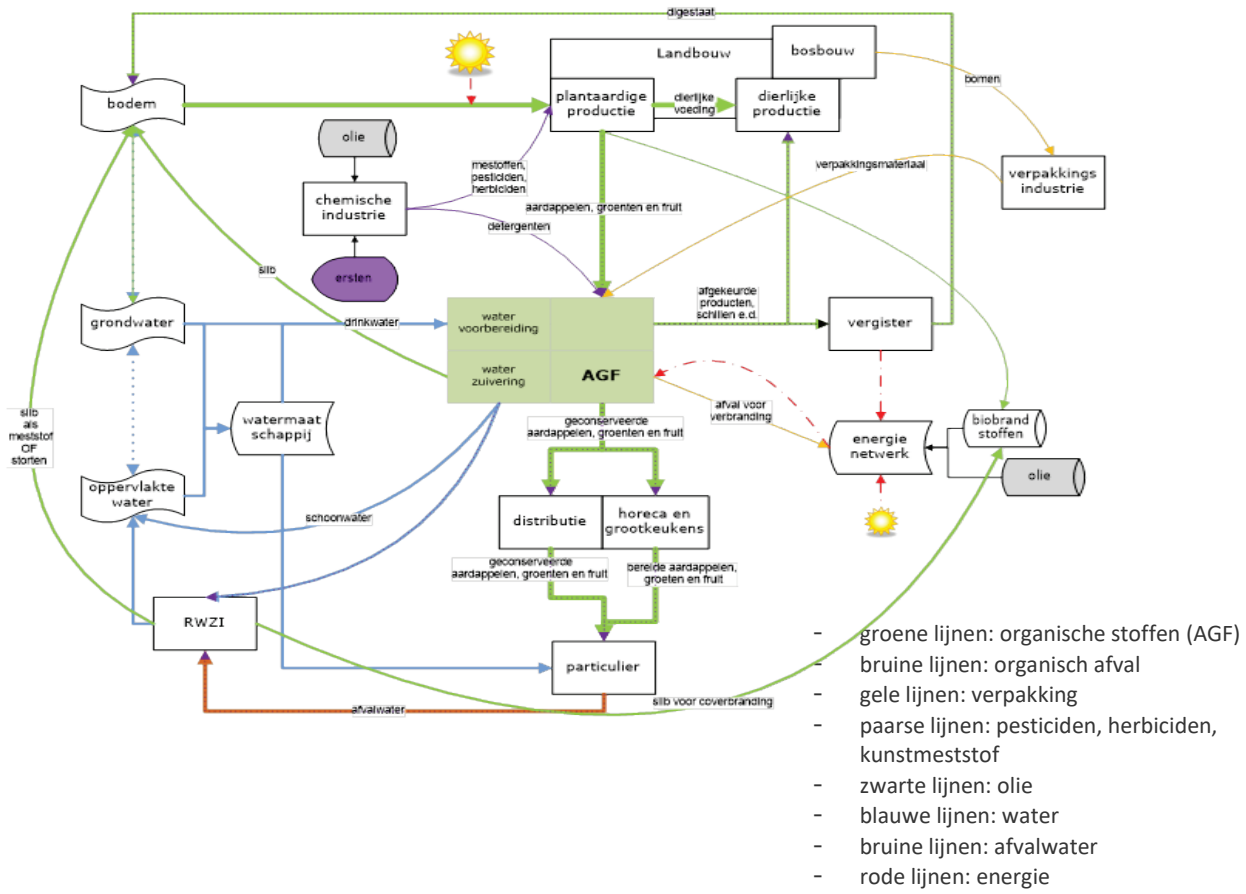
[6] Paragraaf- en figuurnummers in dit hoofdstuk verwijzen naar de BBT-studie voor de AGF-sector (Van den Abeele, Vanassche, Weltens, & Huybrechts, 2015), tenzij anders vermeld.



Figuur 4: Cascade van waardebehoud (Figuur 46 in Van den Abeele et al., 2015)

De huidige BBT-studie besteedt relatief weinig aandacht aan intermediaire valorisatieroutes tussen toepassing als voeding of veevoeder en laagwaardigere verwerking via vergisting of compostering. Voorbeelden zijn bioraffinage naar functionele ingrediënten, platformchemicaliën, biogebaseerde materialen, surfactanten of bioplastics. Zulke routes kunnen een hogere materiaalwaarde behouden, maar vragen ook een beoordeling van technische haalbaarheid, marktvraag, zuiverheid van de stromen, nodige voorbehandeling en netto milieu-impact.

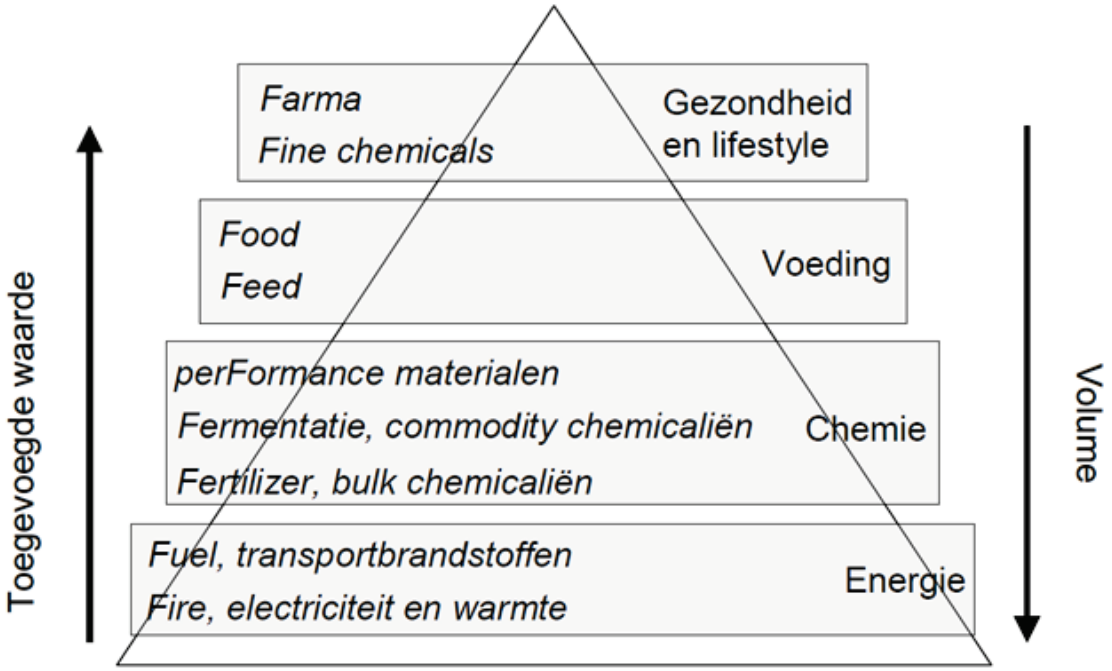
De BBT-studie brengt ook de materiaal- en energiestromen van de sector in kaart in §3.15 en Figuur 5, en bespreekt hoe de sector verbonden is met andere sectoren. Daarbij komen onder meer landbouw, veevoeder, energieproductie, afvalwaterzuivering en bemesting in beeld. In §4.1 worden technieken besproken om het gebruik van nieuwe materialen te verminderen, zoals het beperken van verpakkingen en het doorgedreven sorteren van afval voor betere recycleerbaarheid.



Figuur 5: Energie- en materiaalstromen in de productketen (Figuur 43 in Van den Abeele et al., 2015)

Verder komen technieken aan bod om water- en nutriëntenkringlopen te sluiten, zoals hergebruik van proceswater (§4.9.3 en §4.9.6) en terugwinning van nutriënten uit afvalwater (§4.2.5 en §4.2.6). Bij de evaluatie en selectie van de Beste Beschikbare Technieken wordt al rekening gehouden met circulariteitscriteria zoals afvalproductie, grondstoffengebruik en effecten op de keten, naast impact op milieu, technische haalbaarheid en financiële aspecten.

De AGF-studie neemt circulariteit al op verschillende manieren mee, met aandacht voor materiaalkringlopen, valorisatie van nevenstromen, waterhergebruik en de interactie met andere sectoren. De focus ligt vooral op het efficiënt gebruik van grondstoffen en de hoogwaardige valorisatie van nevenstromen binnen de eigen sector, zoals geïllustreerd in Figuur 6.



Figuur 6: Toegevoegde waarde van landbouwproducten (Figuur 47 in Van den Abeele et al., 2015)

Tegelijk toont de analyse waar de circulariteitsbenadering nog breder kan worden uitgewerkt. Zo kan meer aandacht gaan naar de milieu-impact van AGF-producten over de volledige levenscyclus, inclusief de teeltfase. Ook innovatieve businessmodellen en samenwerkingsvormen die circulariteit ondersteunen, komen minder expliciet aan bod. Naast de beschrijving van keteneffecten in §3.15 bevat de AGF-studie in §4.12 al expliciete maatregelen binnen de keten: het beperken van koper en zink in diervoeding, de toelevering van zacht water door leveranciers van leiding- of grijswater, en het hergebruik van afvalwater in andere sectoren. De verbetermogelijkheid ligt daarom niet in het toevoegen van een ketenperspectief, maar in een systematischer beoordeling van de circulariteitsbijdrage en de randvoorwaarden van zulke maatregelen. De volgende paragraaf werkt dit verder uit.

3.2 Hiaten en verbetermogelijkheden

De volgende paragrafen bespreken welke circulariteitsaspecten in de bestaande BBT-studie al aanwezig zijn en waar een toekomstige studie bijkomende verdieping kan bieden.

3.2.1 Circulariteit doorheen de keten

Analyse van het hiaat:
De BBT-studie beschrijft de interacties van de AGF-sector met andere sectoren op het vlak van materiaal- en energiestromen. Daarbij komen onder meer de landbouw aan de inputzijde en de veevoeder- en energiesector aan de outputzijde in beeld. De analyse blijft echter vooral algemeen en beschrijvend. De omvang, kwaliteit, bestemming en milieu-impact van de stromen worden nog niet systematisch gebruikt om de circulariteitswinst in de keten te beoordelen.

Concrete acties voor de BBT-auteur:
Een systematische analyse van materiaalstromen in de keten, bijvoorbeeld via Material Flow Analysis (MFA) of Life Cycle Assessment (LCA), kan helpen om circulaire effecten in de waardeketen beter te begrijpen. Daarmee kunnen processen en ketenschakels worden geïdentificeerd waar veel materiaalwaarde verloren gaat, of waar een hoogwaardigere toepassing mogelijk is.

Een bredere ketenanalyse maakt ook indirecte effecten zichtbaar. Ze toont bijvoorbeeld hoe maatregelen in de AGF-sector afvalproductie, grondstoffengebruik en recyclagemogelijkheden in andere sectoren beïnvloeden. Zo kan worden vermeden dat een maatregel binnen de eigen sector goed lijkt, maar vanuit ketenperspectief minder gunstig is. Voor de AGF-sector is daarbij vooral de relatie met de primaire productiefase (landbouw) en de voedings- en voederindustrie relevant. Veel biomassa wordt ingevoerd en verwerkt, en kan na verwerking aanleiding geven tot neven- en reststromen waarvoor vandaag al bestemmingen bestaan. De vraag is of die bestemmingen de materiaalwaarde voldoende behouden, of dat hoogwaardigere routes mogelijk zijn. Ook bodemkwaliteit, watergebruik, biodiversiteit en duurzaam nutriëntenbeheer kunnen, op basis van beschikbare kennis, worden meegewogen als upstream randvoorwaarden voor de biologische kringloop.

Benodigde informatie en haalbaarheid:
Voor de BBT-auteur betekent dit dat levenscyclusdenken explicieter kan worden meegenomen. Dat kan op basis van bestaande literatuur, sectorale LCA's, EPD's, materiaalstroomgegevens en input uit het begeleidingscomité. Een nieuwe LCA is niet nodig, maar de belangrijkste keteneffecten kunnen wel kwalitatief worden benoemd.
MFA en LCA worden hier verkennend genoemd als mogelijke informatiebronnen of verdiepende instrumenten. In het generieke evaluatiekader worden zij niet als standaardvereiste overgenomen; hoofdstukken 5 en 6 vertalen dit naar gerichte kwalitatieve vragen die binnen de bestaande BBT-template hanteerbaar blijven.

3.2.2 Systeeminnovaties en circulaire businessmodellen

Analyse van het hiaat:
De studie richt zich vooral op technische maatregelen voor materiaalefficiëntie binnen het huidige productie- en consumptiepatroon. Daardoor komen systeeminnovaties en circulaire businessmodellen minder aan bod. Het gaat bijvoorbeeld om product-dienstsystemen, herlokalisering van productie, aangepaste logistiek voor retourstromen, herbruikbare verpakkingssystemen of modellen waarbij bedrijven verantwoordelijkheid opnemen voor materialen over een langere levensduur.

Concrete acties voor de BBT-auteur:
- Systeeminnovaties: besteed aandacht aan innovaties die het materiaalgebruik en de afvalproductie kunnen verminderen door in te zetten op gedeeld gebruik, herstel en het sluiten van korte ketens (Bocken, de Pauw, Bakker, & van der Grinten, 2016)
- Praktijkvoorbeelden: neem concrete voorbeelden op ter inspiratie, zoals herbruikbare verpakkingssystemen (poolsystemen, retourverpakkingen) die via product-dienstmodellen worden aangeboden. Composteerbare verpakkingen kunnen in specifieke toepassingen een meerwaarde bieden (bv. waar hergebruik logistiek niet haalbaar is of waar verpakking en voedselrest samen worden verwerkt), maar scoren lager op de R-hiërarchie dan herbruikbare alternatieven en vormen op zich geen gesloten kringloop.

Benodigde informatie en haalbaarheid:
Voor het beschrijven van deze modellen is informatie nodig over bestaande samenwerkingsverbanden, pilots en praktijkvoorbeelden binnen of nabij de sector. Het is haalbaar om succesvolle voorbeelden en randvoorwaarden kwalitatief te beschrijven. De formele validatie als BBT blijft moeilijker, omdat businessmodellen niet altijd rechtstreeks samenvallen met een techniek of procesmaatregel. Daarom worden ze vooral behandeld als mogelijke enablers voor circulaire technieken en materiaalstromen.

3.2.3 Circulair productontwerp

Analyse van het hiaat:
In §4.1 van de AGF-studie komen al enkele ecodesignaspecten aan bod, vooral rond het verminderen van verpakkingen en het beperken van grondstofverliezen in het verwerkingsproces. Een bredere kijk op het ontwerp van producten, verpakkingen, productieprocessen en installaties kan de circulariteitsanalyse verder versterken. Ontwerpkeuzes bepalen immers vaak al vroeg of productverlies ontstaat, of nevenstromen zuiver blijven, of verpakkingen recycleerbaar zijn en of installaties flexibel kunnen worden aangepast.
Omdat het in de AGF-sector om biomassastromen gaat, is ook de relatie met landbouwgronden relevant. Wanneer een techniek sterk afhankelijk is van primaire biomassastromen, kan de BBT-auteur signaleren dat de circulariteits- en milieuwinst mede afhangt van upstream randvoorwaarden, zoals bodemkwaliteit, biodiversiteit en duurzaam nutriëntenbeheer. Dit betekent niet dat teelttechnieken zelf als BBT voor de verwerkende industrie worden beoordeeld, maar wel dat de ketencontext zichtbaar wordt gemaakt.

Concrete acties voor de BBT-auteur:
Voor de BBT-auteur kan circulair productontwerp op meerdere niveaus worden bekeken:

- Verwerkte AGF-producten: optimalisatie van portiegroottes om voedselverlies te beperken, productformuleringen die nevenstromen valoriseren, en producten met langere houdbaarheid.
- Verpakkingen: minimale verpakking, monomaterialen, recycleerbare of composteerbare materialen en herbruikbare verpakkingssystemen. Ook de scheiding van functionele lagen, zoals etiket, sealfolie en bakje, verdient aandacht om recyclage te ondersteunen.
- Productie-installaties en -lijnen: modulair ontwerp, eenvoudige reiniging, beperking van productverlies en waterverbruik, energie-efficiënt ontwerp en integratie van systemen voor waterrecyclage. Demonteerbare verbindingen kunnen helpen om onderdelen makkelijker te herstellen of te vervangen.
- Valorisatie van nevenstromen: productontwikkeling en installatieontwerp kunnen rekening houden met de latere scheidbaarheid en zuiverheid van stromen zoals schillen, pitten, pulp of filterkoek.
- Innovatieve technieken: nieuwe verwerkingstechnieken, zoals 3D-printing van voedingsproducten op maat of nieuwe scheidingstechnieken, kunnen worden verkend wanneer ze materiaalverlies beperken of hoogwaardige valorisatie mogelijk maken.
- Ketenimpact: waar relevant kan de impact op bodem, watergebruik en biodiversiteit in de teeltfase worden benoemd als randvoorwaarde voor de biologische kringloop.

Benodigde informatie en haalbaarheid:
Een sterkere focus op de ontwerpfase laat toe om circulariteit al vroeg mee te nemen, in lijn met R1 (Rethink) of R2 (Reduce), afhankelijk van de maatregel. Hoewel de circulariteitstoets momenteel vooral op bouwmaterialen is gericht, kunnen sommige principes inspirerend worden vertaald naar de AGF-sector. Voorbeelden zijn demonteerbare verbindingen,

scheidbaarheid van materialen en ontwerp met oog op toekomstige valorisatie. Voor technische aspecten zoals modulariteit, reinigbaarheid en nieuwe scheidingstechnieken is informatie nodig over de actuele TRL-niveaus binnen de machinebouw voor de voedingsindustrie. De vertaalslag blijft sectorspecifiek, onder meer door de hygiëne-eisen in de AGF-verwerking.

3.2.4 Toepassing van de afvalhiërarchie

Voor de AGF-sector is een onderscheid nodig tussen biologische en technische stromen. Voor biomassastromen, zoals organische neven- en reststromen, vormt de cascade van waardebehoud het belangrijkste prioriteringskader. Die cascade sluit beter aan bij de biologische cyclus dan de klassieke 9R-hiërarchie. Voor technische materiaalstromen in de sector, zoals verpakkingen, machines en onderdelen, blijft de 9R-hiërarchie relevant. Voor water en energie worden aangepaste begrippen gebruikt, zoals hergebruik, terugwinning en efficiënt gebruik. Alle kaders vertrekken van hetzelfde uitgangspunt: waarde zo lang mogelijk behouden en laagwaardige verwerking vermijden.

Analyse van het hiaat:
In de bespreking van technieken komt de afvalhiërarchie niet altijd even duidelijk naar voren. Technieken voor preventie, hergebruik, recyclage en andere vormen van valorisatie worden soms naast elkaar besproken, zonder expliciete prioritering. Ook bij de selectie van BBT in hoofdstuk 5 van de BBT-studie kan de hiërarchie duidelijker doorwerken. De studie houdt al rekening met afval en materiaalgebruik, maar maakt niet altijd zichtbaar of technieken voor preventie voorrang krijgen op technieken voor valorisatie, recyclage of laagwaardigere verwerking.

Concrete acties voor de BBT-auteur:
Een toekomstige BBT-studie kan per techniek aangeven op welk niveau van de afvalhiërarchie, de cascade van waardebehoud of de 9R-hiërarchie zij aangrijpt. Dat helpt om technieken consistenter te vergelijken en om duidelijker te maken welke strategie materiaalwaarde het best behoudt. De indeling kan meestal worden afgeleid uit de procesbeschrijving en uit de bestemming van de betrokken stromen. Bij technieken die afhankelijk van de procesvoering op verschillende niveaus kunnen opereren, is een korte contextuele toelichting nodig.

Benodigde informatie en haalbaarheid:
De indeling van technieken is gebaseerd op de wettelijk verankerde definities van de afvalhiërarchie. De informatie over welk niveau een specifieke techniek adresseert, is algemeen bekend of kan worden afgeleid uit de procesbeschrijving. De haalbaarheid van deze actie is hoog, aangezien het voornamelijk een herstructurering van de bestaande informatie en een expliciete verantwoording in de BBT-selectie betreft.

3.2.5 Andere circulariteitsaspecten en ketenrelaties

Analyse van het hiaat:
Een bijkomend aandachtspunt is de herstelbaarheid en upgradeerbaarheid van productiemachines en apparatuur. De BBT-studie kan dit benaderen via aankoop-, onderhouds- en vervangingskeuzes binnen AGF-bedrijven. Het gaat bijvoorbeeld om modulaire apparatuur, beschikbaarheid van reserveonderdelen, onderhoudscontracten, software-updates, standaardisatie van onderdelen en terugnameafspraken. Het ontwerp van machines ligt grotendeels bij externe leveranciers, maar de exploitant kan wel eisen stellen bij aankoop, onderhoud en vervanging. Daarom kan de BBT-studie herstelbaarheid en upgradeerbaarheid beschrijven als goede praktijk of aandachtspunt. Waar relevant kunnen machinebouwers of leveranciers betrokken worden bij de informatieverzameling, bijvoorbeeld via het begeleidingscomité.

Herstelbare en opwaardeerbare machines gaan langer mee en beperken het gebruik van wisselstukken en grondstoffen voor nieuwe machines. Aspecten zoals modulariteit, standaardisatie van onderdelen, beschikbaarheid van reserveonderdelen en reparatiehandleidingen spelen hierbij een belangrijke rol. De principes van circulair aankopen bieden hiervoor een concreet aanknopingspunt, bijvoorbeeld via criteria rond beschikbaarheid van reserveonderdelen, onderhoudscontracten, software-updates, modulaire opbouw en terugnameafspraken.

Ook voor gebouwen en infrastructuur is flexibel en aanpasbaar ontwerp belangrijk, zodat ruimtes makkelijk een nieuwe bestemming kunnen krijgen zonder vroegtijdige sloop.

De BBT-studie besteedt al aandacht aan ketenrelaties, maar de focus ligt vooral op directe leveranciers en afnemers. Voor circulariteit is ook de bredere waardeketen relevant. Telers, leveranciers, logistieke partners, machinebouwers, afvalverwerkers, recycleerders en potentiële afnemers bepalen mee de kwaliteit, zuiverheid, beschikbaarheid en bestemming van materiaalstromen.

Concrete acties voor de BBT-auteur:
Identificeer machinegerelateerde BBT: de aankoop van modulaire, gemakkelijk herstelbare apparatuur en een levensduurverlengend onderhoudsprogramma kunnen als BBT in de brede zin worden benoemd.

- Verbreed de waardeketenbenadering: Betrek indirecte relaties in de analyse, waarbij specifiek gekeken wordt naar:
  1. Machinebouwers voor het ontwerpen van modulaire, herstelbare en upgradeerbare machines.
  2. Afvalverwerkers en recycleerders. Bij neven- en reststromen is vooral van belang welke specificaties een potentiële afnemer nodig heeft. Een vraaggestuurde benadering kan leiden tot hoogwaardigere valorisatie dan een louter aanbodgestuurde afvalbenadering. De BBT-studie kan daarom niet alleen kijken naar de vraag “hoe verwerken we deze stroom?”, maar ook naar de vraag “voor welke toepassing kan deze stroom op specificatie worden gebracht?”
  3. Logistieke partners voor het faciliteren van retourstromen en materiaaluitwisseling tussen bedrijven.

- Ontwikkel een sectorspecifieke ketenchecklist: Focus op ketengerichte parameters zoals verpakkingsontwerp voor preventie van voedselverlies, logistieke optimalisatie voor retourstromen en de afstemming van kwaliteitseisen tussen verschillende ketenschakels.

- Betrek relevante actoren: Het betrekken van machinebouwers in het begeleidingscomité wordt aanbevolen om de dialoog over ontwerpkeuzes en herstelbaarheid te faciliteren.

Bij de inzet van neven- en reststromen moet steeds worden nagegaan of de stroom juridisch als afvalstof, bijproduct, grondstof of einde-afvalmateriaal wordt beschouwd. Dat statuut bepaalt mee welke toepassingen mogelijk zijn. Hoogwaardige valorisatie begint bovendien niet pas bij de afval- of recyclagefase. De kwaliteit en zuiverheid van stromen worden vaak al eerder in de keten bepaald, bijvoorbeeld door teelt, oogst, opslag, transport, sortering of procesvoering.

Benodigde informatie en haalbaarheid:
Deze verbreding vraagt overleg met ketenpartners, waaronder machinebouwers, leveranciers, logistieke partners en mogelijke afnemers van nevenstromen. Hoewel machineontwerp traditioneel buiten de scope van een BBT-studie voor de gebruiker valt, liggen aankoopkeuzes, onderhoud en de eisen aan apparatuur wel dichter bij de exploitant.

De BBT-studie kan AGF-verwerkers daarom informeren over de voordelen van herstelbare en upgradeerbare apparatuur, en dit beschrijven als goede praktijk. De haalbaarheid hangt af van de bereidheid van ketenpartners om informatie te delen over onderhoudbaarheid, specificaties en modulaire standaarden.

3.3 Integratie van circulariteit in de BBT-methodologie

De voorgaande analyse toont welke circulariteitsaspecten in de AGF-case relevant zijn: productverlies, neven- en reststromen, waterhergebruik, nutriëntenkringlopen, verpakkingen, apparatuur, ketenrelaties en nieuwe businessmodellen. In deze paragraaf wordt vertaald waar deze inzichten een plaats kunnen krijgen in de bestaande structuur van een BBT-studie.

3.3.1 Procesbeschrijving

In hoofdstuk 3 van de BBT-studie wordt de typische procesvoering in de AGF-sector beschreven, samen met de bijhorende milieu-impact. Voor circulariteit kan daarbij worden nagegaan welke processen en activiteiten materiaalwaarde behouden of net verliezen veroorzaken. Per processtap kan de BBT-auteur beschrijven welke impact optreedt, welke cross-media-effecten mogelijk zijn en welke informatie nodig is om die impact te beoordelen.

<u>Processen en activiteiten die bijdragen aan circulariteit:</u>

1. Sorteren (§3.1.2):

    - Impact: Door niet-bruikbare grondstoffen en verontreinigingen vroeg in het proces uit te sorteren en een alternatieve bestemming te geven (bv. als veevoeder), worden materiaalverlies en afvalproductie beperkt.
    - Cross-media-effecten: Mogelijk verhoogd energieverbruik voor sorteerapparatuur.
    - Benodigde info: Meer informatie nodig over de fracties die uitgesorteerd worden, hun hoeveelheden en hun eindbestemming.

2. Valorisatie van schillen (§3.1.4):

    - Impact: Afhankelijk van de schilmethode kunnen schillen afgevoerd worden voor verdere verwerking (bv. voor extractie van hoogwaardige componenten).
    - Cross-media-effecten: Het energieverbruik en de chemicaliën nodig voor de verdere verwerking van deze schillen.
    - Benodigde info: Gegevens over de valorisatieprocessen en hun milieu-impact zijn nodig om de circulariteitswinst ten opzichte van afvoer als afval te bepalen.

3. Valorisatie van reststromen (§3.3):

    - Impact: Zowel bij het filtreren van sap als het persen ontstaan reststromen (bv. filterkoek, pulp) die in plaats van als afval beschouwd te worden, gevaloriseerd kunnen worden.
    - Cross-media-effecten: Milieu-impact van de valorisatieprocessen zelf (bv. voor drogen, transporteren).
    - Benodigde info: Gegevens over hoeveelheid, samenstelling en eigenschappen van deze stromen zijn nodig om hun valorisatiepotentieel in te schatten.

Processen en activiteiten die circulariteit beperken:

1. Uitval van producten doorheen het proces:

    - Impact: In verschillende processtappen worden grondstoffen verwijderd die niet voldoen aan de vereisten. Hoe vroeger in het proces deze uitval plaatsvindt, hoe lager de milieu-impact, vermits er dan nog geen onnodige verwerkingsstappen hebben plaatsgevonden.
    - Cross-media-effecten: Mogelijk verhoogd energieverbruik voor verwerking van uitval.
    - Benodigde info: Gegevens over de hoeveelheid uitval in elke processtap en de reden ervan (bv. kwaliteitseisen, contaminatie enz.) zijn nodig om het materiaalverlies over het hele proces te kunnen kwantificeren.

2. Procesverliezen:

    - Impact: Ook tijdens de procesvoering zelf kunnen materiaalverliezen optreden, bv. door morsen, lekverliezen, productiefouten of overvulling. Naast een verlies aan grondstoffen betekent dit vaak ook een verhoogde belasting van het afvalwater (bv. door wegspoelen van gemorste producten).
    - Cross-media-effecten: Mogelijk verhoogd waterverbruik voor reiniging.
    - Benodigde info: Inzicht in de grootte, oorzaken en samenstelling van deze procesverliezen is nodig om gericht te kunnen inzetten op reductie en valorisatie ervan.

3. Afvalwaterstromen:

    - Impact: In verschillende processtappen wordt proceswater gebruikt (bv. wassen, stomen, koelen enz.) dat uiteindelijk als afvalwater geloosd wordt. Dit water bevat waardevolle nutriënten, organische stoffen en andere componenten die idealiter terug gevaloriseerd zouden kunnen worden.
    - Cross-media-effecten: Mogelijk verhoogd energieverbruik voor waterzuivering.
    - Benodigde info: Metingen van de samenstelling en eigenschappen van de verschillende deelstromen afvalwater zijn nodig om het valorisatiepotentieel ervan te bepalen en af te wegen tegenover de technische en economische haalbaarheid van terugwinningsprocessen.

4. Ketenanalyse (§3.15):

    - Impact: De analyse in §3.15 vormt een eerste basis om de AGF-sector in een ketenperspectief te bekijken. Ze toont inputstromen, outputstromen en mogelijke kringlopen, bijvoorbeeld tussen landbouw, voedingsindustrie, veevoeder, energieproductie, waterzuivering en bemesting. Een verdere uitwerking kan helpen om materiaalverliezen en lekkages uit het systeem beter te lokaliseren.
    - Benodigde info: Om de impact hiervan op circulariteit meer in detail te kwantificeren, is bijkomende informatie nodig over de hoeveelheden, samenstelling en zuiverheid van elk van deze stromen, hun oorsprong en bestemming, transportafstanden enz. Op die manier kunnen materiaalverliezen en ‘lekkages’ uit het systeem beter geïdentificeerd worden en kan gerichter ingezet worden op het sluiten van kringlopen over sectoren heen (bv. hergebruik van nutriënten, proceswater en energie tussen landbouw, voedingsindustrie en afvalverwerking). Meer materiaalstroomanalyses (bv. met behulp van Sankey-diagrammen) kunnen hierbij een nuttig instrument zijn.

Voortbouwend op deze eerste ketenbenadering kan de scope nog verder worden verbreed om bv. bijkomende sectoren mee te nemen die een rol kunnen spelen in meer circulariteit (machinebouw, logistiek enz.), om sociaaleconomische effecten mee te nemen, of om via productlevenscyclusanalyses ook de impact bij gebruik en eindelevensfase van AGF-producten mee in rekening te brengen.

Hoofdstuk 3 van de BBT-studie bevat dus al veel informatie die bruikbaar is voor een circulariteitsanalyse. Een meer systematische beschrijving van materiaalstromen, verliezen, kwaliteit en bestemming kan helpen om bijkomende circulariteitswinsten te identificeren, zowel binnen het proces als in de keten.

3.3.2 Kandidaat-BBT

In hoofdstuk 4 van de BBT-studie worden verschillende milieuvriendelijke technieken besproken die kunnen worden toegepast in de AGF-sector. Een aantal daarvan draagt bij tot het verhogen van de circulariteit van de processen, hetzij door preventie van materiaalverliezen, hetzij door valorisatie van reststromen[7].

Technieken die inzetten op preventie van materiaalverliezen:

- Beperken van verpakkingen (§4.1.1): materiaalreductie is een relevante preventiestrategie. Beoordeel daarnaast de mogelijkheden voor hergebruik en hoogwaardige recyclage, bijvoorbeeld door geschikte monomaterialen toe te passen. De keuze moet rekening houden met de beschermingsfunctie van de verpakking: minder verpakkingsmateriaal is alleen gunstig wanneer bijkomende productverliezen of andere milieueffecten de winst niet tenietdoen. Om de totale milieu-impact in te schatten, is het belangrijk om ook mogelijke cross-media-effecten mee te nemen, zoals verhoogde productverliezen door minder bescherming of extra energieverbruik voor aangepaste verpakkingsmachines. Gegevens over technische haalbaarheid en kwaliteitsimpact van verpakkingsalternatieven zijn nodig om de opties te beoordelen.
  –
- Doorgedreven sortering van afval (§4.1.2): Door afvaldeelstromen verder te scheiden, bijvoorbeeld PP- en PE-verpakkingsfolies, kunnen ze als grondstof worden afgezet in plaats van als restafval. Dit is een recyclagemaatregel (R8) buiten het eigen proces, waarvan de circulariteitswinst afhangt van de zuiverheid van de gescheiden stromen en van de beschikbare afzetkanalen. Gegevens over de hoeveelheden per deelstroom en hun bestemming zijn nodig om die winst te beoordelen.

- Accurate sortering om grondstofverliezen te beperken (§4.1.3): Geavanceerde sorteertechnieken laten toe om grondstoffen met afwijkende kwaliteit, grootte of kleur vroeg uit het proces te halen. Zo kunnen onnodige verwerkingsverliezen worden vermeden. Daartegenover staan het energieverbruik en de kost van de sorteerapparatuur. Gegevens over de hoeveelheid uitgesorteerd materiaal en de eindbestemming ervan zijn nodig om de milieu- en circulariteitswinst te beoordelen.

- Optimalisatie vultechnieken (§4.1.4): Automatische vullijnen met aangepaste afsluitsystemen helpen om overvulling en morsen te beperken. Metingen van de reductie in productverliezen en afvalwater t.o.v. manuele vulsystemen zijn belangrijk om de milieuwinst van deze investeringen te onderbouwen.

[7] In dit rapport wordt ‘nevenstroom’ gebruikt voor stromen die inherent aan het proces ontstaan en een duidelijk valorisatiepotentieel hebben. ‘Reststroom’ wordt gebruikt als bredere term voor stromen waarvan de bestemming of waarde nog onzeker is. De juridische kwalificatie als afvalstof, bijproduct of einde-afvalmateriaal wordt daarmee niet automatisch bepaald.

- Good housekeeping (§4.1.5): Goede praktijken zoals opvang van lekken en morsverliezen, bulkverpakkingen, optimale bewaarcondities enz. kunnen materiaalverliezen aanzienlijk beperken. Gedetailleerde monitoringgegevens over de diverse verliesbronnen (bv. via lekdetectie, afvalregistratie enz.) zijn nodig om het reductiepotentieel proactief in te schatten en gericht verbetermaatregelen te nemen.

Technieken die inzetten op valorisatie van reststromen:

- Valorisatie van nevenstromen als voeding of veevoeder (§4.2.1-4, §4.2.9): Diverse processtappen leveren neven- of reststromen op, zoals snijresten, pulp en schillen. Die kunnen worden ingezet voor humane voeding, veevoeder of verdere verwerking. Belangrijk is dat de stromen voldoende zuiver zijn en voldoen aan de voedselveiligheidsvereisten. Ook bijkomende energie voor behandeling, bewaring, droging of kwaliteitscontrole moet worden meegewogen.

- Terugwinning van waardevolle componenten (§4.2.2-6): Door geavanceerde scheidings- en extractietechnieken toe te passen, kunnen hoogwaardige componenten zoals eiwitten, vetten, vezels, mineralen enz. selectief teruggewonnen worden uit diverse reststromen (bv. aardappelzetmeel, olie uit frituurvet enz.). Kennis van de exacte samenstelling van de reststromen en de concentratie van waardevolle componenten erin is nodig om het technisch en economisch potentieel van deze vaak vrij complexe en dure technieken in te schatten. Ook de zuiverheid van de teruggewonnen componenten en hun toepasbaarheid voor verdere valorisatie is hierbij een belangrijke factor.

- Hergebruik van proceswater en recuperatie van nutriënten/energie (§4.2.5–4.2.7, §4.2.10–4.2.11, §4.9.6): Behandeling van proceswater en afvalwaterstromen (bv. via membraanfiltratie, indamping, slibgisting enz.) laat toe om water en waardevolle componenten terug te winnen voor hergebruik. Metingen van de precieze samenstelling van de diverse deelstromen en de in- en outputstromen van de waterzuivering zijn nodig om gericht te kunnen inzetten op de meest interessante valorisatiemogelijkheden en om mogelijke knelpunten voor hergebruik (bv. opbouw van ongewenste componenten) proactief te detecteren.

- Hergebruik van grondbrij als bodem (§4.2.8): grondbrij uit het triëren en wassen van gewassen kan onder de toepasselijke voorwaarden als bodem worden ingezet. Beoordeel de samenstelling, verontreinigingen, benodigde behandeling en bestemming. Deze stroom moet worden onderscheiden van organische nevenstromen die als meststof of bodemverbeteraar worden gebruikt.

- Keuze van vlokmiddelen met het oog op slibvalorisatie (§4.2.12): polymeren van petrogene oorsprong verhogen het gehalte aan minerale olie in het zuiveringsslib, waardoor het niet meer aan de VLAREMA-voorwaarden voor verwerking in een vergister voldoet en verbrand moet worden. Met polymeren van plantaardige oorsprong kan het slib wel worden vergist en kunnen digestaat en steekvaste fractie als meststof worden ingezet. Beschrijf de invloed van deze keuze op de bestemming van het slib, met aandacht voor dosering, zuiveringsprestaties en de toepasselijke kwaliteitsvoorwaarden.

Om de milieu-impact en circulariteitswinst van preventie- en valorisatietechnieken te beoordelen, is een geïntegreerde kijk op proces- en ketenstappen nodig. Materiaalstroomanalyses kunnen daarbij vertrekken van inputstromen, procesverliezen en outputstromen, en vervolgens nagaan welke valorisatieroutes mogelijk zijn. Zo worden

prioriteiten duidelijker en kunnen verschuivingen naar andere milieucompartimenten beter worden herkend.

Hoofdstuk 4 van de BBT-studie bevat dus al veel technieken die relevant zijn voor circulariteit. Een meer systematische bespreking van hun effect op materiaalstromen, nevenstromen, water, energie en ketenimpact kan helpen om de meest geschikte combinaties per bedrijfscontext te beoordelen.

Bestaande BBT die verder kunnen worden uitgewerkt vanuit circulariteit:

In hoofdstuk 4 van de BBT-studie worden al heel wat technieken besproken die bijdragen aan circulariteit in de AGF-sector. Sommige daarvan kunnen in een toekomstige studie verder worden uitgewerkt met het oog op een bredere circulaire benadering.

- Valorisatie van reststromen (§4.2): Naast toepassingen zoals veevoeder, meststof of energieproductie kunnen hoogwaardige valorisatieroutes sterker worden belicht. Bepaalde nevenstromen kunnen bijvoorbeeld worden ingezet als grondstof voor voedingsproducten, of als bron van functionele ingrediënten zoals pectines, pigmenten, antioxidanten, vezels of zetmeel. Ook toepassingen in farmacie, cosmetica, fijnchemie of biogebaseerde materialen kunnen worden verkend wanneer de kwaliteit, zuiverheid en hoeveelheid van de stromen dat toelaten.

- Hergebruik van water en componenten (§4.9.6): Naast klassieke waterzuiveringstechnieken zouden ook meer geavanceerde vormen van (voor)behandeling besproken kunnen worden die toelaten om proceswater en waardevolle componenten te recycleren. Voorbeelden zijn membraanfiltratie (micro-, ultra-, nanofiltratie enz.), elektrodialyse, precipitatie- en kristallisatietechnieken enz. Praktische toepassingen in de voedingsindustrie en een beoordeling van hun technische en economische haalbaarheid zouden de implementatie van deze technieken kunnen faciliteren.

- Circulair verpakkingsontwerp: De BBT rond verpakkingen focust vooral op preventie door reductie en hergebruik. Daarnaast kan het potentieel van innovatieve verpakkingsvormen en -materialen sterker worden besproken, zoals monomateriaalverpakkingen, biogebaseerde materialen en composteerbare verpakkingen. Composteerbaarheid is daarbij geen circulair voordeel op zich. Het is vooral relevant in specifieke toepassingen waar hergebruik of hoogwaardige recyclage niet haalbaar is en waar de verpakking compatibel is met de verwerkingsroute.

- Ketensamenwerking en industriële symbiose voor circulariteit: Industriële symbiose is de systematische uitwisseling van reststromen, water, energie of warmte tussen bedrijven. Ketensamenwerking is breder en omvat ook afstemming tussen ketenschakels over productontwerp, specificaties, logistiek, contractvoorwaarden en kwaliteitsborging. De BBT-studie kan deze vormen van samenwerking sterker koppelen aan concrete technieken of materiaalstromen. Voorbeelden zijn de inzet van nevenstromen als grondstof voor andere toepassingen, gezamenlijke infrastructuur voor waterzuivering of gedeelde logistiek voor retourstromen.
  Ook contractuele afspraken met telers kunnen relevant zijn wanneer zij invloed hebben op grondstofkwaliteit, oogstplanning, organische-stofbeheer of bodemzorg. Dergelijke afspraken worden niet als BBT opgelegd, maar kunnen binnen het ketenperspectief worden besproken als randvoorwaarde voor duurzame en circulaire biomassastromen.

Bijkomende kandidaat-BBT die kunnen worden toegevoegd:

Naast de reeds opgenomen BBT zijn er bijkomende technieken en praktijken die circulariteit in de AGF-sector kunnen ondersteunen. Ze gaan van aangepast proces- en productontwerp tot digitale technologieën, nieuwe businessmodellen en sociale of organisatorische innovaties. De voorbeelden hieronder illustreren hoe hogere R-strategieën in deze sector concreet kunnen worden vertaald:

1. Proces- en productontwerp voor circulariteit:
   - Technieken voor modulair productontwerp, standaardisatie en design for disassembly kunnen de herstelbaarheid en upgradeerbaarheid van (verpakkings)lijnen en apparatuur verhogen, en zo de levensduur ervan verlengen;
   - productontwikkeling op basis van nevenstromen, bv. hoogwaardige valorisatie van groente- en aardappelresten in vezelrijke of zetmeelrijke ingrediënten voor de voedingsindustrie.

2. Digitale technologieën voor circulariteit:
   - Sensortechnologie en dataverzameling kunnen processen gerichter sturen en zo materiaal-, water- en energieverbruik beperken. Predictief onderhoud en kwaliteitscontrole kunnen voortijdige vervanging van onderdelen en productafkeur helpen vermijden;
   - digitale marktplaatsen en materialenpaspoorten kunnen vraag en aanbod voor nevenstromen beter op elkaar afstemmen en hoogwaardige valorisatie ondersteunen.

3. Circulaire businessmodellen:
   - Product-dienstmodellen, bv. gedeelde koeling, pasteurisatie of verpakkingslijnen die capaciteit en energie-efficiëntie optimaliseren en investeringskosten voor individuele bedrijven drukken;
   - ketensamenwerking voor hoogwaardige valorisatie van elkaars nevenstromen, bv. cascadering van voedselresten naar veevoeding, biogebaseerde materialen en bodemverbeteraars.

4. Sociale aspecten van circulariteit:
   - Sociale en organisatorische aspecten kunnen circulariteit ondersteunen wanneer zij nodig zijn voor decentrale verwerking, herstel, hergebruik of nieuwe samenwerkingsvormen. Voorbeelden zijn microverwerking van seizoensurplussen, herstel van kisten of kratten, en opleiding rond ecodesign, levenscyclusdenken en ketensamenwerking. Deze aspecten worden niet als klassieke procestechnieken beoordeeld, maar kunnen wel randvoorwaarden vormen voor de toepassing van circulaire praktijken.

Deze voorbeelden tonen dat circulariteit in de AGF-sector niet alleen afhangt van afzonderlijke technieken, maar ook van procesontwerp, productontwikkeling, ketenafspraken, data, logistiek en organisatie. Ze maken zichtbaar waar hogere R-strategieën in de sector kunnen doorwerken, ook wanneer de uiteindelijke vertaling naar BBT, aanbeveling of flankerend beleid per geval moet worden beoordeeld.

3.3.3 BBT-evaluatie

In hoofdstuk 5 van de BBT-studie worden de beschikbare milieuvriendelijke technieken geëvalueerd om te bepalen welke als BBT kunnen worden geselecteerd. Circulariteit wordt daarbij al gedeeltelijk meegewogen via criteria zoals afvalproductie, grondstoffengebruik en

impact op de keten. Een toekomstige studie kan dit verder uitwerken door de bestaande criteria aan te vullen met bijkomende circulariteitsaspecten.

Als theoretische piste voor een verder uitgewerkt circulariteitsscoresysteem kunnen subcriteria met een fictieve wegingsfactor worden verkend. Deze piste wordt hier niet voorgesteld als onmiddellijke aanpassing van de BBT-template. Ze laat wel zien welke dimensies relevant kunnen zijn wanneer circulariteit in de toekomst sterker of meer kwantitatief wordt beoordeeld. Mogelijke subcriteria met een fictieve wegingsfactor zijn:

1. Materiaalbesparing en -efficiëntie (wegingsfactor 4/5):
   - Reductie in gebruik van primaire grondstoffen
   - Inzet van gerecycleerde of biogebaseerde materialen
   - Vermindering van materiaalverliezen in het proces
   - Verlenging levensduur productiemiddelen en -apparatuur

2. Hergebruik en recyclage (wegingsfactor 4/5):
   - Intern hergebruik van water, energie, materialen
   - Hoogwaardige valorisatie van nevenstromen (van het AGF-product)
   - Herbruikbaarheid en recycleerbaarheid van verpakkingen, bijvoorbeeld herbruikbare kratten en verpakkingen die na inzameling hoogwaardig kunnen worden gerecycleerd
   - Inzet op producthergebruik en -herstel

3. Invloed op ketencirculariteit (wegingsfactor 3/5):
   - Sluiten van materiaalkringlopen over ketenschakels heen
   - Potentieel voor industriële symbiose
   - Reductie van het (primaire) grondstoffengebruik in aanleverende sectoren
   - Gebruik van nevenstromen als grondstof in afnemende sectoren
   - Waar relevant: invloed op upstream randvoorwaarden voor de biologische kringloop, zoals bodemkwaliteit, organische-stofbeheer en nutriëntenkringlopen.

4. Systeeminnovatie (wegingsfactor 2/5):
   - Bijdrage aan nieuwe productie-, consumptie- of logistieke modellen
   - Inzet op product-dienstmodellen en functionaliteit i.p.v. eigendom
   - Stimuleren van ketensamenwerking en nieuwe waardenetwerken
   - Datacaptatie en -deling ter ondersteuning van circulariteit

5. Socio-economische aspecten (wegingsfactor 2/5):
   - Creatie van circulaire jobs (herstel, demontage enz.)
   - Ontwikkeling aangepaste vaardigheden en opleidingen
   - Betaalbaarheid/toegankelijkheid producten
   - Eerlijke verdeling van kosten en baten in keten

6. Cross-sectorale circulariteitseffecten (wegingsfactor 3/5):
   - Impact op materiaal- en energiegebruik in andere sectoren
   - Potentieel voor industriële symbiose en uitwisseling van reststromen
   - Invloed op de circulariteit van eindproducten en afvalverwerking

Het systematisch en gekwantificeerd meenemen van circulariteit via deze subcriteria blijft uitdagend, vooral bij abstracte of ketengerichte aspecten. Daarom richt de voorgestelde methodologie zich op een gestructureerde kwalitatieve evaluatie. De BBT-auteur motiveert per kandidaat-techniek hoe zij presteert op de relevante circulaire criteria. Zo ontstaat een

transparante afweging, zonder de indruk te wekken dat circulariteit exact kan worden berekend.

In een dergelijk toekomstig circulariteitsscoresysteem zouden deze subcriteria kunnen worden gescoord, bijvoorbeeld op een schaal van -2 tot +2, en worden vermenigvuldigd met de voorgestelde wegingsfactor. Zo kan een totaalscore voor circulariteit worden bekomen. Deze score kan vervolgens worden afgewogen tegen andere criteria zoals technische haalbaarheid, milieu-impact en economische aspecten om tot een globale BBT-evaluatie te komen. Deze piste wordt in hoofdstukken 5 en 6 niet weerhouden als standaardmethodiek, omdat zij een risico op schijnnauwkeurigheid inhoudt en bijkomende databehoeften creëert. Ze blijft wel nuttig als illustratie van een mogelijke toekomstige doorontwikkeling, bijvoorbeeld wanneer meer gestandaardiseerde data en sectorale indicatoren beschikbaar zijn. Twee illustraties van zo'n scoring zijn:

1. Voorbeeld cascadering aardappelresten:
Een techniek om aardappelschillen te verwerken tot veevoeder scoort positief op vermeden afval, valorisatie van nevenstromen en ketensluiting, omdat zij primaire grondstoffen in de veevoedersector kan vervangen. Tegelijk kunnen bijkomende energie, kwaliteitsbewaking en logistiek de milieu- of economische score beïnvloeden. De techniek blijft vooral gericht op valorisatie binnen bestaande ketens en scoort daardoor minder sterk op systeeminnovatie.

2. Voorbeeld gedeelde koelinfrastructuur:
Een systeem van gedeelde koelruimtes of koelapparatuur voor verschillende AGF-verwerkers kan goed scoren op systeeminnovatie en nieuwe businessmodellen. Door een hogere benutting van ruimte en capaciteit kan materiaal- en energiewinst ontstaan. Tegelijk vraagt het concept organisatorische afspraken, afstemming tussen bedrijven en voldoende schaal. De techniek kan dus relevant zijn bij gunstige randvoorwaarden, maar vraagt eerst verdere praktijkervaring.

Deze subcriteria dienen als verkennende aandachtspunten. In hoofdstukken 5 en 6 worden de relevante milieukundige aspecten vertaald naar een kwalitatieve beoordeling binnen de bestaande BBT-criteria. Socio-economische aspecten, zoals werkgelegenheid en verdeling van kosten en baten, kunnen als context worden besproken, maar worden niet opgenomen in de milieuscore voor 'effect op de keten'.

3.3.4 Aanbevelingen

In hoofdstuk 6 van de BBT-studie worden aanbevelingen geformuleerd voor de implementatie van geselecteerde BBT en voor maatregelen rond beleid, onderzoek en ontwikkeling. Voor de AGF-sector kan circulariteit sterker worden meegenomen in aanbevelingen naar VLAREM en VLAREMA, en in mogelijke BBT-GMPN voor materiaalgebruik en afval. De voorbeelden hieronder tonen welke aanbevelingen uit een bredere circulaire analyse kunnen voortkomen.

Mogelijke aanbevelingen naast VLAREM zijn bijvoorbeeld:

- sectorale doelstellingen voor materiaalefficiëntie, hergebruik en recyclage van specifieke materiaalstromen, zoals proceswater of verpakkingsafval;

- verdere concretisering van kwaliteitsvolle recyclage of hoogwaardige valorisatie voor materiaalstromen uit de AGF-sector, bijvoorbeeld voor gebruik als bodemverbeteraar of veevoeder;

- evaluatie van bestaande systemen voor uitgebreide producentenverantwoordelijkheid, met aandacht voor prikkels voor circulair verpakkingsontwerp, hergebruik en hoogwaardige recyclage.

Mogelijke bijkomende circulaire aanbevelingen en flankerende beleidsopties:
Onderstaande pistes tonen welke types aanbevelingen uit een circulaire analyse kunnen voortkomen. Niet elke piste is geschikt als directe BBT-aanbeveling of vergunningsvoorwaarde. Sommige opties horen eerder bij flankerend beleid, product- of verpakkingsregelgeving, subsidie-instrumenten, sectorale afspraken of verder onderzoek. De BBT-studie kan zulke pistes signaleren wanneer de technische analyse aantoont dat bijkomende randvoorwaarden nodig zijn om circulaire technieken toepasbaar te maken.

- Onderzoeken of een materialenaudit of materiaalbeheerplan nuttig kan zijn voor AGF-bedrijven, bijvoorbeeld om materiaalverliezen, hergebruik, recyclage en afvalpreventie beter op te volgen.

- De BBT-studie kan signaleren welke verpakkingskeuzes technisch haalbaar zijn, zoals gerecycleerde content, herbruikbare verpakkingen of recycleerbare monomaterialen. De vertaling naar minimumpercentages hoort eerder thuis in product- of verpakkingsregelgeving dan in individuele omgevingsvergunningen.

- Bij biogebaseerde of composteerbare materialen moet worden nagegaan of ze passen binnen bestaande inzamel- en recyclagestromen. Een biogebaseerde verpakking is niet automatisch circulair. Als ze bijvoorbeeld de PMD- of PET-recyclage verstoort, kan de circulariteitswinst negatief zijn.

- Bij de toepassing van de vuistregel voor lozingsnormen (lozingsnorm ≈ 10 × basismilieukwaliteitsnorm, cf. Reductieprogramma Gevaarlijke Stoffen) niet enkel het afvalwater maar ook de productie van vast afval in rekening brengen, om te vermijden dat afvalwaterefficiëntie wordt nagestreefd ten koste van meer vast afval.

- Onderzoeken en invoeren van ‘circulaire heffingen’ die de milieu-impact van producten over hun hele levenscyclus weerspiegelen (bv. gedifferentieerd volgens ontwerp, materiaalgebruik, repareerbaarheid enz.) en opbrengsten gebruiken voor financiering circulaire investeringen.

- Aanbevelen om kunststoffen te vermijden die recyclageprocessen technisch verstoren of de kwaliteit van het recyclaat verlagen (bv. PVC, zwart plastic, PS in bepaalde toepassingen), en de overstap te bevorderen naar monomaterialen die compatibel zijn met bestaande en opkomende recyclagetechnologieën (design for recycling). Monomaterialen zijn verpakkingen die uit één materiaal- of polymeerfamilie zijn opgebouwd, ook wanneer zij uit meerdere lagen bestaan.

- Bepalen van niet-bindende benchmarks voor afvalproductie per subsector en productievolume (bv. in kg afval/ton product) als leidraad voor individuele installaties.

- Opleggen van een verplicht aandeel circulaire goederen en diensten (bv. op basis van gerecycleerde materialen) bij aankopen en aanbestedingen door AGF-bedrijven.

- Onderzoeken of transparante rapportage over circulariteitsindicatoren kan aansluiten bij bestaande kaders, zoals de Vlaamse Monitor Circulaire Economie, als onderdeel van het jaarlijkse milieujaarverslag.

- In de subsidieregeling (ecologiepremie+, strategische ecologiesteun) expliciet circulariteit als criterium meenemen en basissteunpercentages verhogen voor investeringen met aangetoond circulair karakter.

- Onderzoeken hoe bestaande wettelijke mogelijkheden voor het testen van technieken in opkomst kunnen worden benut voor circulaire innovatieprojecten. Eventuele tijdelijke afwijkingen vereisen een afzonderlijke beoordeling en beslissing van de bevoegde overheid, binnen de toepasselijke wettelijke voorwaarden. Het circulaire karakter van een project vormt op zichzelf geen grond voor afwijking van emissievoorwaarden.

Bij de aanbevelingen moet een onderscheid worden gemaakt tussen directe BBT-aanbevelingen en flankerende beleidsaanbevelingen. Directe BBT-aanbevelingen vloeien voort uit de technische evaluatie van technieken en procesvoering, bijvoorbeeld het gescheiden houden van nevenstromen, het beperken van materiaalverlies of het toepassen van haalbare valorisatietechnieken. Flankerende beleidsaanbevelingen, zoals productregelgeving, stimuleringsinstrumenten, einde-afvalcriteria of codes van goede praktijk, creëren randvoorwaarden waarbinnen deze technieken beter kunnen worden toegepast. De BBT-studie kan zulke randvoorwaarden signaleren, maar legt ze niet zelf vast. De uiteindelijke vertaling naar bindende voorwaarden, stimulerende instrumenten of beleidsmaatregelen vraagt telkens een afzonderlijke juridische, beleidsmatige en sectorspecifieke beoordeling.

De AGF-case toont daarmee dat circulariteit in BBT-studies niet alleen gaat over afvalpreventie of valorisatie van organische stromen. Ook water, nutriënten, verpakkingen, productontwerp, apparatuur, ketenafspraken, bodemzorg en businessmodellen kunnen relevant zijn. De case maakt tegelijk duidelijk dat deze elementen niet allemaal op dezelfde manier in BBT doorwerken: sommige horen in de techniekbeschrijving of evaluatie, andere eerder bij ketencontext, aanbevelingen of flankerend beleid.

4 ANALYSE VAN DE BREF VOOR DE PRODUCTIE VAN GLAS (BREF GLS)

De glassector is een relevante case voor circulariteit omdat glas, onder de juiste voorwaarden, meermaals kan worden gerecycleerd zonder groot kwaliteitsverlies.[8] Energie-efficiëntie in smeltprocessen en kleurscheiding bij recyclage zijn belangrijke aandachtspunten voor het optimaliseren van de circulariteit. De implementatie van circulariteit in deze sector omvat niet alleen het gebruik van gerecycleerd glas (cullet) in de productie, maar strekt zich ook uit tot ecodesign van glasproducten, energie-efficiënte smelttechnieken en de ontwikkeling van nieuwe toepassingen voor glasafval. Samen bepalen deze elementen in welke mate glasstromen hoogwaardig in de kringloop kunnen blijven.

4.1 Huidige opname van circulariteitsaspecten

- **Inleidende hoofdstukken van de BREF (hoofdstukken 1 tot en met 3)**

De eerste hoofdstukken van de BREF voor de productie van glas behandelen circulariteit op verschillende manieren, al wordt het niet als afzonderlijk hoofdthema gepresenteerd. Een belangrijk element is de recyclage van glasscherven (cullet) als grondstof in het productieproces. De BREF illustreert dit met verschillende gegevens per subsector. Zo vermeldt sectie 3.3.1 voor containerglas dat bijna alle processen intern cullet recycleren (doorgaans ca. 10% van het gemeng), terwijl de inzet van post-consumer cullet sterk varieert (0 tot meer dan 80%) door kwaliteitseisen. Voor containerglas en vlakglas worden vervolgens verschillende bandbreedtes gegeven voor het aandeel post-consumer of extern cullet. Die cijfers tonen vooral dat het gebruik van cullet sterk afhankelijk is van glastype, kwaliteitseisen, kleur, zuiverheid en processtabiliteit.

Naast de recyclage van glasscherven beschrijft de BREF ook de recyclage van procesresiduen in de productie. Voor glaswol vermeldt de BREF bijvoorbeeld (sectie 3.8.4) dat batchverliezen, glaswolscherven en stof uit rookgasreiniging rechtstreeks opnieuw in de oven worden ingezet; glaswolafval met organisch bindmiddel vraagt eerst een voorbehandeling. Voor steenwol worden shot, bypass melt en stof uit rookgasreiniging doorgaans gerecycleerd wanneer een briketteringsproces beschikbaar is.

Ook waterhergebruik komt aan bod. Voor minerale wol vermeldt de BREF bijvoorbeeld gesloten proceswaterkringlopen met een hoge mate van recyclage. Energie-efficiëntie wordt niet altijd als circulariteitsaspect benoemd, maar is voor de glassector wel belangrijk, omdat de inzet van cullet, ovenontwerp en smeltproces samen de materiaal- en energieprestatie bepalen.

De BREF bevat dus al verschillende aanknopingspunten voor circulariteit. De BREF onderscheidt interne en externe schervenstromen. Dat onderscheid valt niet samen met het onderscheid tussen pre-consumer en post-consumer recyclaat: extern aangeleverde scherven kunnen ook uit productie of verdere glasverwerking afkomstig zijn. Bredere principes zoals ecodesign, levensduurverlenging, hergebruikssystemen en ketensamenwerking komen minder expliciet aan bod.

[8] Sectienummers verwijzen naar de BREF GLS (Scalet et al., 2013).

- **BBT-conclusies (hoofdstuk 5 van de BREF)**

De BBT-conclusies van de BREF bevatten eveneens elementen die aansluiten bij circulariteit. Het gaat vooral om het gebruik van gerecycleerde grondstoffen, afvalminimalisatie, interne recyclage van procesresiduen en de afweging van cross-media-effecten.

1. Het gebruik van gerecycleerde grondstoffen, vooral glasscherven, wordt in de BREF herhaaldelijk genoemd als techniek om materiaalefficiëntie te verhogen en het verbruik van primaire grondstoffen te verminderen. Bij BBT 2 wordt het gebruik van grotere hoeveelheden cullet vermeld, op voorwaarde dat dit beschikbaar en technisch en economisch haalbaar is. Door glasscherven opnieuw in het smeltproces in te zetten, daalt de behoefte aan primaire grondstoffen zoals zand, soda en kalksteen. Ook het energieverbruik van het smeltproces kan dalen.

Bij BBT 14 wordt de recyclage van interne glasscherven uit afgekeurde productie expliciet vermeld. Glas dat niet aan de kwaliteitseisen voldoet, wordt opnieuw in het proces ingezet in plaats van te worden afgevoerd als afvalstof. Deze interne recyclage verbetert het materiaalgebruik en beperkt onnodige afvalproductie.

De BREF erkent het gebruik van secundaire grondstoffen, vooral glasscherven, als sleutelelement voor circulaire glasproductie. Hierbij wordt gerecycleerd glas van externe bronnen (cullet) of interne oorsprong (afgekeurde productie) ingezet.

2. De BREF besteedt ook aandacht aan afvalminimalisatie. Daarbij gaat het enerzijds om het voorkomen van materiaalverliezen bij opslag en behandeling van grondstoffen, en anderzijds om nuttige toepassingen voor afval en slib dat toch ontstaat. Voorbeelden zijn gesloten transportsystemen, afgedekte opslag en het beperken van morsverliezen. Waar procesresiduen ontstaan, stimuleert de BREF interne recyclage of nuttige toepassing, bijvoorbeeld van filterstof in het glasgemeng.

Externe toepassingen worden eveneens vermeld. Voor bepaalde afvalstromen, zoals fijn glaspoeder of slib, kan worden onderzocht of inzet in andere sectoren mogelijk is. Dat sluit aan bij industriële symbiose: een reststroom uit de ene sector kan, onder de juiste voorwaarden, grondstof worden voor een andere sector.

3. De BREF houdt ook rekening met effecten stroomafwaarts in de afvalketen. Een voorbeeld is de afweging bij technieken voor SO_2-reductie. Droge of semi-droge rookgasreiniging kan SO_2-emissies beperken, maar leidt tegelijk tot sulfaatrijk filterstof. De BREF wijst er daarom op dat emissiereductie en beheer van vast afval samen moeten worden beoordeeld.

Deze afweging voorkomt dat een milieuprobleem wordt opgelost door een ander probleem te vergroten. Ze sluit aan bij het cross-media-denken in BBT: lagere luchtemissies moeten worden afgewogen tegen bijkomend afval, extra hulpstoffen, energieverbruik of beperkingen voor recyclage.

4. De BREF gebruikt de term “afvalhiërarchie” niet expliciet, maar de logica ervan is wel herkenbaar. Preventie komt aan bod via procesoptimalisatie en efficiënt materiaalgebruik. Recyclage komt terug in het gebruik van glasscherven en de interne recyclage van procesresiduen. Nuttige toepassing wordt vermeld voor afvalstromen waarvoor recyclage in het eigen proces niet mogelijk is. Verwijdering blijft impliciet de laatste optie.

Daarmee volgt de BREF impliciet de belangrijkste stappen van de afvalhiërarchie: preventie, recyclage en nuttige toepassing. De circulaire logica is dus aanwezig, maar wordt nog niet als afzonderlijk kader uitgewerkt.

4.2 Hiaten en verbetermogelijkheden

4.2.1 Externe circulariteit en industriële symbiose

Analyse van het hiaat:
Hoewel de BREF het gebruik van gerecycleerde grondstoffen binnen het eigen productieproces behandelt, is er minder aandacht voor externe circulariteit en industriële symbiose. Het gaat dan om de vraag hoe de glasindustrie kan bijdragen aan materiaalkringlopen buiten de eigen installatie, bijvoorbeeld via restwarmte, glasresiduen, procesresiduen of bijproducten.

Concrete acties voor de BBT-auteur:
Enkele mogelijkheden die verder kunnen worden verkend:

- Glasafval of bijproducten zoals glaspoeder kunnen in bepaalde gevallen als secundaire grondstof in andere sectoren worden ingezet, bijvoorbeeld in de bouwsector (beton, asfalt), als grondstof voor keramische materialen, als substraat voor hydroponische teelt, enz. Dit is vooral relevant voor stromen die niet geschikt zijn voor glas-naar-glas recyclage, bijvoorbeeld door verontreiniging, kleurmenging, afwijkende samenstelling of onvoldoende zuiverheid. Voor stromen die wel opnieuw in de glasoven kunnen worden ingezet, blijft glas-naar-glas recyclage in principe de meest hoogwaardige route.

- Ook restwarmte van glasovens kan relevant zijn voor industriële of stedelijke symbiose. Een mogelijke toepassing is de koppeling met een warmtenet, het drogen van biomassa of slib in nabijgelegen installaties, of het leveren van proceswarmte aan andere bedrijven op een bedrijventerrein. Zulke toepassingen kunnen de energieprestatie van een cluster verbeteren, maar vragen afstemming over temperatuur, afstand, continuïteit van de warmtevraag en investeringen.

- Gemeenschappelijke zuivering of valorisatie van rookgassen en afvalwater kan eveneens worden verkend. Daarbij kan het gaan om uitwisseling van residuen, zoals gips uit rookgasontzwaveling, of om de productie van nuttige grondstoffen uit afvalwaterbehandeling. De meerwaarde hangt af van schaalvoordelen, kwaliteit van de stromen, juridische status en mogelijke milieu-effecten.

Sterkere aandacht voor industriële symbiose kan duidelijk maken welke glasstromen, residuen of energiestromen buiten de eigen installatie nuttig kunnen worden ingezet. Voor de BREF is vooral relevant welke technische, economische en juridische randvoorwaarden daarbij spelen.

Een toekomstige herziening van de BREF kan dit ondersteunen door praktijkvoorbeelden van industriële symbiose rond glasproductie op te nemen. Daarnaast kan de BREF technische richtlijnen geven voor de kwaliteitseisen en voorbehandeling van glasresiduen in functie van specifieke toepassingen, en drempels voor cross-sectorale samenwerking benoemen.
Benodigde informatie en haalbaarheid: Praktijkvoorbeelden van industriële symbiose rond glasproductie kunnen worden opgevraagd bij sectorfederaties en bedrijventerreinbeheerders; kwaliteitseisen en juridisch statuut van glasresiduen en

restwarmte vragen sectorspecifieke input. Een kwalitatieve beschrijving met randvoorwaarden is haalbaar.

4.2.2 Kwantitatieve doelstellingen

Analyse van het hiaat:
De BREF erkent het belang van glasscherven, maar werkt geen kwantitatieve doelstellingen of benchmarks uit voor gerecycleerde content in glasproducten. Zulke doelstellingen of referentiewaarden kunnen helpen om de inzet van secundaire grondstoffen systematischer op te volgen en verder te verbeteren.

Concrete acties voor de BBT-auteur:
Onderstaande streefcijfers zijn verkennende voorbeelden. Ze tonen hoe circulariteit kwantitatief zou kunnen worden opgevolgd, maar vormen geen voorstel om deze waarden rechtstreeks als bindende BBT-conclusies op te nemen. Daarvoor is bijkomende technische, juridische en marktanalyse nodig.

Enkele mogelijke manieren om kwantitatieve doelstellingen voor gerecycleerde content in de BREF te integreren zijn:

- Het definiëren van algemene streefcijfers voor het aandeel glasscherven in belangrijke glastoepassingen, zoals verpakkingsglas, vlakglas of glasvezels. Zulke cijfers kunnen als benchmark dienen voor de sector en later worden vertaald naar meer specifieke BBT-informatie, wanneer voldoende onderbouwing beschikbaar is.

- Streefcijfers kunnen ook worden gedifferentieerd per glastype, kleur, kwaliteit en toepassing. Zo kan voor groen glas een hoger aandeel gerecycleerde content haalbaar zijn dan voor wit glas, en kunnen de mogelijkheden voor verpakkingsglas verschillen van die voor glas met hoge zuiverheidseisen.

- Een andere piste is om de best beschikbare prestaties in de sector te gebruiken als referentie bij de bepaling van BBT. Installaties met hoge en stabiele aandelen kwalitatief cullet kunnen dan inzicht geven in wat technisch haalbaar is onder bepaalde randvoorwaarden.

- Het periodiek herzien en aanscherpen van de streefcijfers, bv. om de 5 jaar, in lijn met de technologische vooruitgang en de beschikbaarheid van kwalitatief hoogwaardige glasscherven.

Bij het bepalen van streefcijfers moet de volledige waardeketen van glas worden meegenomen. Onderstaande pistes zijn verkennend. Ze tonen hoe circulariteit kwantitatief zou kunnen worden opgevolgd, maar vormen geen voorstel om streefcijfers rechtstreeks als bindende BBT-conclusies op te nemen. Een hoger aandeel glasscherven vraagt ook inspanningen op het vlak van inzameling, sortering, opwerking en kwaliteitsborging. Goede afstemming tussen inzamelaars, verwerkers en glasproducenten is nodig om voldoende zuivere stromen te verkrijgen.

Daarnaast moet worden vermeden dat de focus op kwantiteit ten koste gaat van de kwaliteit van gerecycleerde grondstoffen en glasproducten. Een te hoog aandeel gerecycleerd glas kan leiden tot onzuiverheden, kleurafwijkingen of insluitsels die de mechanische, optische of esthetische prestaties beïnvloeden. De BREF kan daarom niet alleen percentages

beschrijven, maar ook kwaliteitscriteria voor glasscherven en richtlijnen voor monitoring en procesbijsturing.
Benodigde informatie en haalbaarheid: Sectorgegevens over cullet-aandelen per glastype en kleur kunnen worden opgevraagd bij FEVE en Glass for Europe; de beschikbaarheid en bruikbaarheid ervan moeten per glastype worden nagegaan. De vertaling naar referentiewaarden vraagt bijkomende technische, juridische en marktanalyse.

4.2.3 Ecodesign en design for recycling

Analyse van het hiaat:
De BREF focust vooral op de productiefase en minder op ecodesign of ontwerpkeuzes die recyclage later mogelijk maken. *Design for recycling* komt daardoor beperkt aan bod. Voor glas is dit nochtans relevant, omdat productopbouw, coatings, lijmen, labels, tussenlagen en kleurmenging de kwaliteit van glasscherven kunnen beïnvloeden. Voor vlakglas en gelaagd glas vormt de meerlaagse opbouw een specifieke uitdaging. Polymere tussenlagen, zoals PVB, coatings, afstandhouders en andere functionele lagen kunnen de inzet van glasscherven in nieuwe glasproductie beperken. Design for recycling betekent hier vooral dat glas en niet-glazen componenten bij einde leven technisch gescheiden kunnen worden.

Concrete acties voor de BBT-auteur:
Enkele aspecten van ecodesign en design for recycling die sterker geïntegreerd zouden kunnen worden in de BREF zijn:

- Bij materiaalkeuze kan aandacht gaan naar monomaterialen of compatibele materiaalcombinaties, in plaats van materiaalmixen die moeilijk te scheiden zijn. Dit vergemakkelijkt de zuivering van materiaalstromen aan het einde van de levensduur. Lichtere glasverpakkingen kunnen eveneens relevant zijn wanneer zij materiaalgebruik en transportemissies beperken zonder de technische levensduur, breukbestendigheid of herbruikbaarheid te verminderen (O-I, 2024).

- Ontwerpprincipes: vermijd vormen, coatings, inkten, labels of lijmen die de recyclage van glas bemoeilijken of verontreinigingen in glasscherven veroorzaken. Recyclagevriendelijke alternatieven, zoals gemakkelijk verwijderbare etiketten, afwasbare inkten of geschikte lijmen, kunnen de kwaliteit van scherven verbeteren.

- Verbindingstechnieken: omkeerbare verbindingen kunnen demontage en scheiding van materialen ondersteunen. Voor onderdelen kan hergebruik mogelijk zijn, bijvoorbeeld bij modulaire gevelsystemen. Voor materialen gaat het meestal om recyclage. Ook bij verpakkingsglas spelen verbindingen een rol: bepaalde lijmen maken etiketten moeilijk verwijderbaar, waardoor hervulbare flessen minder geschikt worden voor hergebruik en glasscherven bij recyclage kunnen worden verontreinigd.

- Modulair en aanpasbaar ontwerp: standaardonderdelen die makkelijk vervangen of geüpgraded kunnen worden, bijvoorbeeld bij modulaire glasgevels, kunnen de technische levensduur verlengen en afvalproductie beperken.

- Software voor ‘design for recycling’: softwaretools kunnen ontwerpers helpen om recycleerbaarheid tijdens de ontwerpfase te beoordelen. Ze kunnen bijvoorbeeld zicht geven op materiaalcompatibiliteit, demontagecomplexiteit en zuiverheid van de resulterende materiaalfracties.

De BREF kan deze ecodesignstrategieën illustreren met praktijkvoorbeelden en checklists voor design for recycling. Ook kan worden aangegeven hoe ontwerpkeuzes de kwaliteit van recyclaatstromen beïnvloeden. Daarmee wordt ecodesign niet als losstaand productbeleid behandeld, maar als factor die de latere recyclage en materiaalwaarde mee bepaalt.

Ecodesign moet wel aansluiten bij de reële recyclagepraktijk en afzetmarkten voor gerecycleerd glas. Een product dat theoretisch recycleerbaar is, levert weinig op wanneer er geen inzameling, sortering of toepassing bestaat. Afstemming tussen ontwerpers, inzamelaars, verwerkers en glasproducenten blijft daarom belangrijk.

De BREF kan aanbevelingen doen om communicatie en samenwerking tussen deze schakels te verbeteren. Dat kan bijvoorbeeld via uitwisseling van gegevens over kwaliteitsvereisten voor glasscherven, praktijkvoorbeelden van recyclagevriendelijk ontwerp of materialenpaspoorten die samenstelling en recycleerbaarheid documenteren.

Benodigde informatie en haalbaarheid:
Voor deze beoordeling is informatie nodig over productopbouw, coatings, etiketten, lijmen, tussenlagen, sorteerbaarheid, recyclagepraktijken en afzetmarkten voor gerecycleerd glas. De beoordeling blijft hoofdzakelijk kwalitatief en sluit aan bij bestaande technische kennis en sectorinformatie.

4.2.4 Productlevensduurverlenging (reuse, repair & refurbish)

Analyse van het hiaat:
Recyclage is een centraal aspect van de BREF GLS. Daarnaast kan de BREF meer aandacht besteden aan strategieën hoger op de R-ladder, zoals hergebruik, herstel en refurbishment. Deze strategieën zijn vooral relevant wanneer zij de functionele levensduur van glasproducten verlengen of de vraag naar nieuw glas verminderen.

Concrete acties voor de BBT-auteur:
Enkele mogelijkheden om productlevensduurverlenging en hergebruik sterker te integreren in de BREF zijn:

- Ontwerpen voor technische levensduur: glasproducten kunnen ontworpen worden met aandacht voor langere technische en esthetische levensduur, bijvoorbeeld via slijtvaste materialen, tijdloze ontwerpen of coatings tegen krassen en corrosie. Dit kan de vervangingsfrequentie verminderen.
  –
- Ontwerpen voor onderhoud en herstel: glasproducten kunnen zo worden ontworpen dat onderhoud, herstel of vervanging van beschadigde onderdelen eenvoudiger wordt. Dit kan bijvoorbeeld via gestandaardiseerde componenten, reserveonderdelen, reparatie-instructies en toegankelijke bevestigingspunten.
  –
- Faciliteren van producthergebruik: systemen voor hergebruik van glasverpakkingen, zoals statiegeldsystemen voor flessen en bokalen, kunnen sterker worden beschreven. Ook ontwerpkeuzes zoals standaardformaten, reinigbaarheid en voldoende robuustheid bepalen hoeveel hergebruikscycli haalbaar zijn.
  –
- Inzetten op refurbishment: voor bepaalde glasproducten kan worden onderzocht of opknappen en opnieuw inzetten mogelijk is. Voorbeelden zijn hercoaten, herslijpen of hergebruiken van vlakglas uit gebouwen, of retourlogistiek voor glas uit voertuigen, zonnepanelen of gevelsystemen.
  –

- Verkennen van product-dienstmodellen: glasproducenten of ketenpartners kunnen in sommige toepassingen de functionaliteit van glas aanbieden in plaats van enkel het product te verkopen. Voorbeelden zijn leasing van gevelglas of gesloten systemen voor herbruikbare verpakkingen. Zulke modellen kunnen levensduurverlenging en hoogwaardige terugname ondersteunen.

Door hogere R-strategieën explicieter te bespreken, kan een toekomstige BREF verder gaan dan recyclage alleen. Het gaat dan bijvoorbeeld om preventie, vermindering van materiaalgebruik, productlevensduurverlenging, hervulbare verpakkingssystemen en ontwerpkeuzes die hergebruik of recyclage ondersteunen. Dit vereist een andere denkwijze, waarbij glas niet langer gezien wordt als een verbruiksproduct maar als een waardevol materiaal dat zo lang mogelijk in de kringloop moet blijven.

Benodigde informatie en haalbaarheid:
De BREF kan deze omslag ondersteunen door ontwerprichtlijnen en praktijkvoorbeelden voor levensduurverlenging en hergebruik te documenteren, technische randvoorwaarden voor slijtvastheid, onderhoudbaarheid en hervulbaarheid te beschrijven, en beleidsaanbevelingen te formuleren voor hergebruik, tweedehandsmarkten of product-dienstmodellen.

4.2.5 Levenscyclusbenadering

Analyse van het hiaat:
De BREF houdt in zekere mate rekening met effecten verderop in de keten, bijvoorbeeld bij de afweging tussen SO_2-reductie en afvalbeheer. Een expliciete levenscyclusbenadering ontbreekt echter. Een meer systematische toepassing van LCA-informatie kan helpen om de milieu-impact van glasproducten over hun volledige levenscyclus te beoordelen en trade-offs tussen circulaire strategieën zichtbaar te maken.

Concrete acties voor de BBT-auteur:
Mogelijke toepassingen van LCA-informatie in de BREF zijn:

- Analyse van de milieu-impact van verschillende glastypes, zoals verpakkingsglas, vlakglas, isolatieglas en glasvezels, over de volledige levenscyclus. Dit kan hotspots zichtbaar maken, bijvoorbeeld hoge productie-impact door smeltenergie of lagere impact in de gebruiksfase door isolerende eigenschappen.

- Vergelijking van verschillende circulariteitsstrategieën, zoals recyclage van glasscherven, hergebruik van glazen flessen of levensduurverlenging via betere coatings. Dit helpt om keuzes tussen strategieën beter te onderbouwen en mogelijke verschuivingen tussen levenscyclusfasen te herkennen.

- Gebruik van bestaande LCA-gebaseerde indicatoren bij de selectie van BBT, bijvoorbeeld om ook effecten stroomopwaarts en stroomafwaarts in beeld te brengen. Dit ondersteunt een bredere afweging van de totale milieuprestatie.

- Gebruik van levenscycluskostenanalyse (LCCA) om de economische impact van circulaire investeringen over de levensduur te bekijken. Dit kan helpen om businesscases voor circulaire glasproductie te onderbouwen en mogelijke lock-ins of toekomstige kostenrisico's zichtbaar te maken.

Benodigde informatie en haalbaarheid:
Een levenscyclusperspectief vraagt betrouwbare data over de waardeketen. De BREF kan daarom verwijzen naar bestaande databanken, sectorgegevens en gestandaardiseerde methoden voor dataverzameling. Tegelijk moet rekening worden gehouden met onzekerheden rond systeemgrenzen, allocatieregels, impactcategorieën en datakwaliteit. Transparante aannames blijven nodig. LCA kan ook worden gecombineerd met andere methoden, zoals Material Flow Analysis of circulaire indicatoren. Dat kan een volledigere beeld geven van materiaalstromen, verliezen en mogelijke kringlopen. Zulke methoden moeten wel ondersteunend blijven en mogen de BREF niet onnodig verzwaren.

4.2.6 Nieuwe businessmodellen

Analyse van het hiaat:
De BREF focust vooral op technieken en productieprocessen. Nieuwe circulaire businessmodellen, zoals product as a service, leasemodellen of gedeelde verantwoordelijkheid voor materialen, komen nauwelijks aan bod. Dat is begrijpelijk binnen de huidige BREF-scope, maar zulke modellen kunnen wel relevant zijn wanneer ze hergebruik, terugname, levensduurverlenging of hoogwaardige recyclage ondersteunen.

Concrete acties voor de BBT-auteur:
Ter inspiratie kunnen enkele circulaire businessmodellen worden beschreven die relevant zijn voor de glassector:

- Businessmodellen op basis van product as a service voor verpakkingsglas: glasproducenten of ketenpartners leveren geen eenmalig product, maar een verpakkingsdienst. De glasverpakkingen blijven eigendom van de producent die instaat voor de levering, reiniging en hervulling ervan. Dit stimuleert het gebruik van standaardformaten en lichtere verpakkingen, en maximaliseert het aantal rotaties. Een bestaand voorbeeld van hergebruik in de glassector is het collectieve poolsysteem voor hervulbare bierflessen, waarbij brouwers gestandaardiseerde statiegeldflessen gebruiken die na inzameling, reiniging en kwaliteitscontrole opnieuw kunnen worden gevuld. Dit systeem vereenvoudigt de logistiek, verhoogt het aantal hergebruikscycli en vermindert de behoefte aan nieuwe verpakkingen. Het situeert zich grotendeels buiten de glasproductie-installatie, maar illustreert hoe standaardisatie, ketensamenwerking en gedeelde logistiek hogere R-strategieën mogelijk maken.

- Leasemodellen voor vlakglas in gebouwen: de producent of een andere ketenpartner blijft eigenaar van de beglazing en staat in voor prestaties over de levensduur, zoals isolatiewaarde, lichttransmissie of breukvastheid. Dit kan prikkels creëren voor lange levensduur, modulaire vervangbaarheid en hoogwaardige terugname.

- Vergoedingssystemen voor glasafval: inzamelaars of ontdoeners kunnen worden beloond op basis van de kwaliteit en zuiverheid van aangeboden glasstromen. Dit kan helpen om de beschikbaarheid van kwalitatieve glasscherven te vergroten en bevoorradingsrisico’s voor glasrecyclage te beperken.

- Samenwerkingsplatformen: bedrijven kunnen vraag en aanbod van reststoffen, bijproducten of cullet beter op elkaar afstemmen. Dat kan gaan om fysieke materiaaluitwisseling, gedeelde investeringen in opwerking of afspraken over kwaliteitsspecificaties.

Benodigde informatie en haalbaarheid:
De BREF kan zulke modellen illustreren met praktijkvoorbeelden en daarbij vooral de technische randvoorwaarden benoemen: logistiek, traceerbaarheid, kwaliteitsbewaking, standaardisatie, eigenaarschap en verdeling van kosten en baten. De uitwerking van financiële of regelgevende prikkels valt eerder onder flankerend beleid, maar de BREF kan wel aangeven welke randvoorwaarden circulaire modellen technisch mogelijk maken.

4.3 Integratie van circulariteit in de BBT-methodologie

De voorgaande analyse toont welke circulariteitsaspecten in de glascase relevant zijn: cullet, procesresiduen, energiegebruik, waterkringlopen, ontwerpkeuzes, levensduurverlenging, businessmodellen en ketenrelaties. In deze paragraaf wordt nagegaan waar die aspecten een plaats kunnen krijgen in de structuur van een BREF of, ruimer, in de BBT-methodologie. Deze casestudie verschilt van de asfalt- en AGF-cases omdat zij vertrekt van een Europese BREF en niet van een Vlaamse BBT-studie. De aanbevelingen in deze paragraaf hebben daarom twee mogelijke bestemmingen. Sommige zijn relevant voor een toekomstige herziening van de BREF GLS. Andere zijn bruikbaar als inspiratie voor de Vlaamse BBT-methodologie. De bevindingen die relevant zijn voor de Vlaamse template worden in hoofdstukken 5 en 6 vertaald naar een generiek en haalbaar kader.

4.3.1 Procesbeschrijving, technieken en verbruiks- en emissieniveaus

Dit onderdeel komt overeen met de BREF-hoofdstukken General information, Applied processes and techniques en Present consumption and emission levels. In de inleidende en procesbeschrijvende hoofdstukken kan meer aandacht gaan naar processen en activiteiten die bijdragen aan circulariteit, hun impact, mogelijke cross-media-effecten en de informatie die nodig is om die impact te beoordelen. Voor glas gaat het vooral om de inzet van cullet, recyclage van procesresiduen, ovenontwerp, smeltenergie, waterkringlopen en kwaliteitseisen aan grondstoffen.

Voor de glassector zijn vooral de volgende processen en activiteiten relevant. Per onderdeel kan worden aangegeven hoe het bijdraagt aan circulariteit, welke cross-media-effecten kunnen optreden en welke informatie nodig is voor de beoordeling.

1. Gebruik van gerecycleerde grondstoffen (cullet) (sectie 3.3.1 en 3.4.1):

    - Impact op circulariteit: het gebruik van cullet vermindert de behoefte aan primaire grondstoffen, verlaagt het energieverbruik en de CO_2-uitstoot van het smeltproces, en kan de belasting van ovens verminderen door lagere smelttemperaturen.
    - Cross-media-effecten: afhankelijk van kwaliteit en aandeel van het gerecycleerde glas kunnen emissies, processtabiliteit of productkwaliteit worden beïnvloed.
    - Benodigde informatie: gegevens over het aandeel intern en extern cullet per glastype en productieproces, de kwaliteit en beschikbaarheid van cullet, en de invloed op energieverbruik, emissies en productkwaliteit.

2. Recyclage van procesafval (sectie 3.8.4):

    - Impact op circulariteit: recyclage van procesresiduen beperkt afvalafvoer en verlaagt het gebruik van primaire grondstoffen. Voorbeelden zijn filterstof, interne scherven en andere residuen die opnieuw in het proces worden ingezet.

- Cross-media-effecten: herinzet kan leiden tot accumulatie van onzuiverheden, bijkomend energieverbruik of effecten op productkwaliteit en emissies.

- Benodigde informatie: hoeveelheden en types procesresiduen, recyclagepercentages, samenstelling, invloed op productkwaliteit en emissies, en energieverbruik van eventuele voorbehandeling.

3. Optimalisatie van ovenontwerp en smeltproces (Sectie 3.2.3, 3.4.5):

    - Impact op circulariteit: optimalisatie van ovenontwerp en smeltproces verhoogt de energie-efficiëntie en kan materiaalverliezen beperken.

    - Cross-media-effecten: aanpassingen aan ovenontwerp of procesparameters kunnen emissiepatronen beïnvloeden. Optimalisatie voor één parameter, zoals energiegebruik, kan effecten hebben op andere parameters, zoals NO_x-vorming.

    - Benodigde informatie: gegevens over ovenontwerp, operationele parameters, energieverbruik, materiaalefficiëntie en emissieprofielen.

4. Waterrecyclage en -hergebruik (Sectie 3.8.3):

    - Impact op circulariteit: waterrecyclage en -hergebruik verminderen waterverbruik en afvalwaterproductie.

    - Cross-media-effecten: gesloten kringlopen kunnen extra energie vragen voor zuivering of recirculatie, en kunnen leiden tot ophoping van verontreinigingen.

    - Benodigde informatie: waterbalansen, kwaliteit en samenstelling van proceswater, kwaliteit van gezuiverd water en energieverbruik van zuivering en recirculatie.

Om deze technieken te beoordelen, zijn gegevens nodig over materiaalstromen, energieverbruik, emissies, afvalproductie en transport. Daarbij gaat het zowel om de glasproductie zelf als om schakels stroomopwaarts en stroomafwaarts, zoals grondstofwinning, cullet-inzameling, sortering, opwerking en eindbestemming van residuen.

4.3.2 Technieken voor de BBT-bepaling

In het hoofdstuk over kandidaat-BBT kan meer aandacht gaan naar technieken die bijdragen aan circulariteit. Daarbij wordt gekeken naar hun effect op materiaalgebruik, cullet-inzet, procesresiduen, waterkringlopen, energieverbruik, cross-media-effecten en de informatie die nodig is om de milieu-impact te beoordelen.

Voorbeelden van relevante kandidaat-BBT zijn:

- Cullet usage (sectie 4.8.3): het gebruik van glasscherven in de smeltoven wordt besproken als techniek om energieverbruik en grondstoffengebruik te verminderen. De BREF vermeldt dat elke toename van het cullet-aandeel met 10 procentpunten kan leiden tot een daling van het energieverbruik van de oven met ongeveer 2,5 tot 3,0%. Dit draagt bij aan circulariteit doordat glasscherven opnieuw in het smeltproces worden ingezet.

- Waste minimisation (sectie 4.7): de BREF bespreekt technieken om procesresiduen te beperken, te recycleren of nuttig toe te passen. Voorbeelden zijn het recycleren van stof uit rookgasstromen en het opnieuw inzetten van niet-omgezet smeltmateriaal in het proces.

Technieken uit hoofdstuk 4 van de BREF die verder kunnen worden uitgewerkt vanuit circulariteit:

- Batch formulation (sectie 4.4.3.2): de BREF bespreekt al het gebruik van hoogovenslakken bij steenwolproductie en de afweging tussen materiaal- en energiewinst enerzijds en hogere zwavelemissies anderzijds. Dit vormt een bestaand voorbeeld van industriële symbiose en cross-media-afweging. De circulariteitsbijdrage kan explicieter worden beschreven via grondstofsubstitutie, kwaliteit en keteneffecten.

Bijkomende technieken die vanuit circulariteit in een toekomstige BREF-herziening kunnen worden onderzocht:

- Geavanceerde sorteertechnieken voor extern cullet, om kwaliteit en zuiverheid van glasscherven te verhogen;
- ecodesign voor recycleerbaarheid, bijvoorbeeld door moeilijk te scheiden coatings, lijmen of additieven te vermijden;
- gesloten waterkringlopen via geavanceerde zuivering en hergebruik;
- valorisatie van restwarmte uit ovens, bijvoorbeeld voor warmtenetten of nabijgelegen processen.

Voor de beoordeling van deze technieken gelden dezelfde gegevensbehoeften als in §4.3.1: materiaalstromen, energieverbruik, emissies, afvalproductie en transport, binnen én buiten de glasproductie.

De kandidaat-BBT-analyse voor de glassector kan daarbij rekening houden met:

- Beschikbaarheid, kwaliteit en verwerkbaarheid van glasscherven en andere gerecycleerde grondstoffen;
- materiaal- en energiebalansen over het volledige productieproces;
- eindbestemming en milieu-impact van afval- en reststromen;
- mogelijkheden voor interne recyclage, externe valorisatie, nuttige toepassing of verwijdering als laatste optie;
- cross-media-effecten, zoals verschuivingen in energiegebruik, hulpstoffengebruik, productkwaliteit of emissies.

Het meenemen van deze aspecten in de kandidaat-BBT-analyse kan een vollediger beeld geven van het circulaire potentieel van technieken en van mogelijke trade-offs. De beoordeling blijft gebaseerd op technische, economische en milieugerelateerde parameters, maar krijgt meer aandacht voor materiaalbehoud, kwaliteit van recyclaatstromen en effecten in de keten.

4.3.3 BBT-conclusies

In de BBT-conclusies kan circulariteit vooral zichtbaar worden via technieken en prestatieniveaus die samenhangen met materiaalgebruik, cullet-inzet, afvalminimalisatie, waterhergebruik, energie-efficiëntie en nuttige toepassing van procesresiduen. Productontwerp, hergebruikssystemen en ketensamenwerking liggen verder van de klassieke BREF-structuur, maar kunnen wel als randvoorwaarde, beschrijvende passage of aanbeveling worden opgenomen.
De BREF kan overwegen om indicatieve bandbreedtes of referentiewaarden op te nemen voor het gebruik van cullet, gedifferentieerd naar glastype, kleur en kwaliteitseisen. Zulke waarden kunnen helpen om prestaties binnen de sector te vergelijken. Een vertaling naar bindende prestatieniveaus vraagt bijkomende analyse van beschikbaarheid, kwaliteit, marktomstandigheden en technische haalbaarheid.

In de ‘concluding remarks and recommendations for future work’ van de BREF zou circulariteit sterker geïntegreerd kunnen worden, zowel in de aanbevelingen naar de BREF-context toe als in de bepaling van BBT-GMPN voor materiaalgebruik en afval. Onderstaande indicatoren zijn voorstellen voor verdere uitwerking. Er worden in dit rapport geen numerieke BBT-prestatieniveaus voor vastgesteld. Daarvoor zijn gegevens nodig over behaalde prestaties, toepassingsvoorwaarden en een eenduidige berekeningswijze.

Mogelijke circulaire aanbevelingen voor de BREF-context zijn:

- Opname van een apart hoofdstuk over materiaalbeheer in de glasindustrie, met specifieke doelstellingen voor het gebruik van gerecycleerde grondstoffen, het sluiten van materiaalkringlopen en het minimaliseren van afval. Deze doelstellingen zouden gekwantificeerd en tijdsgebonden moeten zijn, en gekoppeld aan een monitoringssysteem (uitbreiding van BAT 14).

- Verplichte rapportering van de hoeveelheden primaire grondstoffen, secundaire grondstoffen en recyclaten die jaarlijks worden ingezet, alsook van de hoeveelheden en types glasafval die gegenereerd en gevaloriseerd worden. Dit creëert transparantie en maakt benchmarking en opvolging van de circulariteitsdoelstellingen mogelijk (nieuwe BBT).

- Uitwerken van een geharmoniseerde methodologie voor de beoordeling van de milieu-impact en circulariteitsprestatie van glastechnieken over de hele levenscyclus, als basis voor de identificatie van BBT. Dit bevordert een objectieve en wetenschappelijk onderbouwde evaluatie (nieuwe BBT).

- Voorzien van uitzonderingsregels en overgangsperiodes voor BBT-implementatie in functie van de circulariteit, bv. door meer tijd en flexibiliteit te geven aan fundamenteel circulaire innovaties of door tijdelijke experimenteerruimte binnen het geldende juridische kader te creëren voor pilootprojecten rond industriële symbiose of ketensamenwerking (nieuwe aanbeveling).

Mogelijke circulaire BBT-GMPN voor materiaalgebruik en afval:

- Een BBT-GMPN voor het percentage gerecycleerde content in diverse glastoepassingen, gedifferentieerd naar resulterende glaskwaliteit en kleur (aanvulling op BAT 14);

- Een plafondwaarde voor de hoeveelheid onvermijdbaar productieafval dat finaal gestort of verbrand moet worden, uitgedrukt in % van de totale glasproductie (aanvulling op BAT 14);

- Streefwaarden voor de energie-efficiëntie en CO_2-intensiteit van glasrecyclage in vergelijking met primaire glasproductie, als indicator voor de milieuwinst van het sluiten van de glaskringloop (aanvulling op BAT 14);

- Benchmarks voor de opbrengst en zuiverheid van gesorteerde glasstromen uit selectieve inzameling of nascheiding, gekoppeld aan kwaliteitscriteria voor toepassingen in de glasindustrie (aanvulling op BAT 14);

Andere mogelijke circulaire aanbevelingen:

- Opname van sectorspecifieke circulariteitsindicatoren en -doelstellingen in de BREF-evaluatie- en herzieningsprocedure, met het oog op een periodieke actualisatie en

aanscherping van de BBT in lijn met technologische en marktontwikkelingen (nieuwe aanbeveling).

- Verkennen van het potentieel om circulaire glasproductie mee te nemen bij de uitvoering van de herziene EU Construction Products Regulation (Verordening (EU) 2024/3110), bv. door circulariteitseisen op te nemen in de geharmoniseerde productnormen en Europese technische beoordelingen voor (vlak)glasproducten die onder de nieuwe verordening worden uitgewerkt (nieuwe aanbeveling).

- Voorzien van financiële en fiscale stimuli voor investeringen in circulaire glastechnieken, -producten en -businessmodellen, bv. via verhoogde steunpercentages, belastingverminderingen of innovatiepremies (nieuwe aanbeveling).

- Opzetten van een kennisuitwisselingsplatform rond circulaire (glas)technologieën, met inbegrip van een vrij toegankelijke databank met BBT-gevalideerde technologieën, een expertisenetwerk voor technologiescreening en -implementatie, en een overlegstructuur voor ketensamenwerking (nieuwe aanbeveling).

De glascase toont dat circulariteit in BREF- en BBT-studies veel breder is dan het aandeel gerecycleerde grondstoffen. De inzet van cullet blijft een kernpunt, maar de beoordeling hangt ook af van kwaliteit, kleurzuiverheid, contaminanten, energiegebruik, processtabiliteit, productontwerp, levensduurverlenging, hergebruikssystemen en ketenorganisatie. De bestaande BREF bevat al belangrijke aanknopingspunten via cullet, afvalminimalisatie, waterkringlopen en energie-efficiëntie. Een bredere circulariteitsbenadering kan deze elementen explicieter verbinden met ecodesign, industriële symbiose, LCA-informatie, businessmodellen en toekomstige BBT-conclusies.

5 EEN GEÏNTEGREERD KADER VOOR DE EVALUATIE VAN CIRCULARITEIT IN BBT-STUDIES

5.1 Doel en rationale van het evaluatiekader

Dit hoofdstuk vertaalt de bevindingen uit de casestudies naar een praktisch evaluatiekader om circulariteit structureler te integreren in de Vlaamse BBT-methodologie. Het kader vervangt de bestaande methodiek niet, maar vult ze aan met gerichte aandacht voor materiaalgebruik, waardebehoud, keteneffecten en mogelijke probleemverschuivingen.

De huidige praktijk legt vooral de nadruk op technische en economische haalbaarheid, en op de directe milieu-impact binnen de inrichting. Dat is logisch vanuit de historische focus van de richtlijn op geïntegreerde preventie en bestrijding van verontreiniging. De bredere ketenimpact blijft daardoor vaak beperkt in beeld. Ook mogelijke milieuwinst door ontwerpverbetering, levensduurverlenging of ketensamenwerking blijft dan gemakkelijk buiten beeld.

De analyses in hoofdstukken 2, 3 en 4 vormen het vertrekpunt voor het evaluatiekader in de volgende paragrafen. De casestudies verkennen breed hoe circulariteit theoretisch in een BBT-studie kan worden geïntegreerd: van levenscyclusanalyse en materiaalstroomanalyse tot circulaire businessmodellen, KPI-kaders en flankerende beleidsmaatregelen, en tonen hoe een ambitieuze benadering eruit kan zien.

De casestudies bevatten bewust ook pistes die verder gaan dan de voorgestelde aanpassing van de BBT-template. Die pistes worden meegenomen als verkennende mogelijkheden of toekomstsporen, maar worden alleen in hoofdstukken 5 en 6 overgenomen wanneer zij werkbaar zijn binnen de bestaande BBT-methodologie en de rol van de BBT-auteur niet onevenredig verzwaren.

Het evaluatiekader is echter geen directe vertaling van al die mogelijkheden. Het kader werd uitgewerkt met als leidraad: wat is realistisch uitvoerbaar binnen de bestaande structuur van BBT-studies? Het resultaat is een kader dat verder gaat dan de huidige praktijk, maar haalbaar blijft, mits de sector, de sectorfederaties en het begeleidingscomité de nodige informatie aanleveren. Een aantal elementen uit de casestudies is bewust niet overgenomen:

- Volledige LCA per techniek als evaluatie-instrument: niet opgenomen als standaardonderdeel. In plaats daarvan wordt levenscyclusdenken toegepast als kwalitatieve benadering om belangrijke keteneffecten, hotspots en risico's op probleemverschuiving zichtbaar te maken.

- Materiaalstroomanalyse (MFA) als standaardmethode voor Hoofdstuk 3: niet opgenomen als verplicht onderdeel. In plaats daarvan werkt de BBT-auteur met gerichte vragen over relevante materiaalstromen, beschikbare sectorinformatie en kennishiaten.

- Subcriteria met wegingsfactoren voor circulariteit in de evaluatietabel: niet opgenomen als standaardmethodiek. Wegingsfactoren zouden een schijnnauwkeurigheid creëren die niet sectoroverschrijdend te onderbouwen is. Circulariteit wordt in hoofdstuk 6 geïntegreerd via een verduidelijking van het bestaande criterium 'effect op de keten' (inclusief circulariteit).

- Concrete kwantitatieve streefcijfers voor recyclaat-inzet: in dit generieke kader worden geen sectorale percentages vastgesteld. Een BBT-studie kan technisch haalbare inzetniveaus onderzoeken en onderbouwen. De vertaling naar bindende eisen vraagt een afzonderlijke beoordeling van het geschikte instrument en de bevoegde overheid.

- Circulaire businessmodellen: worden in dit kader niet als zelfstandige kandidaat-BBT beoordeeld. Organisatorische maatregelen kunnen wel deel uitmaken van een beoordeelbare techniek of procesvoering wanneer zij rechtstreeks samenhangen met de exploitatie en milieuprestaties van de installatie.

- Materiaalrapportering: het kader stelt geen nieuwe generieke rapportageplicht voor. Per BBT-studie kan worden onderzocht welke gegevens nodig zijn om relevante materiaalstromen en milieuprestaties te beoordelen en hoe dit kan aansluiten bij bestaande registratie- en rapportageverplichtingen.

- Verplichte rapportering van materiaalstromen als VLAREM-voorwaarde: niet opgenomen als standaardvoorstel. Wanneer materiaalrapportering relevant lijkt, wordt dit behandeld als aandachtspunt voor verder onderzoek of afstemming met OVAM.

- Flankerend beleid (circulaire heffingen, impulsregelingen, fiscale stimuli): buiten scope geplaatst, omdat dit beleidsmaatregelen betreft die verder gaan dan de vergunningsverlening en niet vanuit een BBT-studie kunnen worden opgelegd.

5.1.1 Handvatten voor de BBT-auteur

Het evaluatiekader geeft de BBT-auteur handvatten om circulariteit op een consistente en onderbouwde manier mee te nemen. Daarbij gelden drie voorwaarden:

1. Het kader moet breed toepasbaar zijn: van minerale processen, zoals asfalt, tot biologische processen, zoals voeding. Daarvoor zijn begrippen nodig die algemeen genoeg zijn voor verschillende sectoren, maar concreet genoeg voor toepassing in één studie.
2. Het kader moet de beoordeling systematischer maken. Vaste criteria maken zichtbaar waar en hoe circulariteit meespeelt. Zo worden studies beter vergelijkbaar en wordt duidelijker waarom bepaalde keuzes worden gemaakt.
3. Werkbaarheid blijft een randvoorwaarde. Het kader ordent bestaande informatie vanuit een circulair perspectief, zonder van elke BBT-studie een nieuw onderzoeksproject te maken.

De vragen in dit kader zijn richtinggevende aandachtspunten voor de BBT-auteur. Ze moeten helpen om relevante circulariteitsaspecten zichtbaar te maken, maar leiden niet automatisch tot een even uitgebreide analyse voor elk onderdeel van de BBT-studie of voor elke kandidaat-BBT. De concrete toepassing en diepgang hangen af van de scope van de studie, de relevantie van circulariteit voor de onderzochte activiteit of techniek, en de beschikbare informatie. In hoofdstuk 6 wordt dit verder vertaald naar de verschillende onderdelen van de BBT-methodologie.

5.1.2 Scope en beperkingen

Het kader biedt een gemeenschappelijke aanpak voor BBT-studies waarin circulariteit relevant is. In de huidige BBT-evaluatietabellen bestaat al het criterium ‘effect op de keten’ (inclusief circulariteit). Ook vóór de herziening van de RIE werden ketenaspecten meegenomen in de Europese BBT-bepaling, zij het niet systematisch: (Huybrechts, Derden, Van den Abeele, Vander Aa, & Smets, 2018) vinden in de BREF's voorbeelden waarin keteneffecten als cross-media-effect zijn beoordeeld of waarin technieken die samenwerking in de keten vereisen als BBT zijn geselecteerd, maar stellen vast dat dit geen vaste praktijk

is. RIE 2.0 versterkt de beleidsmatige aandacht voor hulpbronnenefficiëntie en circulariteit. Dit kader biedt praktische handvatten om relevante keteneffecten consistenter te benoemen, te onderbouwen en te beoordelen.

De methode gebruikt de 9R-hiërarchie, zodat niet alleen recyclage, maar ook preventie, hergebruik en herstel vroeg in beeld kunnen komen. Niet elk R-niveau is in elke sector of voor elke techniek relevant. De 9R-hiërarchie wordt daarom gebruikt als analytisch kader, niet als verplicht schema dat volledig moet worden ingevuld.

De analyse blijft niet beperkt tot de fabriekspoort, maar kijkt ook naar relevante effecten daarbuiten wanneer die samenhangen met de onderzochte activiteit, techniek, procesvoering of materiaalstroom. Circulariteit verruimt de BBT-studie evenwel niet tot een volledige keten-, product- of beleidsbeoordeling. De afbakening blijft vertrekken van de onderzochte activiteit, installatie, processen en kandidaat-BBT. Binnen die afbakening worden circulariteitsaspecten wel explicieter meegenomen wanneer een techniek of procesvoering een relevante invloed heeft op materiaalgebruik, afvalpreventie, hergebruik, recyclage, hulpbronnenefficiëntie, toekomstige inzetbaarheid van materialen of duidelijke keteneffecten.

Het kader levert geen samengestelde circulariteitsscore op en vereist geen nieuwe, volledige LCA per techniek. De kwalitatieve inschatting vervangt geen LCA en mag niet worden gelezen als een kwantitatieve vergelijking van levenscycluseffecten. Ze dient om duidelijke keteneffecten, cross-media-effecten en mogelijke probleemverschuivingen m.b.t. milieueffecten zichtbaar te maken binnen de bestaande BBT-afweging. Wanneer de beschikbare informatie onvoldoende is om een effect redelijk te beoordelen, wordt dit niet als score verwerkt. De auteur benoemt het dan als kennishiaat of aandachtspunt. In plaats van een volledige LCA wordt levenscyclusdenken gebruikt.

De BBT-studie beoordeelt productietechnieken, niet of de functie van het eindproduct maatschappelijk wenselijk is. Productkenmerken worden alleen meegenomen voor zover zij door de techniek, procesvoering of materiaalkeuze worden beïnvloed en relevant zijn voor de milieuprestatie of circulariteitsbijdrage.

Een uitgangspunt uit §1.3.1 is dat circulariteit en milieuwinst niet samenvallen: een techniek kan circulair zijn, bijvoorbeeld doordat zij materiaalwaarde behoudt, maar tegelijk een onevenredig hoge energie- of transportlast genereren. Daarom worden circulaire claims altijd getoetst aan de bredere milieu-impact.

5.1.3 Relatie tot andere methoden

Het kader sluit aan bij instrumenten zoals de circulariteitstoets, de Material Circularity Indicator (MCI) en de Circular Transition Indicators (CTI), maar heeft een andere focus. Die methoden richten zich meestal op producten of volledige bedrijven. Dit kader vertrekt van de BBT-studie en van de technieken, processen en materiaalstromen die daarin worden beschreven en beoordeeld.
Uitgangspunt is dat circulariteit een systeemeigenschap is, geen eigenschap van een individuele techniek alleen. Het kader meet daarom geen systeemcirculariteit, maar beoordeelt waar en hoe technieken, processen of materiaalkeuzes kunnen bijdragen aan circulariteit binnen de afbakening van een BBT-studie.
De techniek staat centraal als hefboom voor circulariteit. De analyse vertrekt dus niet van het eindproduct of de organisatie, maar van de manier waarop wordt geproduceerd en van de effecten die de techniek of procesvoering kan beïnvloeden. Het kader houdt expliciet rekening met keteneffecten, waaronder verschuivingen tussen milieudomeinen.

De structuur sluit aan bij de bestaande BBT-methodologie, zodat het kader onderdeel wordt van de studie en geen aparte oefening naast de studie.

5.2 Gemeenschappelijke bevindingen uit de casestudies

Asfalt, AGF en glas verschillen sterk in processen en producten. Toch tonen de analyses enkele terugkerende patronen in de manier waarop circulariteit wordt behandeld. Die patronen vormen de basis voor de drie leidende principes in §5.3.

5.2.1 Dominantie van R2 en R8 in bestaande BBT-studies

Een eerste vaststelling is dat bestaande BBT-studies vooral een beperkt deel van de 9R-hiërarchie behandelen, met name materiaalefficiëntie (R2: Reduce) en recyclage (R8: Recycle). R2 staat relatief hoog in de hiërarchie, maar tussenliggende strategieën zoals hergebruik, herstel, refurbishment, remanufacturing en herbestemming (R3–R7) blijven vaak onderbelicht. Dat is begrijpelijk: R2 en R8 sluiten goed aan bij bestaande BBT-criteria en leiden vaak tot kostenbesparing of emissiereductie. Strategieën die meer waardebehoud kunnen opleveren, komen daardoor minder snel in beeld.

Naast deze bestaande focus speelt een structurele factor: R2 en R8 grijpen in BBT-studies vaak rechtstreeks aan op materiaalstromen en procesvoering, terwijl de tussenliggende strategieën (R3–R7) vaker product-, gebruiks- of ketenniveau raken. De ketenpositie bepaalt daardoor mee welke strategieën binnen het directe bereik van een installatie liggen: een materiaalverwerkend bedrijf heeft doorgaans geen vat op het herstel of hergebruik van producten verderop in de keten. Voor de procesindustrie waarop BBT-studies zich richten, is de dominantie van R2 en R8 dus deels inherent aan de positie in de waardeketen. Dat maakt de hogere treden niet irrelevant: via productkenmerken zoals recycleerbaarheid, herstelbaarheid of levensduur kan de productietechniek ze wel mee mogelijk maken (zie principe 3: de techniek als enabler). De 9R-hiërarchie wordt daarom gebruikt als analysekader om relevante opties en ketenhefbomen zichtbaar te maken, niet als verplicht schema dat in elke sector volledig moet worden ingevuld.

In de asfaltsector ligt de focus bijvoorbeeld sterk op het verwerken van asfaltgranulaat in nieuwe mengsels. Dat is in hoofdzaak een recyclage-oplossing. De rol van bedrijven bij recyclage (R8) is daarbij tweezijdig: secundaire materialen opnemen aan de inputzijde, en eigen reststromen selectief aanleveren voor recyclage aan de outputzijde. In de asfaltsector domineert voor de asfaltcentrale vooral de inputzijde, met name de inzet van asfaltgranulaat in nieuwe mengsels. Strategieën voor levensduurverlenging krijgen minder aandacht, mede omdat ze grotendeels bij andere ketenspelers liggen: preventief onderhoud gebeurt door aannemers en wegbeheerders, terwijl de centrale voor zelfherstellende materialen wel als enabler kan optreden via het mengselontwerp. Maatregelen die de vraag naar asfalt zelf verminderen, liggen meestal buiten de directe invloedssfeer van de asfaltcentrale, maar kunnen wel als relevante ketencontext worden benoemd.

In de AGF-sector komen zowel preventie van materiaalverliezen als valorisatie van nevenstromen aan bod. De studie behandelt preventiemaatregelen in §4.1 en valorisatieroutes in §4.2. Voor biologische stromen is de cascade van waardebehoud een geschikter vertrekpunt dan een rechtstreekse indeling van alle routes onder R8–R9. Onderscheid onder meer toepassing als voeding of veevoeder, terugwinning van componenten, behoud van organische stof en nutriënten, en energieterugwinning. De meerwaarde van het voorgestelde kader ligt in een explicietere beoordeling van deze routes op waardebehoud, randvoorwaarden en netto milieueffecten. Bij biologische materiaalstromen blijft ook de rol van de bodem als schakel in de kringloop vaak impliciet.

Voor BBT-studies in verwerkende sectoren kan dit worden meegenomen als upstream randvoorwaarde binnen het levenscyclusdenken, zonder dat teelttechnieken zelf als kandidaat-BBT worden beoordeeld.

Ook in de glassector ligt de nadruk sterk op recyclage, vooral op het gebruik van gerecycleerde scherven in de oven. Herbruikbare verpakkingen of het herstellen van vlakglasconstructies worden minder uitgewerkt als technisch alternatief. Dit geldt ook voor dienstverleningsmodellen waarbij de producent eigenaar blijft van het materiaal.

Hogere R-strategieën, zoals R0 Refuse, zijn moeilijk toepasbaar voor bedrijven die het product zelf produceren. Toch kan het systematisch doorlopen van de volledige R-ladder onverwachte pistes openen. Een parallel is te vinden in trajecten rond de substitutie van zorgwekkende stoffen (zoals SVHC onder REACH), waar bedrijven niet enkel stoffen vervingen, maar soms ook processen herontwierpen om dezelfde functie met minder risicovolle stoffen te vervullen. Kenmerkend voor deze hogere treden is dat ze zelden door één bedrijf alleen te realiseren zijn; ze vragen samenwerking over de keten heen. Het kader vangt dit op via het onderscheid tussen directe en contextuele invloed (zie §5.2.2). Wanneer de noodzakelijke ketenvoorwaarden buiten de directe invloedssfeer van de exploitant liggen, kan de BBT-studie dit opnemen als randvoorwaarde, kennishiaat of aanbeveling voor verder onderzoek.

R9 (Recover) betreft in de hier gebruikte 9R-hiërarchie verbranding met energieterugwinning. Vergisting wordt bij biologische stromen afzonderlijk besproken, omdat daarbij zowel energie als, afhankelijk van de verdere verwerking en toepassing, nutriënten en organische stof kunnen worden benut. Energieterugwinning geldt in dit rapport niet als materiaalwaardebehoud en wordt onderscheiden van de terugwinning van bruikbare materialen of nutriënten.

5.2.2 Scope-uitdagingen in de keten

Upstream-factoren: Keuzes vroeg in de keten bepalen vaak wat later nog circulair mogelijk is. In de asfaltsector bijvoorbeeld beïnvloedt de samenstelling van bitumen en polymeren de latere recycleerbaarheid. Deze keuzes liggen vaak bij materiaalproducenten en niet bij de asfaltcentrale zelf. In de AGF-sector bepalen verpakkingsproducenten de materialen. De verwerker heeft daarop maar beperkt invloed, maar draagt wel de gevolgen voor zijn afvalstromen. Bij glas bepalen coatings en kleuren de kwaliteit van de scherven die terugkomen. De glasproducent kan hierin sturen, maar designers en merkeigenaars beslissen mee.

Downstream-factoren: Ook verderop in de keten wordt bepaald of circulaire technieken echt werken. De zuiverheid van asfaltgranulaat hangt bijvoorbeeld af van zorgvuldig slopen en scheiden. Dit gebeurt bij wegenbouwers, niet in de centrale. In de AGF-sector hangt de valoriseerbaarheid van industriële nevenstromen vooral af van hun zuiverheid en samenstelling, en van de mate waarin ze gescheiden worden gehouden van andere afvalstromen. Voor verpakkingsafval en voedselresten na consumptie speelt de kwaliteit van de inzameling bij de consument, en upstream bij de retailer voor verkooppuntafval, een bepalende rol. Glasproducenten zijn eveneens afhankelijk van goed functionerende inzamel- en sorteersystemen, waarbij de kwaliteit van de scheiding aan de bron de bovengrens vastlegt voor wat in de sortering nog kan worden teruggewonnen. In Vlaanderen wordt hol glas doorgaans aan de bron gescheiden ingezameld als wit en gekleurd glas; waar kleuren gezamenlijk worden ingezameld, is nadien optisch-machinale kleurscheiding nodig om voldoende zuivere scherven te verkrijgen.

Omgaan met systeemgrenzen: Vergunningsvoorwaarden blijven juridisch beperkt tot de inrichting. De BBT-analyse mag wel breder kijken, en moet dat bij circulariteit vaak ook doen. Circulariteit vereist een ketenblik. Daarom maakt het kader een onderscheid tussen twee vormen van invloed:

1. Directe invloed: technieken die de exploitant zelf kiest en toepast binnen zijn installatie.
2. Contextuele invloed: voorwaarden die de exploitant nodig heeft of mee kan ondersteunen, zoals inzamelsystemen, kwaliteitseisen of ketensamenwerking.

Zo kan de ketenrealiteit worden meegenomen zonder de juridische scope van de vergunning te overschrijden.

5.2.3 Terminologie en systematiek

De drie cases tonen aan dat er nog geen uniforme standaard is om circulariteit in BBT-studies te beoordelen. Omdat elke studie eigen criteria en accenten gebruikt, blijven technieken moeilijk vergelijkbaar. Ook het wisselende gebruik van kernbegrippen maakt het moeilijk om de werkelijke milieuwinst scherp te krijgen.

Bij de vergelijking van de casestudies moet rekening worden gehouden met de periode waarin de studies zijn opgesteld. Oudere studies, zoals de AGF-studie (2015), zijn uitgewerkt in een context waarin begrippen rond circulaire economie minder ontwikkeld waren dan vandaag. In een strikte circulaire definitie betekent hergebruik dat een product opnieuw wordt gebruikt zonder structurele verwerking (zoals een hervulbare fles). In de asfaltstudie wordt het verwerken van granulaat echter soms benoemd als hergebruik. Technisch gaat het om recyclage (R8), omdat het asfaltpuin wordt gebroken en verhit voordat het opnieuw als grondstof in een mengsel wordt gebruikt. In de AGF-sector wordt ‘valorisatie’ vaak als verzamelterm gebruikt voor alles wat geen storten is: zowel de hoogwaardige verwerking tot voeding of veevoeder als de laagwaardige omzetting naar energie via vergisting. Daardoor verdwijnt het verschil in waardebehoud tussen materiaalrecuperatie en energieterugwinning uit beeld. De glasstudie maakt daarentegen wel een expliciet onderscheid tussen intern glasafval (productie-uitval) en extern glasafval (ingezameld glas). Dit onderscheid is noodzakelijk om de milieu-impact van het smeltproces correct in te schatten, aangezien extern glas vaak vervuiling bevat die het energieverbruik van de oven beïnvloedt.

Een bijkomend aandachtspunt is het onderscheid tussen interne procesrecirculatie, pre-consumer recyclaat en post-consumer recyclaat. Vermeld daarvoor de herkomst en voorgaande toepassing van de stroom. De indeling als intern of extern materiaal geeft op zichzelf onvoldoende informatie over de pre-consumer- of post-consumerstatus. Het waardebehoud kan daardoor sterk verschillen. BBT-studies moeten dit onderscheid consequent maken, zonder pre-consumer of post-consumer recyclaat automatisch als beter te bestempelen. De milieu-impact hangt af van de context en toepassing.

Ook de diepgang van de onderbouwing varieert. De asfaltstudie bevat concrete cijfers over recyclagepercentages en de vervanging van bitumen. De AGF-studie bevat eveneens kwantitatieve gegevens, maar gebruikt die niet systematisch voor een vergelijkende circulariteitsbeoordeling van alle beschreven technieken. Deze variatie kan deels voortkomen uit de beschikbaarheid van data, maar ook de oorspronkelijke scope van de BBT-studie speelt mee. In sommige studies was materiaalgebruik of recyclaatinzet al expliciet onderdeel van de scope, terwijl andere studies vooral gericht waren op klassieke milieuaspecten zoals emissies, afvalwater, energie of afvalbeheer. Verschillen tussen cases

wijzen dus niet automatisch op tekortkomingen, maar tonen vooral waar toekomstige studies meer systematiek kunnen gebruiken.

Voor toekomstige BBT-studies waarin circulariteit relevant is, zijn eenduidige definities en een gedeelde systematiek nodig om BBT-conclusies transparant te houden. Tabel 1 biedt daarvoor een vertrekpunt.

5.2.4 Beschikbaarheid van data

Cijfers lijken een objectieve vergelijking mogelijk te maken, maar die aanpak is niet altijd haalbaar. Waar kwantitatieve data beschikbaar zijn, worden ze meegenomen. Het kader moet echter ook werken wanneer zulke data ontbreken. Een volledige LCA voor elke techniek wordt binnen het voorgestelde kader niet als standaardvereiste opgenomen. Een BBT-studie selecteert immers de beste productietechnieken op basis van onder meer de directe milieu-impact binnen de inrichting. De volledige keten vormt niet het primaire beoordelingsniveau.

De cases ondersteunen daarom een kwalitatieve, beredeneerde aanpak. Circulariteit laat zich moeilijk samenvatten in één cijfer: een techniek kan goed scoren op materiaalbesparing maar tegelijk slecht presteren op energieverbruik. Door de redenering expliciet uit te schrijven op basis van literatuur en expertkennis, wordt de afweging transparanter.

5.3 Drie leidende principes voor circulariteit in BBT-studies

Op basis van de casestudies wordt de werkdefinitie uit hoofdstuk 1 vertaald naar drie leidende principes voor de integratie van circulariteit in BBT-studies. Deze principes vormen geen nieuw beoordelingssysteem naast de bestaande BBT-methodologie. Ze geven richting aan de manier waarop circulariteitsaspecten kunnen worden herkend, beschreven en, waar relevant, kwalitatief meegenomen in de BBT-evaluatie.

De drie principes zijn:

1. de 9R-hiërarchie als kapstok voor circulariteitsstrategieën;
2. levenscyclusdenken en ketenperspectief om relevante effecten buiten de installatie zichtbaar te maken;
3. de techniek als enabler, waarbij het beoordelingsobject de techniek, procesvoering of materiaalkeuze blijft.

De aspecten waardebehoud, ketendenken, techniek als enabler en holistische beoordeling worden hiermee samengebracht. Waardebehoud wordt uitgewerkt via de 9R-hiërarchie (principe 1). Ketendenken en cross-media-afweging vallen onder levenscyclusdenken (principe 2). De afbakening van het beoordelingsobject wordt behandeld onder de techniek als enabler (principe 3).

5.3.1 Principe 1: De 9R-hiërarchie als kapstok

Om de focus op recyclage en efficiëntie te verbreden, gebruikt dit kader de 9R-hiërarchie als referentiekader. Deze ladder rangschikt strategieën op basis van waardebehoud. De basislogica is eenvoudig: hoe hoger de trede, hoe meer oorspronkelijke waarde behouden blijft en hoe minder verwerking meestal nodig is. Door de ladder systematisch te gebruiken, komen ook minder vanzelfsprekende strategieën zoals preventie, hergebruik en herstel in beeld.

Onderstaande tabel geeft weer hoe de verschillende strategieën binnen een BBT-studie kunnen worden geïnterpreteerd. Niet elke trede is in elke sector relevant, maar het overzicht biedt wel een gemeenschappelijk vertrekpunt.

Tabel 2: Toepasbaarheid van de 9R-hiërarchie binnen de context van BBT-studies

R-niveau	Strategie	Betekenis in de praktijk	Relevantie voor BBT-studies
R0	Refuse	Het product overbodig maken of de functie anders invullen	Dit vereist vaak een fundamentele systeeminnovatie die buiten de scope van een BBT-studie valt. De BBT-auteur kan wel signaleren wanneer hogere systeemkeuzes de relevantie van een techniek beperken.
R1	Rethink	Intensiever gebruik van producten (bv. delen, 'as-a-service')	De BBT-studie kan technieken identificeren die dienstverleningsmodellen ondersteunen. Zo kan in de asfaltsector een product-dienstmodel waarbij de producent verantwoordelijk blijft voor de wegprestaties, worden gesignaleerd als contextuele factor die mengsels met een langere technische levensduur stimuleert.
R2	Reduce	Efficiënter produceren en gebruiken met minder grondstoffen	Procesoptimalisatie en grondstofbesparing vormen de kern van de huidige BBT-praktijk. Het expliciet labelen van bestaande maatregelen als R2 maakt zichtbaar dat dit niveau reeds sterk vertegenwoordigd is.
R3	Reuse	Hergebruik van het product door een andere gebruiker	Vaak een downstream-activiteit, maar de productietechniek kan dit faciliteren. Zo kan een techniek die de kwaliteit en zuiverheid van het eindproduct waarborgt, hergebruik door een volgende schakel mogelijk maken.
R4	Repair	Reparatie en onderhoud van defecte producten	Relevant voor het ontwerp van producten en de keuze van productieapparatuur. Lokale hersteltechnieken (bv. bij asfalt) zijn een concreet voorbeeld.
R5	Refurbish	Opknappen en moderniseren van verouderde producten	Relevant als activiteit voor de verwerkende industrie. Ook van toepassing op productie-installaties: het moderniseren of opknappen van bestaande apparatuur in plaats van volledige vervanging.
R6	Remanufacture	Onderdelen van een afgedankt product gebruiken in een opnieuw vervaardigd product met dezelfde functie.	Relevant voor technieken die demontage, controle en herinzet van onderdelen in opnieuw vervaardigde producten of installaties mogelijk maken. Alleen onderdelen vervangen of upgraden is niet automatisch remanufacturing.
R7	Repurpose	Een afgedankt product of onderdelen daarvan inzetten in een product met een andere functie.	Relevant wanneer producten of onderdelen een nieuwe functie krijgen. Uitwisseling van materiaalstromen tussen sectoren is niet automatisch R7; de indeling hangt af van de verwerking en toepassing.
R8	Recycle	Verwerking van materialen tot grondstof (hoog- of laagwaardig)	Dominant in de huidige praktijk (bv. gebruik van scherven, granulaat). Aandacht voor het onderscheid hoog- vs. laagwaardig recycleren is aangewezen.
R9	Recover	Verbranding met energieterugwinning	Geldt niet als circulaire strategie voor materiaalbehoud. Te beschouwen als laatste redmiddel wanneer hogere strategieën technisch of economisch onhaalbaar blijken.

Aandachtspunten bij de toepassing:

Niet elk R-niveau is relevant in elke BBT-studie. De 9R-hiërarchie wordt gebruikt als screeningskader, niet als verplicht af te werken checklist. De BBT-auteur gaat na welke R-strategieën relevant zijn voor de sector, de onderzochte technieken en de materiaalstromen binnen de scope van de studie. In sommige sectoren is hergebruik (R3) technisch niet haalbaar of wettelijk uitgesloten, bijvoorbeeld door voedselveiligheidsregels in de AGF-sector.

Concrete implementatie in de BBT-methodologie:

Het 9R-principe kan in de BBT-methodologie worden vertaald via vier toepassingsmomenten. Hoofdstuk 6 werkt dit verder uit als praktische handreiking voor de BBT-auteur.

1. Hoofdstuk 3 (sectorbeschrijving): de auteur doorloopt de 9R-ladder als screeningsinstrument om het circulaire potentieel van de sector in kaart te brengen. Dit gebeurt kwalitatief en enkel voor de R-niveaus die relevant zijn voor de sector.
2. Hoofdstuk 4 (kandidaat-BBT): bij de beschrijving van kandidaat-technieken vermeldt de auteur expliciet de R-classificatie indien van toepassing. Bijvoorbeeld: *"Deze techniek draagt primair bij aan R8 (Recycle) en secundair aan R2 (Reduce)."* Zo wordt de circulaire bijdrage al vroeg gepositioneerd.
3. Hoofdstuk 5 (evaluatie): het R-niveau kan richting geven aan de beoordeling wanneer het relevant is voor de onderzochte techniek. Bij vergelijkbare technische en economische haalbaarheid wordt nagegaan of een hogere R-strategie meer materiaalwaarde behoudt en een gunstiger milieuresultaat oplevert. Het R-niveau vormt geen automatische voorrangsregel. De uiteindelijke keuze berust op de volledige BBT-afweging, inclusief kwaliteit, levensduur, cross-media-effecten en relevante keteneffecten.
4. Hoofdstuk 6 (aanbevelingen): wanneer uit de analyse blijkt dat hogere R-strategieën relevant maar niet haalbaar of onvoldoende onderbouwd zijn, kan dit worden benoemd als randvoorwaarde, kennishiaat of aanbeveling voor verder onderzoek. Aanbevelingen blijven daarbij de bestaande BBT-logica volgen.

Voorbeeld uit de cases:

De asfaltsector illustreert de meerwaarde. De huidige studies focussen sterk op het inbrengen van granulaat in nieuwe mengsels (R8). Door de 9R-ladder systematisch te doorlopen, komen ook pistes in beeld die anders gemakkelijk onder de radar blijven. Technieken voor reparatie (R4), zoals lokale herstelmethoden, of strategieën voor reductie (R2), zoals mengsels met een langere technische levensduur die minder onderhoud vergen, krijgen zo een volwaardige plaats in de analyse. Zelfs product-dienstmodellen (R1), waarbij de producent verantwoordelijk blijft voor de prestaties van de weg, worden hierdoor bespreekbaar als contextuele factor.

5.3.2 Principe 2: Levenscyclusdenken en ketenperspectief

Levenscyclusdenken vormt het tweede leidende principe. Het gaat om een kwalitatieve benadering: de grote lijnen van de milieu-impact worden geschetst op basis van literatuur en expertkennis. Het doel is om de belangrijkste hotspots en risico's op probleemverschuiving te identificeren.

Daarbij is enige voorzichtigheid nodig: recente LCA-literatuur focust vaak sterk op CO_2-emissies en fossiel grondstoffengebruik. Andere impactcategorieën, zoals watergebruik,

biodiversiteitsverlies, toxiciteit en bodemkwaliteit, dreigen daardoor minder aandacht te krijgen.

Zoals aangegeven in §5.1.2 en §5.2.4 wordt een volledige kwantitatieve LCA in dit kader niet als standaardonderdeel vereist. Beschikbare LCA-resultaten kunnen de beoordeling wel ondersteunen.

Analysestructuur voor levenscyclusdenken

Het levenscyclusdenken kan in BBT-studies worden gestructureerd rond vier aandachtspunten: stroomopwaartse effecten, effecten binnen de inrichting, stroomafwaartse effecten en cross-media-effecten. In hoofdstuk 6 worden deze aandachtspunten vertaald naar praktische vragen voor de BBT-auteur. De diepgang van de beantwoording hangt af van de beschikbare informatie. Waar gegevens ontbreken, volstaat het om het kennishiaat expliciet te benoemen. Een verdere kwantitatieve inschatting hoeft dan niet te worden geforceerd.

1. **Stroomopwaarts (upstream)**
Wat gebeurt er voordat de grondstoffen het bedrijf bereiken? Vermindert de techniek de vraag naar primaire grondstoffen? Ook de impact van transport en voorbewerking telt mee. Een techniek die lokale reststromen benut, kan hier gunstiger uitkomen dan een techniek die afhankelijk is van import over lange afstand.

2. **Binnen de poort (gate-to-gate)**
Wat zijn de effecten binnen de installatie? Dit is het klassieke beoordelingsniveau van een BBT-studie. Er wordt gekeken naar de impact op emissies, energieverbruik en afvalproductie. Een circulaire techniek kan gepaard gaan met een hoger energieverbruik of bijkomende emissies. Of dat aanvaardbaar is, wordt beoordeeld via de bestaande kwalitatieve cross-media-afweging binnen de BBT-methodologie. Daarbij wordt nagegaan of materiaalwinst, vermeden primaire grondstofwinning of betere ketenprestatie opweegt tegen de bijkomende impact binnen de installatie of elders in de keten. Met “opweegt” wordt hier een milieukundige afweging bedoeld; economische haalbaarheid blijft een afzonderlijk criterium binnen de BBT-evaluatie.

3. **Stroomafwaarts (downstream)**
Wat is de impact op de verdere levensloop van het product? Hier wordt gekeken naar de kwaliteit en de eigenschappen van het eindproduct. Verlengt de productietechniek de levensduur? Of maakt een bepaald additief latere recyclage net moeilijker? De techniek wordt beoordeeld op de mate waarin zij waardebehoud in de gebruiksfase of de eindelevensfase ondersteunt.

4. **Cross-media**
Wat is het netto milieueffect? Verschuift de techniek milieudruk van het ene domein naar het andere? Een typisch voorbeeld is een rookgasreiniging die de lucht zuivert maar vervuild afvalwater genereert. In een circulaire context gaat het vaak om de afweging tussen materiaalwinst en bijkomend energiegebruik.

Aanvullende circulaire aandachtspunten
De vier kernvragen structureren de ketendimensie van de analyse. Aanvullend kunnen volgende circulariteitsspecifieke aspecten worden meegenomen, gericht op de materiaalwaarde van de techniek zelf:

- Kringloopsluiting: draagt de techniek bij aan het sluiten van materiaalkringlopen, intern of extern?

- Levensduur: heeft de techniek een positieve invloed op de levensduur of de hergebruiksmogelijkheden van het eindproduct?
- Grondstofbesparing: vermindert of vermijdt de techniek het gebruik van primaire grondstoffen?
- Keteneffecten: zijn er bredere effecten, zoals een verminderde afhankelijkheid van kritieke grondstoffen of een impact op andere milieudomeinen?

Zoals aangegeven in §5.1.1 zijn deze vragen richtinggevende aandachtspunten; de diepgang van de analyse hangt af van de scope van de studie, de relevantie van circulariteit voor de techniek en de beschikbare informatie. In hoofdstuk 6 wordt dit verder vertaald naar de verschillende onderdelen van de BBT-methodologie.

De analyse focust op aspecten waar de techniek echt een verschil maakt, positief of negatief. In de praktijk scoort een techniek zelden positief op alle circulariteitsaspecten: zo kan een techniek goed presteren op materiaalsubstitutie maar de toekomstige recycleerbaarheid verslechteren (bv. door toevoeging van complexe polymeermengsels). De auteur benoemt die spanning en maakt de afweging expliciet.
Ook hier geldt: circulariteit levert niet automatisch milieuwinst. Een techniek kan circulair zijn (materiaalwaarde behouden) maar netto geen milieuwinst opleveren (bv. omdat ze onevenredig veel extra energie of transport vereist). Circulaire claims worden daarom steeds getoetst aan de bredere milieu-impact.

Bij het formuleren van circulaire bevindingen helpt het om concreet te schrijven: ‘de techniek draagt bij aan … door …’. Vermijd louter negatieve vaststellingen. Maak daarbij onderscheid tussen harde bevindingen, waarvoor voldoende technische onderbouwing bestaat, en richtinggevende observaties, waarvoor de richting duidelijk is maar de kwantitatieve invulling sectorspecifiek blijft. Waar informatie ontbreekt, volstaat het benoemen van het kennishiaat als zodanig.

Voorbeeld uit de praktijk: de paralleltrommel voor asfaltgranulaat

De paralleltrommel voor asfaltgranulaat toont hoe deze vier vragen in een BBT-context kunnen worden toegepast:

- Stroomopwaarts: de paralleltrommel maakt de inzet van hogere aandelen asfaltgranulaat mogelijk. Daardoor kan de behoefte aan primaire minerale grondstoffen en nieuw bitumen afnemen. De daadwerkelijke substitutie hangt af van het mengselontwerp, de samenstelling van het granulaat en de bruikbaarheid van het aanwezige bindmiddel.
- Binnen de poort: het verwarmen van asfaltgranulaat kan emissies van organische stoffen en geur veroorzaken, afhankelijk van temperatuurbeheersing, contact met hete verbrandingsgassen en installatieontwerp. De BBT-studie heeft de paralleltrommel met een afzonderlijke verbrandingskamer (hetegasgenerator) als BBT beoordeeld om die emissies te beperken, met een overgangsperiode van zeven jaar voor de ombouw van direct gestookte installaties. Zij neemt als vuistregel over dat productie met een paralleltrommel 10 tot 15% meer energie per ton asfalt vraagt (Custers & Janssens, 2024). De energiebalans over de keten vraagt een afzonderlijke afweging van deze extra inzet tegenover de vermeden primaire productie.
- Stroomafwaarts: de geschiktheid wordt beoordeeld voor het beoogde mengsel en de toepassing. Productkwaliteit, verdichtbaarheid, technische levensduur en toekomstige recycleerbaarheid blijven randvoorwaarden. Een hoger aandeel granulaat garandeert op zichzelf geen gelijkwaardige prestaties.
- Cross-media-effecten: materiaalwinst wordt afgewogen tegen energiegebruik, emissies en kwaliteitsrisico’s. Emissiebeheersing omvat zowel procesgeïntegreerde maatregelen

als, waar nodig, rookgasbehandeling. Of de techniek BBT is, volgt uit de volledige technische, milieukundige en economische beoordeling.

5.3.3 Principe 3: De techniek als enabler

Dit principe kijkt naar de techniek als hefboom: hoe kan een techniek circulaire processen binnen of buiten de installatie mogelijk maken? Het bouwt voort op principe 2, maar legt een andere klemtoon. Principe 2 helpt de BBT-auteur om keteneffecten te analyseren: stroomopwaarts, binnen de poort, stroomafwaarts en via cross-media-effecten. Principe 3 maakt duidelijk waar de circulaire impact van een techniek ontstaat: rechtstreeks binnen de installatie, via de eigenschappen van het eindproduct, of via samenwerking in de keten. De twee principes vullen elkaar dus aan. Om dit gericht te analyseren, onderscheidt het kader drie impactniveaus:

1. Binnen de installatie (directe impact)
Dit is het basisniveau. Het omvat klassieke BBT-thema's: efficiënter grondstoffengebruik, minder afvalproductie of lager energieverbruik. Relevante vragen zijn bijvoorbeeld:
- Worden minder primaire grondstoffen gebruikt?
- Vermindert het proces afval- of emissiestromen?
- Verlaagt de techniek het energieverbruik?

2. Via het eindproduct (impact door ontwerp)
Sommige productietechnieken bepalen de eigenschappen van het product dat de installatie verlaat. De circulaire winst ontstaat dan niet tijdens de productie zelf, maar later: in de gebruiksfase of aan het einde van de levensduur. Een specifieke lijmtechniek kan bijvoorbeeld bepalen of een product later makkelijk demonteerbaar is.
Relevante vragen zijn:
- Leidt het proces tot producten met een langere technische levensduur of betere herstelbaarheid?
- Wordt de materiaalzuiverheid verhoogd?
- Is het eindproduct beter inzetbaar in hoogwaardige toepassingen?

3. In de keten (systeemimpact)
Sommige technieken maken samenwerking of nieuwe organisatievormen mogelijk. Ze bieden bijvoorbeeld de technische flexibiliteit om variabele secundaire inputstromen te verwerken. Daardoor worden retourlogistiek of industriële symbiose realistischer. Soms werkt een techniek alleen wanneer ook andere schakels in de keten meewerken: ze worden upstream geïmplementeerd maar hebben een positief milieu-effect in een volgende schakel. Zo kan kwaliteitscontrole op schroot bij een shredder upstream de milieuprestaties van een gieterij of staalfabriek downstream aanzienlijk verbeteren. In zulke gevallen kan de BBT-studie ketensamenwerking benoemen als randvoorwaarde.

De BBT-auteur kan zich hier afvragen:
- Maakt de techniek ketensamenwerking of uitwisseling van grondstoffen mogelijk?
- Ondersteunt de techniek retourstromen of materiaalrecuperatie?
- Zijn hiervoor bijkomende voorwaarden nodig (infrastructuur, standaardisatie, afspraken)?

Niet elke techniek heeft invloed op elk niveau. Sommige innovaties leveren vooral directe efficiëntiewinst op. Andere renderen pas wanneer externe factoren meezitten, zoals de beschikbaarheid van een specifieke afvalstroom. Bij de beschrijving moet de rol van de techniek dus correct worden gepositioneerd. De BBT-studie kan geen verplichtingen opleggen aan partijen buiten de installatie. Ze kan wel verduidelijken wat een techniek mogelijk maakt, en welke randvoorwaarden daarvoor nodig zijn.

Voorbeeldformulering: "Deze oven kan extern aangeleverde glasscherven verwerken wanneer hun samenstelling, kleur en verontreinigingsniveau voldoen aan de vastgelegde acceptatiecriteria. Het toepasbare aandeel wordt onderbouwd voor het betrokken glastype en de procescondities."

Wanneer die voorwaarden onzeker zijn, benoemt de auteur dit als aandachtspunt. Als de techniek mogelijk is maar de keten nog niet volgt, kan dit in hoofdstuk 6 worden opgenomen als aanbeveling voor verder onderzoek of beleidsmatige opvolging.

Het evaluatiekader maakt circulariteit explicieter binnen de bestaande BBT-methodologie, zonder van de BBT-auteur een volledige levenscyclusanalyse, materiaalstroomanalyse of beleidsbeoordeling te vragen. De auteur vertrekt van beschikbare informatie en benoemt kennishiaten wanneer een effect niet redelijk kan worden beoordeeld. Circulariteit wordt kwalitatief meegenomen waar zij relevant is voor de onderzochte activiteit, techniek of materiaalstroom. De praktische toepassing per hoofdstuk van een BBT-studie wordt uitgewerkt in hoofdstuk 6.

6 INTEGRATIE IN DE BBT-METHODOLOGIE

Hoofdstuk 6 vertaalt het evaluatiekader uit hoofdstuk 5 naar de bestaande structuur van een BBT-studie. Het hoofdstuk stelt geen volledig nieuwe BBT-template voor, maar geeft aan waar en hoe circulariteitsaspecten kunnen worden opgenomen in de bestaande hoofdstukken van een BBT-studie.

De aanvullingen blijven binnen de afbakening van §5.1.2 en vormen geen volledige keten-, product- of beleidsbeoordeling: de BBT-studie vertrekt van de onderzochte activiteit, processen, technieken en materiaalstromen, en neemt circulariteitsaspecten explicieter mee waar ze daarvoor relevant zijn.

6.1 Templatehoofdstuk 3: ketencontext en circulariteitskader

Doel: de relevante materiaalstromen, ketenrelaties en circulariteitsaspecten van de sector beschrijven, voor zover ze verband houden met de scope van de BBT-studie.

Hoofdstuk 3 beschrijft de sector, de procesvoering en de relevante milieuaspecten. Om circulariteit structureler mee te nemen, kan de procesbeschrijving worden aangevuld met een korte paragraaf over materiaalstromen, ketenpositie en circulariteitsrelevantie. Die aanvulling blijft beschrijvend. Ze dient om de context voor de latere techniekbeschrijving en BBT-evaluatie te verduidelijken, niet om een volledige materiaalstroomanalyse of ketenstudie uit te voeren.

Voorstel voor aanvulling van de BBT-template:
(op te nemen in §3.2.9 van de template, ‘Materiaal- en energiestromen in de keten’: de 9R-screening sluit aan bij het bestaande blok ‘Mate van kringloopsluiting’ en kan dit verder operationaliseren; de ketenvragen vullen de twee blokken over milieuproblemen in en uit andere sectoren aan)

3.3 Materiaalstromen, ketenpositie en circulariteit

(op te nemen bij de bestaande paragraaf over materiaal- en energiestromen, of als afzonderlijke paragraaf wanneer dat de leesbaarheid verhoogt)
De onderstaande tekstblokken zijn bedoeld als sjabloontekst voor opname in de BBT-template en niet als finale invulling voor een specifieke sector.
“De activiteiten van de sector [sectornaam] maken deel uit van een bredere waardeketen. Deze paragraaf beschrijft hoe de sector zich tot die keten verhoudt op het vlak van materiaalgebruik en circulariteit, voor zover dit relevant is binnen de scope van de BBT-studie.”

De auteur beantwoordt onderstaande vragen op basis van beschikbare literatuur, input van sectorfederaties en inbreng van het begeleidingscomité. Op basis daarvan schrijft de auteur een beknopte beschrijvende paragraaf. Waar informatie ontbreekt, wordt dit vermeld als kennishiaat. Er wordt geen volledige materiaalstroomanalyse gevraagd.

3.3.1 Ketenvisualisatie en materiaalstromen

Instructie voor de BBT-auteur: beantwoord de volgende vragen op basis van beschikbare informatie en verwerk de antwoorden in een beknopte paragraaf over de materiaal-, grondstof- en hulpbronnenstromen die relevant zijn voor de onderzochte processen, technieken en milieuaspecten binnen de scope van de BBT-studie. Wanneer kwantitatieve gegevens ontbreken, volstaat een kwalitatieve beschrijving.

- *Welke grondstoffen, hulpstoffen, materialen, water- of energiedragers zijn relevant voor de onderzochte processen?*
- *In welke mate gaat het om primaire grondstoffen, secundaire grondstoffen, recyclaat, bijproducten of nevenstromen? Een kwalitatieve inschatting, zoals "groot aandeel", "beperkt" of "in opkomst", volstaat wanneer kwantitatieve gegevens ontbreken.*
- *Welke relevante uitgaande materiaalstromen ontstaan in de sector? Welke stromen verlaten de sector als product, bijproduct, reststroom, afval of via energieterugwinning?*
- *Zijn er materiaalstromen waarvan de kwaliteit, zuiverheid of samenstelling bepalend is voor hergebruik, recyclage, valorisatie of verdere verwerking in de keten?*
- *Zijn er bekende knelpunten of kennishiaten rond de beschikbaarheid, kwaliteit of inzetbaarheid van secundaire stromen?*
- *Optioneel kan een vereenvoudigd stroomschema worden toegevoegd, als dit beschikbaar is of met beperkte inspanning kan worden opgesteld.*

[Figuur X: Visuele weergave van de materiaalstromen in de keten (optioneel)]

De rapportering van bedrijfsgegevens gebeurt volgens de bestaande afspraken en vertrouwelijkheidsregels voor BBT-studies. Waar kwantitatieve data ontbreken, wordt dit expliciet vermeld.

3.3.2 Circulaire mogelijkheden volgens de 9R-hiërarchie

Aandachtspunt voor de BBT-auteur: deze oefening dient vooral om systematisch te kijken. Volledigheid is niet het doel. Niet elke R-strategie is relevant of haalbaar in elke sector. Door de ladder systematisch te doorlopen, komen kansrijke strategieën sneller in beeld. Wanneer een strategie niet relevant is, volstaat een korte toelichting. Wanneer een strategie mogelijk relevant lijkt, maar onvoldoende informatie beschikbaar is, wordt dit als kennishiaat benoemd. Formuleer positief: beschrijf wat wel kan en welke stappen al richting circulariteit gaan. Voor biologische stromen kan de cascade van waardebehoud beter aansluiten dan de 9R-hiërarchie. Voor water en energie zijn aangepaste begrippen nodig, zoals hergebruik, terugwinning en efficiënt gebruik.

Instructie voor de BBT-auteur: gebruik de 9R-ladder als screeningsinstrument. Beschrijf per relevant niveau de bekende toepassingen, kansrijke mogelijkheden en belangrijkste randvoorwaarden. Voorbeelden op bedrijfsniveau volstaan, op voorwaarde dat duidelijk wordt aangegeven of het gaat om een gangbare praktijk, een koplopervoorbeeld of een kennishiaat. R-niveaus die niet relevant zijn voor de sector hoeven niet verder te worden uitgewerkt.

- R0 – Refuse: [...]
- R1 – Rethink: [...]
- R2 – Reduce: [...]
- R3 – Reuse: [...]
- R4 – Repair: [...]
- R5 – Refurbish: [...]
- R6 – Remanufacture: [...]
- R7 – Repurpose: [...]
- R8 – Recycle: [...]
- R9 – Recover: [...]

3.3.3 Ketenimpact en industriële symbiose

Instructie voor de BBT-auteur: beantwoord de volgende vragen en verwerk de antwoorden in een beknopte paragraaf over de ketenimpact, industriële symbiose en relevante samenwerkingsmogelijkheden in de sector, voor zover die rechtstreeks verband houden met de processen, technieken of materiaalstromen binnen de scope van de BBT-studie. Beschrijf daarbij zowel positieve als negatieve effecten.

- *Zijn er relevante upstream-factoren die de circulariteit van de sector beïnvloeden, zoals de kwaliteit, samenstelling of beschikbaarheid van inputstromen?*
- *Zijn er relevante downstream-factoren die bepalen of materiaalstromen opnieuw kunnen worden ingezet, hergebruikt of gerecycleerd?*
- *Zijn er mogelijkheden voor industriële symbiose, bijvoorbeeld door reststromen van andere sectoren als input te gebruiken of eigen nevenstromen nuttig in te zetten in andere sectoren?*
- *Zijn er randvoorwaarden buiten de installatie die nodig zijn om een techniek of materiaalstroom circulair toe te passen, zoals sortering, kwaliteitsborging, traceerbaarheid, logistiek of afspraken met ketenpartners?*
- *Ligt de invloed op deze randvoorwaarden binnen de directe invloedssfeer van de exploitant, of gaat het om contextuele invloed?*

Circulariteit leidt hier niet tot een algemene analyse van de volledige waardeketen. Ketenimpact en industriële symbiose worden alleen beschreven voor zover zij relevant zijn voor de BBT-analyse en verband houden met processen, technieken of materiaalstromen binnen de scope van de studie.

6.2 Templatehoofdstuk 4: bijdrage van technieken aan circulariteit

Doel: circulariteit al in de beschrijving van relevante technieken benoemen, niet pas achteraf als evaluatiecriterium in hoofdstuk 5. De auteur geeft aan of en hoe een techniek bijdraagt aan materiaalwaardebehoud, recycleerbaarheid of ketenimpact, voor zover dit relevant en onderbouwbaar is.

6.2.1 Voorafgaande relevantiecheck circulariteit

Stap 0: Relevantiecheck circulariteit

Voor elke kandidaat-BBT voert de auteur eerst een korte relevantiecheck uit. Deze relevantiecheck is geen afzonderlijke analyse, maar een korte toets om te bepalen of verdere uitwerking nodig is. Daarbij wordt nagegaan of de techniek een aannemelijke invloed heeft op materiaalgebruik, materiaalverlies, afvalpreventie, hergebruik, recyclage, technische levensduur, productkwaliteit, toekomstige recycleerbaarheid, inzetbaarheid van secundaire stromen, keteneffecten of mogelijke probleemverschuivingen.

Wanneer circulariteit niet relevant is voor de techniek, volstaat een korte motivering en hoeft de circulariteitsbeschrijving niet verder te worden uitgewerkt. Wanneer wel een relevant effect mogelijk is, wordt de bijdrage aan circulariteit kwalitatief beschreven in de techniekfiche. Waar informatie ontbreekt, wordt dit als kennishiaat benoemd.

Instructie voor de BBT-auteur: ga na of er, naast klassieke emissiebeperkende technieken, ook technieken zijn die circulariteit ondersteunen. Onderstaande categorieën dienen als inspiratie. Niet elke studie hoeft technieken te identificeren voor elke categorie. Dat gebeurt

alleen wanneer dit relevant, toepasbaar en voldoende onderbouwbaar is binnen de scope van de BBT-studie.

- *Preventie en reductie: technieken die afval, materiaalverlies of grondstof- en hulpbronnengebruik aan de bron vermijden of beperken (R0–R2).*
- *Levensduurverlenging en waardebehoud: technieken die hergebruik, herstel, refurbishment, remanufacturing of herbestemming mogelijk maken (R3–R7).*
- *Hoogwaardige recyclage: technieken die de kwaliteit van recyclaat verhogen, zuivere materiaalstromen mogelijk maken of design for recycling ondersteunen (R8).*
- *Keten- en systeeminnovaties: technieken die industriële symbiose, terugname, gedeelde infrastructuur of ketensamenwerking technisch mogelijk maken, of organisatorische randvoorwaarden die rechtstreeks aan zo'n techniek gekoppeld zijn.*

Deze verbreding betekent niet dat technieken buiten de scope van de BBT-studie moeten worden toegevoegd. Circulariteit wordt alleen meegenomen wanneer er een duidelijke relatie is met de onderzochte activiteit, techniek, procesvoering of materiaalstroom.

6.2.2 Aanpassing van de techniek-template

In de standaardstructuur voor het beschrijven van een techniek kan, wanneer relevant, een korte paragraaf "Circulariteitskenmerken" worden toegevoegd. Die paragraaf wordt alleen ingevuld wanneer uit de relevantiecheck blijkt dat de techniek een aannemelijk circulariteitseffect heeft. Voor technieken zonder relevant circulariteitseffect volstaat een korte motivering of een neutrale vermelding.

De paragraaf staat apart, zodat circulariteitsaspecten zichtbaar worden zonder ze te vermengen met de klassieke beschrijving van directe milieuvoordelen. De link met energie, emissies, water en andere milieucompartimenten blijft behouden via de beschrijving van cross-media-effecten (vandaag onder de rubriek milieuvoordeel; in dit voorstel als aparte rubriek) en via de evaluatie in hoofdstuk 5.

[Tekstvoorstel voor de BBT-template, hoofdstuk 4]

4.X.X [NAAM VAN DE TECHNIEK]

BESCHRIJVING
[Standaard beschrijving]

TOEPASBAARHEID
[Standaard toepasbaarheid]

MILIEUVOORDEEL
[Standaard beschrijving: emissies, energie, water, afval, grondstoffengebruik]

CIRCULARITEITSKENMERKEN
[Alleen invullen wanneer relevant]
Beschrijf kort of en hoe de techniek bijdraagt aan circulariteit. Besteed, waar relevant, aandacht aan:

- de R-strategie waaraan de techniek bijdraagt;
- vermindering van primair grondstoffengebruik;
- inzet van secundaire grondstoffen, recyclaat, bijproducten of nevenstromen;
- beperking van materiaalverlies of afvalproductie;

- effect op technische levensduur, herstelbaarheid, hergebruik of recycleerbaarheid;
- effect op de kwaliteit, zuiverheid of toekomstige inzetbaarheid van materiaalstromen;
- relevante upstream- of downstream-effecten;
- noodzakelijke randvoorwaarden, zoals kwaliteitseisen, sortering, traceerbaarheid, ketensamenwerking of beschikbaarheid van inputstromen.

Wanneer circulariteit niet relevant is voor de techniek, volstaat een korte motivering. Wanneer de richting duidelijk is maar informatie ontbreekt, wordt dit als kennishiaat benoemd.

Cross-media-effecten

[Voorgestelde uitbreiding van de template: cross-media-effecten worden vandaag onder 'Milieuvoordeel' beschreven. Beschrijf of de techniek milieu-impact verschuift naar andere compartimenten of levenscyclusfasen.]

Aanvulling voor circulaire technieken met een relevant circulariteitseffect: beschrijf kwalitatief of de circulariteitswinst gepaard gaat met bijkomende impact op energieverbruik, watergebruik, emissies, afval, transport, productkwaliteit, veiligheid of toekomstige recycleerbaarheid. Vermijd dubbele beoordeling: effecten die al onder bestaande rubrieken worden behandeld, worden daar beoordeeld en hier alleen verbonden met de circulariteitsafweging wanneer dat nodig is.

FINANCIËLE ASPECTEN

[Standaard beschrijving]

6.2.3 Illustratieve invulling (voorbeeld)

Onderstaand voorbeeld toont hoe de rubriek "Circulariteitskenmerken" en de cross-media-beschrijving kunnen worden ingevuld. Het voorbeeld is illustratief en vormt geen definitieve BBT-beoordeling.

Kandidaat-BBT: Asfalt bereid bij verlaagde temperatuur (AVT)

... [Bovenstaande paragrafen zijn standaard] ...

Circulariteitskenmerken

Deze techniek kan bijdragen aan circulariteit op de volgende vlakken:

- R-strategie: R2 – Reduce, voor zover de techniek leidt tot lager energieverbruik en minder thermische degradatie van materialen.

De focus ligt op lager fossiel energieverbruik. Daarnaast beperkt de lagere productietemperatuur de thermische veroudering (oxidatie) van het bitumen tijdens het productieproces.

- Impact op materiaalbalans:
    - Kwaliteitsbehoud: doordat het bitumen minder verhardt tijdens de productie, blijft het asfalt flexibeler. Dit kan de weerstand tegen scheurvorming verbeteren en zo bijdragen aan een langere technische levensduur van de toplaag.
    - Ondersteuning recyclage (R8): bij inzet van asfaltgranulaat, dat al verouderd bitumen bevat, kan een lagere productietemperatuur verdere veroudering van het bindmiddel beperken.

- Keteneffect: De techniek kan een positief effect hebben op energieverbruik en mogelijk op de technische levensduur van het asfalt. De mate waarin dit ook leidt tot materiaalbesparing over de levenscyclus hangt af van de prestaties in de gebruiksfase, de transportafstand en de verwerkingskwaliteit.

Cross-media-effecten

Bij AVT zijn de volgende cross-media-afwegingen van belang:

- Transport en verwerking (downstream): de BBT-studie noemt als beperking van AVT dat het mengsel voldoende verwerkbaar moet blijven tot het wordt aangebracht, wat de afstand tussen centrale en werf en de toepassing bij koud weer beperkt. Die beperking moet samen worden gelezen met de werking van de AVT-technieken zelf: additieven en schuimtechnieken verlagen ook de temperatuur waarbij nog kan worden gemengd en verdicht, in de orde van 20 tot 30 °C, en zeolietschuim houdt de verwerkbaarheid zes tot zeven uur op peil (§4.3.23 van de BBT-studie). Bepalend is dus het verschil tussen de vertrektemperatuur en de minimaal vereiste verdichtingstemperatuur, naast mengselsamenstelling, transportcondities en weersomstandigheden. Een lagere productietemperatuur betekent daarom niet automatisch een kleinere actieradius of kortere verwerkingstijd, maar onvoldoende verdichting blijft een risico wanneer de verwerkingsvoorwaarden niet worden gehaald.
- Vochtrisico: Door de lagere temperaturen is de volledige verdamping van vocht in de aggregaten moeilijker. Restvocht kan leiden tot strippingschade (verlies van hechting tussen steen en bitumen). Strikte procesbeheersing is nodig om te vermijden dat energiewinst ten koste gaat van productkwaliteit.
- Impact additieven: Indien chemische additieven worden gebruikt (in plaats van schuimbitumen met water), moet de milieu-impact van de productie van deze stoffen worden afgewogen tegen de energiebesparing.

Opmerking: het voorbeeld blijft illustratief en mag niet de indruk wekken dat voor elke techniek zo'n uitgebreide uitwerking nodig is.

6.3 Templatehoofdstuk 5: circulariteit als evaluatiecriterium

Doel: verduidelijken hoe circulariteitsaspecten, wanneer relevant, kunnen worden meegenomen in de bestaande BBT-evaluatie.

6.3.1 Aanpassing van de definitie van de criteria (paragraaf 5.1 van de BBT-template)

In de huidige BBT-template bestaat al het criterium 'effect op de keten', gedefinieerd als de invloed op de voor- en naketen, exclusief het effect op de toeleveranciers van energie en

water. Die definitie blijft behouden. De toelichting bij dit criterium kan worden aangevuld zodat duidelijker wordt dat ook relevante circulariteitsaspecten hieronder kunnen worden meegenomen.

[TEKSTVOORSTEL VOOR BBT-TEMPLATE HOOFDSTUK 5.1]

- *Effect op de keten, inclusief relevante circulariteitsaspecten*: dit criterium beoordeelt de invloed van een techniek op relevante effecten in de voor- en naketen, exclusief het effect op de toeleveranciers van energie en water (die effecten worden beoordeeld onder de criteria energie en waterverbruik). Wanneer circulariteit relevant is, wordt ook nagegaan of de techniek bijdraagt aan materiaalwaardebehoud, grondstofsubstitutie, efficiënt gebruik van grondstoffen en hulpbronnen, afvalpreventie, hergebruik, herstelbaarheid, recycleerbaarheid, technische levensduur of toekomstige inzetbaarheid van materialen.

Bij de beoordeling kunnen volgende aandachtspunten worden gebruikt:

1. **R-hiërarchie of passend circulariteitskader:** op welk R-niveau situeert de bijdrage van de techniek zich? Voor technische materialen kan de 9R-hiërarchie worden gebruikt. Voor biologische stromen kan de cascade van waardebehoud geschikter zijn.
2. **Substitutie en materiaalbesparing:** in welke mate vermindert de techniek het gebruik van primaire grondstoffen of hulpbronnen, of maakt zij de inzet van secundaire grondstoffen, recyclaat of nevenstromen mogelijk?
3. **Keteneffect:** beïnvloedt de techniek de milieu-impact elders in de keten: upstream bij ontginning, teelt, productie of toelevering, of downstream bij gebruik, onderhoud, hergebruik, recyclage of afdanking? Dat effect kan positief zijn, bijvoorbeeld door een lagere vraag naar primaire grondstoffen. Het kan ook negatief zijn, bijvoorbeeld wanneer een techniek de toekomstige recycleerbaarheid verlaagt of een volgende schakel opnieuw afhankelijk maakt van primair materiaal.
4. **Kwaliteit en toekomstige kringlopen:** heeft de techniek invloed op de levensduur, herstelbaarheid, demonteerbaarheid, zuiverheid van materiaalstromen, aanwezigheid van zorgwekkende stoffen of toekomstige hoogwaardige recyclage?

   Beoordelingsmethodiek:

   - (+) De techniek heeft een positief effect op circulariteit of op het effect in de keten. *Voorbeelden: de techniek maakt het gebruik van secundaire grondstoffen mogelijk, verlengt de technische levensduur van het product, sluit een kringloop via industriële symbiose, of voorkomt afval aan de bron.*
   - (0) Op basis van de beschikbare informatie wordt geen relevant positief of negatief effect verwacht. Wanneer onvoldoende informatie beschikbaar is om het effect te beoordelen, wordt dit expliciet als kennishiaat vermeld en niet als een onderbouwde neutrale beoordeling beschouwd.
   - (-) De techniek heeft een negatief effect op circulariteit of op het effect in de keten. *Voorbeelden: de techniek maakt een materiaalstroom moeilijker recycleerbaar, leidt tot laagwaardigere toepassing van hoogwaardige materialen, veroorzaakt verlies aan toekomstige inzetbaarheid of verhoogt de afhankelijkheid van primaire grondstoffen zonder duidelijke milieuwinst.*

Wanneer een techniek tegenstrijdige circulariteitseffecten heeft, bijvoorbeeld positief voor materiaalsubstitutie maar negatief voor toekomstige recycleerbaarheid, wordt de score aangeduid als (+/-). De tegenstrijdige effecten worden kort toegelicht in de bespreking van de BBT-evaluatie of in de conclusieparagraaf (§5.2), conform de bestaande werkwijze bij cross-media-effecten. Zo wordt vermeden dat sterke maar tegengestelde effecten verdwijnen achter

een neutrale score (0). De score (+/-) wordt gebruikt wanneer het effect afhankelijk van de situatie positief of negatief kan zijn.

6.3.2 Integratie in de evaluatietabel

In de overzichtstabel (Tabel 4 in de template) wordt de kolom ‘effect op de keten’ (inclusief circulariteit) behouden. In de toelichting bij deze kolom wordt verduidelijkt dat relevante circulariteitsaspecten daarin explicieter kunnen worden meegenomen. Het gaat onder meer om materiaalwaardebehoud, grondstofsubstitutie, efficiënt gebruik van grondstoffen en hulpbronnen, technische levensduur, hergebruik, herstelbaarheid, recycleerbaarheid en relevante effecten in de voor- en naketen.
Keteneffecten die vooral betrekking hebben op energie, water, lucht of andere milieucompartimenten worden beoordeeld onder de bestaande criteria en, waar nodig, via de cross-media-afweging. De circulariteitsinvulling mag dus geen dubbele beoordeling van bestaande milieucriteria veroorzaken. De beoordeling gebeurt, net als bij andere criteria, met symbolen (+, 0, -, +/-).

Wanneer de circulariteitsanalyse een expliciete afweging vraagt, bijvoorbeeld tussen materiaalwinst, energieverbruik, emissies, kwaliteit of toekomstige recycleerbaarheid, wordt dit opgenomen in de bespreking van de BBT-evaluatie of in de conclusieparagraaf, bijvoorbeeld als thematisch blok “circulariteit en ketenbeheer”.

Voorbeeld van zo’n thematisch blok:
Bij de evaluatie van de technieken voor het gebruik van asfaltgranulaat (§4.3.13 van de BBT-studie voor asfaltcentrales) is een afweging gemaakt tussen materiaalbehoud en luchtemissies. De techniek scoort positief op het criterium ‘effect op de keten’ door de daling in primair grondstoffengebruik en de inzet van asfaltgranulaat in nieuwe asfaltmengsels. De analyse toont tegelijk aandachtspunten, zoals bijkomende emissies, geur, energieverbruik of kwaliteitsrisico’s, afhankelijk van de toegepaste techniek.

Conclusie: de techniek kan als BBT worden weerhouden indien de relevante randvoorwaarden uit de BBT-evaluatie voldoende kunnen worden geborgd, zoals emissiebeheersing, procescontrole en kwaliteitsborging. Bij de vertaling naar BBT-conclusies of milieuvoorwaarden worden alleen randvoorwaarden opgenomen die rechtstreeks samenhangen met de exploitatie van de installatie en technisch, juridisch en vergunningstechnisch bepaalbaar zijn. Randvoorwaarden buiten de inrichting, zoals selectieve sloop, ketenafspraken of de algemene beschikbaarheid van kwalitatief asfaltgranulaat, worden niet als vergunningsvoorwaarde geformuleerd, maar als toepassingsvoorwaarde, aandachtspunt of kennishiaat benoemd.

6.4 Templatehoofdstuk 6: aanbevelingen

Doel: nagaan of circulariteitsaspecten die in de BBT-analyse zijn vastgesteld, aanleiding geven tot aanbevelingen binnen de bestaande aanbevelingenstructuur van een BBT-studie.

Circulariteit vormt geen afzonderlijk aanbevelingenspoor naast de BBT-evaluatie. Circulariteitsaspecten worden alleen meegenomen in aanbevelingen wanneer zij voortvloeien uit de beoordeling van technieken, uit vastgestelde randvoorwaarden of uit expliciet benoemde kennishiaten. De bestaande voorwaarden voor aanbevelingen blijven gelden.

6.4.1 Aanbevelingen voor milieuvoorwaarden (VLAREM)

In de paragraaf over milieuvoorwaarden kan worden nagegaan of de BBT-analyse aanleiding geeft tot aanbevelingen die circulariteit ondersteunen. Niet elk circulariteitsaspect is geschikt voor vertaling naar een vergunningsvoorwaarde. Een aanbeveling voor milieuvoorwaarden is alleen aangewezen wanneer de maatregel voldoende technisch en economisch onderbouwd is, binnen de scope van de omgevingsvergunning valt en aansluit bij de bevoegdheden en bestaande regelgeving.

Mogelijke aanbevelingen blijven beperkt tot aspecten die rechtstreeks voortvloeien uit de BBT-evaluatie. Het kan bijvoorbeeld gaan om randvoorwaarden voor de toepassing van een techniek, kwaliteitsborging bij relevante materiaalstromen, het gescheiden houden van stromen wanneer dit nodig is voor hergebruik of recyclage, of het vermijden van duidelijke probleemverschuivingen naar emissies, afval, hinder of toekomstige recycleerbaarheid. Voor voorstellen die raken aan productregelgeving, afvalstoffenbeleid, einde-afvalcriteria of flankerend beleid wordt aangegeven welk instrument en welke bevoegde overheid aan zet zijn. Registratie- of rapportagevoorwaarden worden afzonderlijk beoordeeld op hun relatie met de exploitatie, hun noodzaak voor de opvolging van milieuprestaties en hun juridische inpasbaarheid.

6.4.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek

De bestaande BBT-structuur biedt al ruimte voor onderzoeksaanbevelingen, ook voor circulariteit. Aanbevelingen voor verder onderzoek zijn vooral aangewezen wanneer een circulariteitsaspect relevant lijkt, maar onvoldoende onderbouwd is om als BBT of als aanbeveling voor milieuvoorwaarden te formuleren.

Een onderzoeksaanbeveling blijft binnen de scope van de BBT-studie wanneer de ontbrekende kennis nodig is om een techniek, procesvoering of materiaalstroom binnen de afgebakende studie correct te beoordelen.

Bij het formuleren van onderzoeksaanbevelingen rond circulariteit kan de BBT-auteur onderstaande checklist gebruiken als inspiratie:

- Is er onvoldoende informatie over de technische haalbaarheid van een circulaire techniek?
- Ontbreken gegevens over de milieu-impact, bijvoorbeeld rond energiegebruik, emissies, transport, uitloging, kwaliteit of toekomstige recycleerbaarheid?
- Is er nood aan betere data over materiaalstromen, secundaire grondstoffen, nevenstromen of afvalstromen?
- Zijn er onzekerheden rond de kwaliteit, samenstelling of beschikbaarheid van inputstromen?
- Zijn er ketenvoorwaarden nodig die buiten de directe invloedssfeer van de exploitant liggen, zoals sortering, kwaliteitsborging, traceerbaarheid of afspraken met ketenpartners?

- Is afstemming nodig met OVAM of andere bevoegde instanties over afvalstoffen, einde-afvalstatus, materialenbeleid, productregelgeving of rapportering?
- Zijn er veelbelovende technieken in ontwikkeling die nog onvoldoende rijp zijn om als BBT te beoordelen, maar relevant zijn voor toekomstige circulariteit?

Bij elke onderzoeksaanbeveling wordt duidelijk aangegeven of het onderwerp binnen de scope van een toekomstige BBT-studie kan vallen, dan wel eerder thuishoort bij flankerend beleid, productregelgeving, sectorale kennisontwikkeling of ketensamenwerking.

Op die manier wordt circulariteit geïntegreerd in de bestaande BBT-methodologie zonder de rol van de BBT-studie te verbreden tot algemene circulaire-economieplanning. De BBT-studie benoemt waar technieken, processen en materiaalstromen kunnen bijdragen aan circulariteit, beoordeelt die bijdrage waar mogelijk binnen de bestaande BBT-afweging, en verwijst bredere of onvoldoende onderbouwde punten door naar onderzoek, afstemming of flankerend beleid.

BIBLIOGRAFIE

BAM. (2024). *BAM introduceert techniek om asfalt ter plekke koud te recyclen tot draagkrachtige tussenlaag*. Opgehaald van https://www.bam.com/nl/pers/persberichten/2024/4/bam-introduceert-techniek-om-asfalt-ter-plekke-koud-te-recyclen-tot

Bocken, N. M., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*. Opgehaald van https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21681015.2016.1172124

Custers, K., & Janssens, G. (2024). *Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor asfaltcentrales.* Vlaams Kenniscentrum voor Beste Beschikbare Technieken (VITO). Opgehaald van https://emis.vito.be/nl/bbt/publicaties/bbtbref-en-andere-publicaties/asfaltcentrales

Haupt, M., Vadenbo, C., & Hellweg, S. (2016). Do We Have the Right Performance Indicators for the Circular Economy?: Insight into the Swiss Waste Management System. *Journal of Industrial Ecology*. Opgehaald van https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jiec.12506

Huybrechts, D., Derden, A., Van den Abeele, L., Vander Aa, S., & Smets, T. (2018). Best available techniques and the value chain perspective. *Journal of Cleaner Production, 174*, 847-856. doi:10.1016/j.jclepro.2017.10.346

Leyssens, D., Verstappen, B., & Huybrechts, D. (2013). *Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor asfaltcentrales.* Vlaams Kenniscentrum voor Beste Beschikbare Technieken (VITO).

Linder, M., Sarasini, S., & van Loon, P. (2017). A metric for quantifying product-level circularity. *Journal of Industrial Ecology*. Opgehaald van https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jiec.12552

Ness, D., & Xing, K. (2017). Toward a Resource-Efficient Built Environment: A Literature Review and Conceptual Model. *Journal of Industrial Ecology, 21*(3), 572-592. doi:10.1111/jiec.12586

NN. (2007). *Overheidsvisie op de bio-base economy in de energietransitie. 'De keten sluiten'.* Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

O-I. (2024). *O-I advances lighter weight, lower carbon wine bottle in France*. Opgehaald van https://www.o-i.com/news/o-i-advances-lighter-weight-lower-carbon-wine-bottle-in-france/

Papargyropoulou, E., Lozano, R., Steinberger, J., Wright, N., & Ujang, Z. B. (2014). The food waste hierarchy as a framework for the management of food surplus and food waste. *Journal of Cleaner Production*. Opgehaald van https://eprints.whiterose.ac.uk/79194/1/accepted%20manuscript.pdf

Pieroni, M. P., McAloone, T. C., & Pigosso, D. C. (2019). Business model innovation for circular economy and sustainability: A review of approaches. *Journal of Cleaner Production*. Opgehaald van https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619300423

Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). *Circular economy: measuring innovation in the product chain.* PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. Opgehaald van https://www.pbl.nl/uploads/default/downloads/pbl-2016-circular-economy-measuring-innovation-in-product-chains-2544.pdf

Reike, D., Vermeulen, W. J., & Witjes, S. (2018). The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options.

Resources, Conservation and Recycling. Opgehaald van https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917302756

Scalet, B. M., Garcia Munoz, M., Sissa, A. Q., Roudier, S., & Delgado Sancho, L. (2013). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass.* European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). Opgehaald van https://emis.vito.be/sites/emis/files/pages/3331/2017//BAT_conclusions_for_the_manufacture_of_glass_versie_2013.pdf

Van den Abeele, L., Vanassche, S., Weltens, R., & Huybrechts, D. (2015). *Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor aardappel-, groente- en fruitverwerkende nijverheid (AGF).* Vlaams Kenniscentrum voor Beste Beschikbare Technieken (VITO). Opgehaald van https://emis.vito.be/nl/bbt/publicaties/bbtbref-en-andere-publicaties/aardappel-groente-en-fruitverwerkende-nijverheid-agf

vision on technology
for a better world