

RAPPORT

Circulair sturen op hoogwaardig hergebruik van toegepaste en toe te passen materialen

Klant: Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving

Referentie: I&BBF7162R001F1.0

Versie: 1.0/Finale versie

Datum: 13 april 2018

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Postbus 151
6500 AD Nijmegen
Netherlands
Industry & Buildings
Trade register number: 56515154

+31 88 348 70 00 **T**
+31 24 323 93 46 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Circulair sturen op hoogwaardig hergebruik van toegepaste en toe te passen materialen

Ondertitel: Circulair sturen op hoogwaardig hergebruik

Referentie: I&BBF7162R001F1.0

Versie: 1.0/Finale versie

Datum: 13 april 2018

Projectnaam: Circulair sturen op hoogwaardig hergebruik

Projectnummer: BF7162

Auteur(s): Erik van Dijk

Opgesteld door: Erik van Dijk

Gecontroleerd door: Tom Houben / Jaap Verheul

Datum/Initialen: 13 april 2018

Goedgekeurd door: Erik van Dijk

Datum/Initialen: 13 april 2018

Classificatie

Click to enter "Classified"



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and OHSAS 18001:2007.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doel	1
1.3	Wat is een circulaire bouwgrondstof?	2
1.4	Scope onderzoek	2
1.5	Werkwijze onderzoek	3
1.6	Leeswijzer	4
2	Invloedsfactoren op de een circulaire economie	5
2.1	Voorraadvorming bouwgrondstoffen in de economie	5
2.2	De basis van het Nederlandse afvalbeleid	7
2.2.1	Oorsprong	7
2.2.2	Ladder van Lansink nu	8
2.3	Neveneffecten van de Ladder van Lansink	9
2.3.1	Het ondergewaardeerde nut van verwijdering in een circulaire economie	10
2.3.2	Onvoldoende oog voor werkelijke milieuwinst	14
2.3.3	De knip tussen verwijdering en nuttige toepassing	15
2.4	Standaardisatie van materialen, onderdelen en ontwerpen	16
2.5	De grenzen van een circulaire economie	16
2.6	Circulariteit heeft tijd nodig	18
2.7	De valkuil van volledig hergebruik	19
2.8	De keerzijde van ambitieuze doelstellingen: verdringing	21
3	Bouwgrondstoffen bij Rijkswaterstaat	22
3.1	Type bouw(grond)grondstoffen	22
3.2	Bouw(grond)grondstoffen in het hoofdwegennet	24
3.3	Bouw(grond)grondstoffen in het hoofdvaarwegennet	24
3.4	Bouw(grond)grondstoffen in het hoofdwatersysteem	25
3.5	Registratie gebruik bouwstoffen bij Rijkswaterstaat	26
3.6	Toegepaste hoeveelheden bij Rijkswaterstaat	27
3.7	Toegepaste hoeveelheden in Nederland	30
4	Recyclingtechnieken voor bouwgrondstoffen	31
4.1	Design for recycling	31
4.2	Recyclingtechnieken voor beton, metselwerk en bakstenen	32
4.2.1	Bouw- en sloopafval sorteerinstallatie gevolgd door een puinbreker	32
4.2.2	Baksteen van gerecyclede grondstoffen	33
4.2.3	Grindvervanging in traditioneel beton met betongranulaat	34

4.2.4	Slim breken van beton	34
4.2.5	Elektrodynamisch breken van beton	35
4.2.6	C2CA beton	35
4.2.7	Cellenbeton	36
4.3	Recyclingtechnieken voor grond en/of baggerspecie	36
4.3.1	Natte grondreiniging	36
4.3.2	Thermische grondreiniging	37
4.3.3	Biologische grondreiniging	37
4.3.4	Immobilisatietechnieken	38
4.4	Baggerspecie	38
4.4.1	Scheidingsbekken	38
4.4.2	Kleirijperij	39
4.5	Asfalt	39
4.5.1	Partiële recycling	39
4.5.2	LEAB (Laag Energie Asfalt Beton)	40
4.5.3	HERA (Highly Ecologic Recycling Asphalt System)	40
4.5.4	Asfaltgranulaat cement stabilisatie	40
4.5.5	Thermische reiniging teerhoudend asfalt	41
4.5.6	Recycling tweelaags-ZOAB	41
4.5.7	Gesloten keten voor bitumen	42
4.5.8	Levensduurverlenging	42
4.6	AVI-bodemas	43
4.6.1	Traditionele opwerking AVI-bodemas	43
4.6.2	Recyclingtechnieken voor vrij toepasbare AVI-bodemas	43
4.6.3	AVI-bodemas recycling in beton	44
4.6.4	AVI-bodemas recycling in asfalt	44
4.7	EPS-recycling	45
4.8	Recyclingtechnieken voor ijzer en staal	45
4.8.1	Betonijzer	45
4.8.2	Constructiestaal	45
4.8.3	Recyclingtechnieken	46
4.9	Houtrecycling	46
4.10	Bitumenrecycling	47
4.11	GWV-bouwstoffen nog zonder eigen recyclingtechniek	47
5	Analyse circulariteit bouwgrondstoffen	49
5.1	Primaire bouwgrondstoffen	50
5.2	Secundaire bouwgrondstoffen uit recyclingprocessen	55
5.3	Secundaire bouwgrondstoffen uit productieprocessen voor grondstoffen	58
5.4	Toeslagstoffen in bouwgrondstoffen	61
6	Conclusies en aanbevelingen voor circulaire bouwgrondstoffen	64
6.1	Conclusies	64

6.2	Aanbevelingen	66
6.2.1	Generieke aanbevelingen voor circulaire bouwgrondstoffen	66
6.2.2	Specifieke aanbevelingen	67
7	Literatuur	71
B.1	Primaire bouwgrondstoffen	4
B.1.1	Baksteen	4
B.1.2	Basalt	6
B.1.3	Breuksteen	7
B.1.4	EPS	9
B.1.5	Geotextiel	11
B.1.6	Graniet	13
B.1.7	Grind	14
B.1.8	Hout	15
B.1.9	Landzand	17
B.1.10	IJzer	19
B.1.11	Zeezand	21
B.2	Secundaire bouwgrondstoffen uit recyclingprocessen	22
B.2.1	AVI-bodemas	22
B.2.2	AVI-vliegas	25
B.2.3	ECO filler	26
B.2.4	ECO granulaat	27
B.2.5	ECO zand	28
B.2.6	Immobilisaat	29
B.2.7	Nat extractief gereinigde grond	31
B.2.8	Thermisch Gereinigde Grond	32
B.3	Secundaire bouwgrondstoffen uit productieprocessen voor grondstoffen	34
B.3.1	E-bodemas	34
B.3.2	Staalslakken	35
B.3.3	Fosforslakken	37
B.3.4	Hoogovenslakken	39
B.3.5	Koperslakken	41
B.3.6	Loodslakken	42
B.3.7	Mijnsteen	43
B.3.8	Zinkassen	45
B.4	Toeslagstoffen in bouwgrondstoffen	46
B.4.1	Betonijzer	46
B.4.2	Bitumen	47
B.4.3	Cement	48
B.4.4	Composietvezels	49
B.4.5	E-vliegas	50
B.4.6	Lignine	51

Bijlagen

Bijlage A - Geregistreerde hoeveelheden secundaire bouwstoffen

Bijlage B - Circulaire analyse bouwgrondstoffen

Samenvatting

In dit onderzoek zijn de belangrijkste bouwgrondstoffen die door Rijkswaterstaat zijn of worden toegepast in beeld gebracht en is onderzocht in hoeverre het gebruik van deze bouwgrondstoffen in de toekomst circulair zal zijn. Uitgezonderd zijn asfalt en beton, deze materiaalstromen zijn eerder onderzocht. Voor grond in aanpalend een verkenning uitgevoerd.

Bouwgrondstoffen kritisch voor circulair hergebruik

In totaal zijn 34 bouwgrondstoffen onderzocht, waarvan er in de huidige situatie 11 als kritisch ten aanzien van circulair hergebruik zijn geïdentificeerd omdat ze in de toekomst niet gerecycled kunnen worden, de specifieke eigenschappen bij recycling verloren gaan of ze de recyclingmogelijkheden van andere materialen onder druk zetten. Het betreft de volgende bouwgrondstoffen: koperslakken, loodslakken, zinkassen, fosforslakken, 'oude' mijnsteen, 'oude' AVI-bodemas, AVI-vliegas, 'Nieuwe' AVI-bodemas, geotextiel, bitumen en cement. Dit onderzoek geeft generieke aanbevelingen en specifieke adviezen voor elk van deze bouwgrondstoffen.

De overige 25 veel toegepaste bouwgrondstoffen zijn goed te recyclen en kunnen als (vrijwel) circulair worden aangemerkt, omdat ze in een zelfde toepassing hergebruikt kunnen worden en er naar verwachting in de toekomst voldoende soortgelijke toepassingen worden gerealiseerd. Goed te recyclen of circulair hangt uiteindelijk niet alleen af van het materiaal zelf, maar ook van het ontwerp van een werk(toepassing) en de wijze van demontage.

Kennis over voorraad toekomstige secundaire bouwgrondstoffen bij Rijkswaterstaat

Er bestaat geen goed overzicht welke bouwstoffen waar, wanneer en in welke hoeveelheden zijn toegepast of vrijkomen, omdat deze informatie niet structureel is bijgehouden. Het niet tijdig beschikbaar hebben van deze informatie vormt een belemmering om vrijkomende materialen hoogwaardig te kunnen hergebruiken.

Nog geen gesloten kringloop door continue voorraadvorming van bouwgrondstoffen

De voortdurende groei van de voorraad bouwgrondstoffen die door mensen in werken en gebouwen in gebruik is, zorgt ervoor dat zelfs bij volledig hoogwaardig hergebruik van alle (vrijkomende) materialen, voorlopig een substantiële behoefte aan primaire bouwgrondstoffen blijft bestaan.

Afname beschikbaarheid lineaire reststoffen

Momenteel worden in de GWW-sector direct en indirect grote hoeveelheden secundaire bouwgrondstoffen uit lineaire productieprocessen uit andere sectoren gebruikt. Bijvoorbeeld staalslakken en vliegassen. Als de omslag naar een circulaire economie succesvol wordt gemaakt, zal de beschikbaarheid van deze bouwgrondstoffen afnemen. Door wegvallen van deze secundaire bouwgrondstoffen zal de behoefte aan primaire bouwgrondstoffen paradoxaal stijgen door de circulaire economie.

Generieke aanbevelingen voor Rijkswaterstaat

1. Gebruik zo min mogelijk verschillende materialen in een werk.
2. Eis bij een ontwerp van een werk in een contract dat ook een werkbaar plan voor demonteren aanwezig is. Een dergelijk ontwerp zal verbindingen tussen verschillende materialen vereisen die goed demonteerbaar zijn;
3. Test bestaande en nieuwe (typen) bouwgrondstoffen op circulariteit;
4. Beloon hoogwaardig hergebruik ten opzichte van laagwaardig hergebruik bij aanbesteden;

Click to enter "Classification"



5. Registreer waar welk type bouwgrondstoffen zijn en worden toegepast. Hiervoor zou het Meldpunt Bodemkwaliteit een goede basis kunnen zijn door in die melding ook het specifieke type bouwstof te laten melden;
6. Accepteer dat laagwaardig hergebruik of zelfs storten technisch noodzakelijk is voor het behouden van zuivere reststromen voor hoogwaardig hergebruik/recycling;
7. Maak gezamenlijk beleid voor bouwgrondstoffen met provincies en gemeentes om knelpunten ten aanzien van niet circulaire materialen niet af te wentelen.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Rijkswaterstaat wil in 2030 50% van de primaire grondstoffen vervangen door secundaire grondstoffen en volledig circulair werken. Dit is een tussenstap voor het einddoel om in 2050 volledig circulair te zijn. Als Rijkswaterstaat deze geformuleerde circulaire economie ambities wil realiseren, is het essentieel dat de bouwgrondstoffen die vrijkomen bij amovatie of renovatie van infrastructuur van Rijkswaterstaat volledig en hoogwaardig inzetbaar blijven. Hierbij dient ook rekening gehouden te worden met de toekomstige vraag naar bouwgrondstoffen en de eisen die daaraan gesteld worden. Een bouwgrondstof is een materiaal dat in zowel gebonden als ongebonden toepassingen in de GWW, utiliteits- en/of woningbouw wordt toegepast.

Om in 2050 volledig circulair te zijn, is het van groot belang nu al te kijken naar de randvoorwaarden die toekomstig circulair gebruik (on)mogelijk maken. Rijkswaterstaat laat op dit moment aannemers relatief vrij in materiaalkeuze en stuurt voornamelijk op prijs en functionaliteit. De eventuele consequenties voor de mogelijkheden van toekomstig hergebruik spelen nog nauwelijks een rol bij de randvoorwaarden in aanbestedingen. Als Rijkswaterstaat de circulaire doelstellingen voor 2030 en 2050 wil realiseren, zullen naast functionaliteit en prijs, circulaire randvoorwaarden ook een rol moeten gaan spelen bij het aanbesteden van werken of specificeren van bestekken. Bouwgrondstoffen, die niet of minder geschikt zijn om circulair opnieuw te kunnen inzetten na het einde van de levenscyclus, dienen zoveel mogelijk vermeden te worden in nieuw te realiseren toepassingen.

Hierbij wordt Rijkswaterstaat geadviseerd zo verstandig mogelijk om te gaan met de lineaire erfenis, daar ligt een concrete opgave voor RWS. De bouwgrondstoffen die je nu niet meer zou gebruiken (omdat ze niet-circulair zijn) kun je opdelen in bouwgrondstoffen die nog wel laagwaardig zijn te gebruiken, maar die op enig moment de keten zullen verlaten en bouwgrondstoffen waarvan het beter is deze niet meer te recyclen omdat ze ook de circulariteit van andere bouwgrondstoffen negatief beïnvloeden.

1.2 Doel

Het doel van dit rapport is meer inzicht te geven in het gebruik van bouwgrondstoffen, de recyclingmogelijkheden, de recyclingtechnieken en de risico's die hierbij een rol spelen. Daartoe geeft dit rapport inzicht en overzicht in de volgende zaken:

1. In belangrijke aspecten die een rol (kunnen) spelen bij het circulair maken van primaire en secundaire bouwgrondstoffen:
 - de toegepaste hoeveelheden;
 - de vrijkomende hoeveelheden;
 - de civieltechnische kwaliteit
 - de milieuhygiënische kwaliteit;
 - de circulaire risico's;
 - de mogelijke hoogwaardige circulaire hergebruiksmogelijkheden in opeenvolgende cycli;
 - de meest hoogwaardige laagwaardiger toepassingsmogelijkheden wanneer hoogwaardig hergebruik niet mogelijk is;

- een advies waarmee RWS als opdrachtgever contractueel de toegepaste of toe te passen bouwgrondstoffen kan sturen ten einde hoogwaardiger hergebruik veilig te stellen of mogelijk te maken. Op termijn is het dus nodig om bij aanbestedingen circulaire randvoorwaarden mee te geven. Rijkswaterstaat wordt geadviseerd deze randvoorwaarden te ontwikkelen.
- 2. In de recyclingtechnieken die ervoor kunnen zorgen dat bouwgrondstoffen geschikt kunnen worden (gemaakt) voor een nieuwe gebruiksfase:
 - de werking (basisprincipe) en (on)mogelijkheden van beschikbare en opkomende recyclingtechnieken per materiaalstroom conform het TRL model;
 - inzicht hebben in de belemmeringen voor het beschikbaar hebben van opkomende recyclingtechnieken en hoe eventuele belemmeringen weggenomen kunnen worden;
 - inzicht in de recyclingkosten, recovery, energieverbruik en transportafstanden per recyclingtechniek;
 - een advies hoe RWS enerzijds kansen en potentieel beter kan benutten en anderzijds hoe RWS eventuele belemmeringen kan oplossen.

1.3 Wat is een circulaire bouwgrondstof?

Een circulaire bouwgrondstof is een bouwgrondstof die circulair wordt toegepast. Dit betekent dat het materiaal keer op keer volledig wordt gerecycled als het werk waarin het is toegepast zijn functie heeft verloren en dat hierbij tevens de specifieke eigenschappen van het materiaal worden gerecycled.

De specifieke eigenschappen zijn de unieke eigenschappen waarvoor een bepaald materiaal gekozen is in een toepassing. Bijvoorbeeld bindend vermogen bij cement, erosiebestendigheid bij basalt, waterdichtheid bij bentoniet of geleidbaarheid bij koper. Circulair hergebruik is mogelijk door hergebruik van het materiaal zelf, maar het is nog duurzamer om bijvoorbeeld bouwelementen, funderingen of zelfs casco's van werken en gebouwen integraal her te gebruiken.

Met name bij toepassingen als funderingsmateriaal en vulstoffen komt het voor dat de specifieke eigenschappen van een materiaal niet langer worden gerecycled. Er is dan nog wel sprake van recycling en een nuttige toepassing, maar er kan niet meer gesproken worden van circulair hergebruik.

Een bouwgrondstof is een primaire of secundaire grondstof die wordt toegepast als bouwstof bij de aanleg van kunstwerken in de grond-, weg-, en waterbouw, maar ook in de utiliteits- en woningbouw.

Primaire grondstoffen worden gewonnen in de natuur. Voorbeelden zijn zand, grind, graniet en mergel. Secundaire grondstoffen komen vrij bij industriële processen of het verwerken van afvalstoffen die vrijkomen bij het slopen van (kunst) werken.

1.4 Scope onderzoek

Een goed functionerende circulaire economie bestaat uit allerlei elementen die uiteindelijk samen een circulaire economie realiseren:

- Het elke keer opnieuw kunnen hergebruiken van:
 - (kunst)werken/producten,
 - bouwelementen/onderdelen,
 - materialen en/of
 - stoffen;
- Het maximale behoud van waarde;

- Circulair ontwerpen zodat bovenstaande elementen haalbaar worden;
- Materiaalkeuzes zodat bovenstaande elementen haalbaar worden.

Dit onderzoek richt zich voor bouwgrondstoffen op het opnieuw kunnen hergebruiken van materialen en stoffen en het maximale behoud van waarde van deze bouwgrondstoffen. Hergebruik van (kunst)werken/producten, bouwelementen/onderdelen speelt weliswaar een zeer belangrijke rol in de Circulaire Economie, maar dit wordt in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.

De gebruikte materialen in de GWW-sector betreffen niet alleen bouwgrondstoffen. Voor bijvoorbeeld de rijbaanverlichting, de veiligheid in tunnels, de monitoring van verkeersintensiteit, aansturing van gemalen, sluisen en beweegbare bruggen worden talloze technische installaties, vangrails, lantaarnpalen, masten en dergelijke gebruikt waarvan de productie ook grondstoffen nodig heeft. De circulariteit van deze technische installaties valt buiten de scope van dit onderzoek.

Circulair ontwerpen moet zich enerzijds richten op mogelijk maken van hergebruik van (kunst)werken/producten en bouwelementen/onderdelen en anderzijds op maximaal hergebruik van materialen en/of stoffen. Adviezen en kanttekeningen betreffende circulair ontwerpen richten zich in dit onderzoek alleen op maximaal hergebruik van materialen en/of stoffen.

1.5 Werkwijze onderzoek

In het kader van dit onderzoek is de volgende werkwijze gevolgd en zijn de volgende stappen ondernomen:

Stap 1: In kaart brengen in GWW bij Rijkswaterstaat gebruikte bouwgrondstoffen

Deze stap bestond uit het identificeren van de belangrijkste primaire en secundaire bouwgrondstoffen die worden toegepast in de drie Rijkswaterstaatnetwerken, te weten het hoofdwegennet, hoofdvaarwaterwegennet en hoofdwatersysteem. Voor elk van deze bouwgrondstoffen is getracht een inschatting te maken van de mate waarin deze in het verleden zijn toegepast en de mate waarin deze tegenwoordig in projecten van RWS worden toegepast.

In deze stap hebben vier interviews plaatsgevonden met:

- Wim van Grinsven. Deskundige bouwgrondstoffen binnen Rijkswaterstaat met een sterke focus op bouwgrondstoffen anders dan grond;
- Wim Sterk. Deskundige bouwgrondstoffen binnen Rijkswaterstaat met een sterke focus op grond en vergelijkbare bouwgrondstoffen;
- Michiel Gadella. Deskundige van het meldpunt bodemkwaliteit van Bodem+;
- Joost van Diem. Deskundige binnen Rijkswaterstaat betrokken bij assetmanagement.

Stap 2: Analyse circulariteit bouwgrondstoffen

Deze stap is een analyse van stap 1 geïdentificeerde bouwgrondstoffen. Hiertoe zijn de volgende vragen beantwoord en onderbouwd:

- Hoe wordt het materiaal in de netwerken van Rijkswaterstaat toegepast? Als een zuivere stof (bijvoorbeeld opvulzand) of in een mengsel (bijvoorbeeld beton)?
- Is het materiaal meestal los of demontabel aanwezig in een constructie of samen met andere bouwgrondstoffen verbonden?

- Indien dit materiaal vrijkomt, is dit materiaal dan opnieuw direct (zonder bewerkingen) toepasbaar voor hetzelfde type toepassing?
- Zo niet, is dit materiaal op te werken tot een hetzelfde type toepassing en welke technieken zijn hiervoor beschikbaar? Wat is de status van deze technieken in termen van een Technology Readiness Level (TRL)?
- Zo niet, is het materiaal te verwerken in een ander materiaal of product dat na zijn end-of-life weer in een vergelijkbare toepassing is toe te passen?
- Zo niet, resteren alleen nog maar laagwaardige toepassingen?

Een materiaal kan natuurlijk meerdere toepassingen hebben en voor iedere toepassing kan het antwoord op bovenstaande vragen anders zijn. De analyse heeft zich gericht op de meest gangbare toepassingen.

Stap 3: Analyse mogelijkheden sturen in circulariteit

Deze stap vertaalt voor kritische bouwgrondstoffen de bevindingen in adviezen voor de materiaal- en/of constructiekeuze in de ontwerpfase. Kritische bouwgrondstoffen zijn bouwgrondstoffen die knelpunten opleveren in een circulaire economie. Kritische bouwgrondstoffen zijn bouwgrondstoffen waarvoor in stap 2 is vastgesteld dat een materiaal lastig is her te gebruiken of waarvan het gebruik het hergebruik van andere bouwgrondstoffen negatief beïnvloedt. Hierbij is gekeken naar:

- de risico's van recycling van deze bouwgrondstoffen voor de circulariteit van andere bouwgrondstoffen;
- de toekomstige afzetmogelijkheden van het materiaal wanneer na end-of-life.

Stap 4: Overzicht recyclingtechnieken

Deze stap geeft een overzicht van de recyclingtechnieken. Elke techniek zal worden beschreven en toegelicht. Hierbij zal in ieder geval aandacht worden besteed aan de volgende aspecten en/of criteria: verwerkingskosten, recovery, energieverbruik, transportafstanden, de benodigde schaalgrootte en het resultaat van de recyclingtechniek. Het detailniveau van deze aspecten zal semi-kwantitatief zijn.

Het belangrijkste aspect is het resultaat van de recyclingtechniek. Hoeveel brengt de techniek de circulariteit van bouwgrondstoffen daadwerkelijk dichterbij.

1.6 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft belangrijke invloedfactoren op de hoogwaardigheid van recycling in de circulaire economie. Hoofdstuk 3 beschrijft het gebruik van bouwgrondstoffen bij Rijkswaterstaat in type bouwgrondstoffen, type werken en hoeveelheden toegepaste bouwgrondstoffen. Vervolgens beschrijft hoofdstuk 4 recyclingtechnieken voor bouwgrondstoffen. Hoofdstuk 5 geeft een analyse weer voor de circulariteit van de belangrijkste toegepaste bouwgrondstoffen. Tevens worden in hoofdstuk 5 bouwgrondstoffen geïdentificeerd die kritisch zijn inzake een circulaire economie. In hoofdstuk 6 worden conclusies weergegeven. Daarnaast geeft hoofdstuk 6 adviezen voor het circulair maken van bouwgrondstoffen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen generieke adviezen voor het circulair maken van alle bouwgrondstoffen en specifieke adviezen voor de kritische bouwgrondstoffen om circulair te kunnen toepassen.

2 Invloedsfactoren op de een circulaire economie

Dit hoofdstuk beschrijft acht belangrijke factoren, die invloed hebben op de realisatie van een circulaire economie voor materialen, waarvoor (product)hergebruik geen optie meer is. Deze factoren zijn:

1. Voorraadvorming bouwgrondstoffen in het publieke domein en de economie;
2. Ladder van Lansink;
3. Vertaling Ladder van Lansink in beleid;
4. Standaardisatie van materialen, onderdelen en ontwerpen;
5. De grenzen van een circulaire economie;
6. Circulariteit heeft tijd nodig;
7. De valkuil van volledig hergebruik;
8. De keerzijde van verdringing.

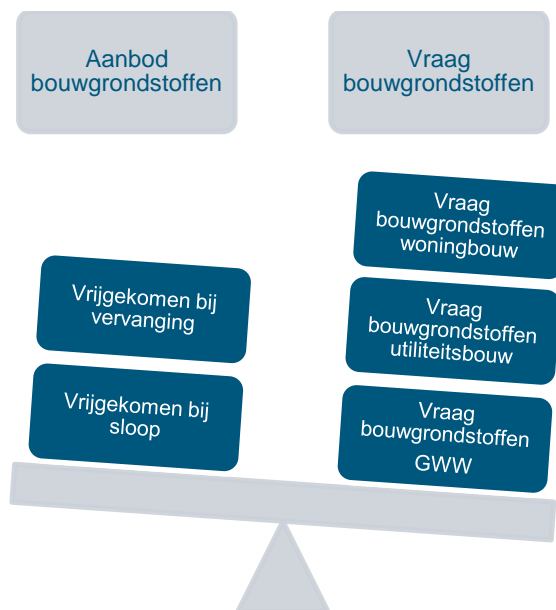
Bovenstaande factoren hebben ook een grote invloed op de wijze waarop de recyclingsector momenteel functioneert en hoe hoogwaardig materialen kunnen worden gerecycled. Deze factoren bepalen ook de mate waarin Rijkswaterstaat circulair kan gaan werken. De invloedsfactoren zijn alleen invloedsfactoren die een rol spelen nadat een (kunst)werk gerealiseerd is. In de ontwerp- en realisatiefase zitten nog veel meer (belangrijke) invloedsfactoren. Deze invloedsfactoren worden in dit hoofdstuk niet behandeld.

2.1 Voorraadvorming bouwgrondstoffen in de economie

In de ideale circulaire economie is niet of nauwelijks gebruik van primaire grondstoffen nodig. Het niet of nauwelijks gebruik van primaire grondstoffen heeft echter twee randvoorwaarden:

- Alle bouwgrondstoffen worden nu en in de toekomst hergebruikt in werken;
- Er is een balans tussen vraag naar bouwgrondstoffen en aanbod van (secundaire) bouwgrondstoffen.

De huidige vraag naar bouwgrondstoffen is veel groter dan het huidige aanbod van secundaire bouwgrondstoffen. De oorzaak hiervan is dat vooral sprake is van nieuwe werken, maar beperkt sprake is van vervanging van werken (voor Rijkswaterstaat circa 1 à 2% van het areaal op basis van een gemiddelde levensduur van 50 jaar). Dit effect speelt niet alleen bij Rijkswaterstaat, maar bij de gehele GWW-sector en Nederlandse economie. Hierdoor zijn onvermijdelijk substantiële hoeveelheden additionele primaire bouwgrondstoffen nodig zolang het aantal te realiseren werken in beheer van Rijkswaterstaat groter is dan de hoeveelheid vrijkomende bouwgrondstoffen ten gevolge van vervanging. Figuur 2.1 geeft een indicatie van de verhoudingen in deze ongelijke massabalans tussen vraag en aanbod, die wordt veroorzaakt door voorraadvorming van bouwgrondstoffen in de economie.



Figuur 2.1 Massabalans vraag en aanbod bouwgrondstoffen

Onderstaand kader geeft een voorbeeld van deze ongelijk massabalans en bijbehorende voorraadvorming voor beton ter illustratie.

In de afgelopen 10 jaar was het gemiddelde gebruik van beton in Nederland 30 miljoen ton (13 miljoen m³)¹ per jaar. In dezelfde periode betrof het beschikbare volume betonpuin voor hergebruik slechts circa 11 miljoen ton² per jaar. Dit betekent dat zelfs met 100% circulair hergebruik van beton in beton, het beton gemiddeld voor 64 gewichtsprocent uit andere grondstoffen bestaat.

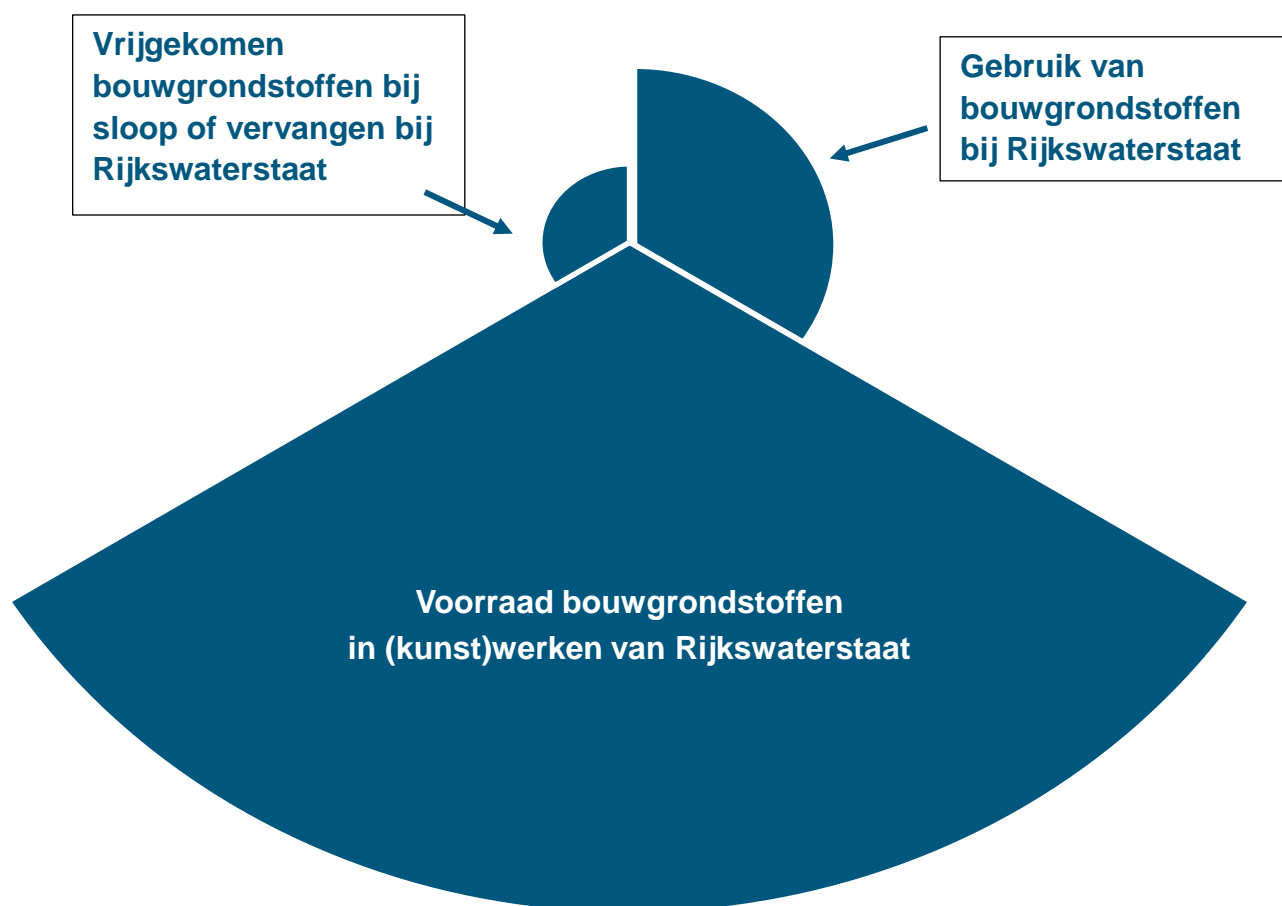
Dit 64 gewichtsprocent van het beton bestaat voor een groot deel uit primaire bouwgrondstoffen, maar wordt momenteel ook voor een substantieel deel (direct) opgevuld met secundaire bouwgrondstoffen zoals E-vliegas, E-bodemas, staalslakken, ECO-zand, ECO-grind, ECO-granulaat, thermische gereinigde grond en AVI-bodemas die alleen vrijkomen uit processen van de lineair economie. Richting een circulaire toekomst zal het volume van veel van deze secundaire bouwgrondstoffen afnemen en zal de behoefte aan primaire grondstoffen hierdoor zelfs kunnen stijgen.

Als Rijkswaterstaat daadwerkelijk een reductie van 50% van het gebruik van primaire bouwgrondstoffen wil realiseren, kan dit erin resulteren dat veel minder werken gerealiseerd kunnen worden vanwege een tekort aan vrijkomende secundaire bouwstoffen. Dit lijkt niet het beoogde doel van de beleidsambities voor de reductie van het gebruik van primaire bouwgrondstoffen.

Deze continue voorraadvorming speelt niet alleen bij Rijkswaterstaat, maar bij de meeste onderdelen van de economie en voor de meeste bouwgrondstoffen. Onderstaande figuur geeft een idee van de verhoudingen tussen vrijkomen van bouwgrondstoffen, gebruik van bouwgrondstoffen en bouwgrondstoffen als voorraad aanwezig in werken.

¹ <http://www.cementenbeton.nl/marktinformatie/betonmarkt>

² <https://www.eib.nl/pdf/Macro-economische%20verkenning%20betonakkoord.pdf>



Figuur 2.2 Massabalans vraag en aanbod bouwgrondstoffen (verhoudingen indicatief)

Hoe realistisch is tegen deze achtergrond de doelstelling om een reductie van 50% primaire (bouw)grondstoffen in 2030 te realiseren? Deze doelstelling is niet realistisch bij de huidige verhoudingen tussen sloop, vervanging en nieuwbouw, waarbij sprake is van een substantiële toename van de voorraad bouwgrondstoffen. Dit effect speelt al decennia en het is niet waarschijnlijk dat dit gaat veranderen. Rijkswaterstaat kan door circulair te gaan werken het hergebruik van bouwgrondstoffen wel verder verhogen, maar 50% reductie is met de huidige verhoudingen tussen sloop, vervanging en nieuwbouw niet realistisch en haalbaar.

2.2 De basis van het Nederlandse afvalbeleid

2.2.1 Oorsprong

De belangrijkste basis voor het Nederlandse afvalbeleid is gelegd door de Ladder van Lansink. De Ladder van Lansink is het resultaat van een motie van Ad Lansink die op 13 november 1979 door de Tweede Kamer unaniem werd aangenomen. Bij dit vertrekpunt eind jaren 70 was de Ladder een heel pragmatische aanpak om vorm te geven aan het afvalbeleid voor de afvalproblematiek en de te verwachten schaarste van grondstoffen. De Ladder van Lansink streeft naar een situatie waarbij minder

uitputting van grondstoffen plaats zou vinden en tevens afvalstoffen minder ruimtebeslag zouden veroorzaken. Figuur 2.3 geeft de Ladder van Lansink weer met de treden die een steeds betere methode omschrijven om met afval om te gaan.



Figuur 2.3 Ladder van Lansink

De Ladder van Lansink heeft een enorme impact gehad om de wijze waarop afvalverwerking in Nederland en ook in de Europese Unie plaatsvindt. De voorkeursvolgorde van de Ladder van Lansink werd in 1994 in Nederland opgenomen in de Wet milieubeheer en in 2008 in de Europese Kaderrichtlijn Afvalstoffen.

2.2.2 Ladder van Lansink nu

Momenteel wordt in het derde LAP de volgende afvalhiërarchie aangehouden:

- a. preventie;
- b. voorbereiding voor hergebruik;
- c. recycling;
- d. andere nuttige toepassing, waaronder energierecuperatie;
- e1. verbranden als vorm van verwijdering;
- e2. storten of lozen.

Bij stap a is geen sprake van een afvalstof. Bij de stappen b, c en d is sprake van een 'nuttige toepassing'. Bij stap e1 en e2 is sprake van 'verwijdering'.

In de sectorplannen in de het LAP wordt voor de meeste gangbare typen afvalstof aangegeven wat de minimumstandaard is voor het verwerken van de afvalstof. Hierbij gaat het beleid uit van een zo hoog mogelijke toepassing op de ladder van Lansink. Voor afvalstoffen waarvoor geen minimumstandaard is vastgesteld geldt bovenstaande Ladder van Lansink. Een verwerker mag voor het verwerken van een afvalstof alleen afwijken van de minimumstandaard als hij met een multilevenscyclusanalyse (mLCA) kan aantonen dat het type verwerking beter scoort dan de minimumstandaard³. De praktijk leert dat dit een substantiële drempel is en in veel gevallen (bij beperkte additionele kosten) de minimumstandaard wordt gevolgd. Dit resulteert erin dat in sommige gevallen de hoogste milieuwinst niet resultaat is.

³ LAP3 - Bijlage 9 van het beleidskader

De Ladder van Lansink is ook de basis voor de volgende tien niveaus van circulariteit⁴ geformuleerd door Jacqueline Cramer:

Tien niveaus van circulariteit	
1	Refuse: voorkomen van gebruik van grondstoffen
2	Reduce: verminderen van grondstoffen
3	Redesign: herontwerp met het oog op circulariteit
4	Re-use: product hergebruik (tweedehands, delen van producten)
5	Repair: onderhoud en reparatie
6	Refurbish: product opknappen
7	Remanufacture: nieuwe producten maken van (onderdelen van) oude producten
8	Re-purpose: producthergebruik met ander doel
9	Recycle: verwerking en hergebruik materialen
10	Recover: energierterugwinning uit materialen

2.3 Neveneffecten van de Ladder van Lansink

In het Landelijk Afvalbeheerplan dat in 2003 werd gepubliceerd en daarna twee keer werd geactualiseerd neemt de Ladder van Lansink een belangrijke rol in. Het Landelijk Afvalbeheerplan is daarmee een zeer belangrijk en nuttig instrument om hoogwaardig hergebruik van afvalstoffen te stimuleren en af te dwingen.

Helaas zijn er in de loop der jaren enkele neveneffecten opgetreden waarbij de Ladder van Lansink minder effectief blijkt te werken met het oog op het realiseren van een circulaire economie. Dit komt niet zozeer door de opzet en de intenties van de Ladder van Lansink als wel de manier waarop in Nederland en Europa de Ladder van Lansink in het beleid is opgenomen en wordt toegepast. Deze paragraaf beschrijft drie nadelige neveneffecten die voortvloeien uit hoe de Ladder van Lansink geïmplementeerd is, namelijk:

- Het ondergewaardeerde nut van verwijdering in een circulaire economie;
- Onvoldoende oog voor werkelijke milieuwinst; en
- De knip tussen verwijdering en nuttige toepassing.

Deze drie nadelen zullen deels wegvallen in een volledige circulaire economie met uitsluitend volledig circulair ontworpen producten en waarbij deze producten bestaan uit volledig gerecyclede materialen. Deze ideale situatie hebben we nu nog niet bereikt. Zelfs wanneer de Nederlandse economie de circulaire economie steeds beter benadert, zullen deze drie effecten een risico vormen dat het doel van een 100% circulaire economie eerder verder weg brengen dan dichterbij.

⁴ *Circulaire economie van visie naar realisatie- Utrecht Sustainability Lab - 2015*

Voor de 10 niveaus van circulariteit treden deze neveneffecten eveneens op.

2.3.1 Het ondergewaardeerde nut van verwijdering in een circulaire economie

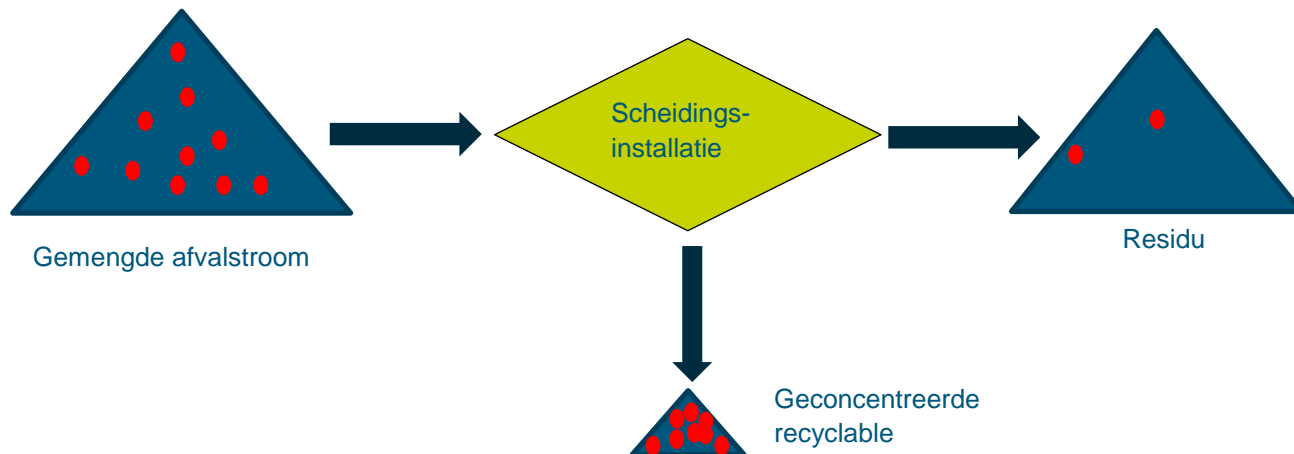
Het belangrijkste dogma in afvalbeleid is tot op de dag van vandaag dat verwijderen van afvalstoffen waar mogelijk moet worden voorkomen. Het ideale resultaat van afvalbeleid is dat verwijdering in het geheel niet plaatsvindt. Het beleid wordt daarmee als succesvoller beoordeeld als het volume afvalstoffen dat verwijderd wordt, daalt.

Bij het toetsen van beleid wordt vrijwel uitsluitend gekeken naar de prestaties van landen en gemeenten op basis van gewichtsprocenten. Deze gewichtsprocenten bepalen daarmee de rapportages aan de Tweede Kamer en de Nederlandse rapportages aan de Europese Unie en geven daarmee een vertekend beeld van de werkelijk behaalde milieuwinst en circulariteit. Materialen met een hoge milieuwinst per ton bij recycling zoals edel- en zware metalen wegen hierdoor minder zwaar in deze rapportages en hun substantiële milieuwinst wordt onderschat. Voorts krijgen deze materialen ook minder aandacht in beleidsvorming. Hoewel (een deel van) deze materialen al goed wordt gerecycled draagt een toename van het recyclingpercentage van deze materialen relatief zwaar mee.

Het beleid is dan weliswaar succesvoller als minder wordt verwijderd, maar gaat tegelijkertijd wel voorbij aan de neveneffecten.

Volledig scheiden van materialen is onmogelijk

Het volledig 100% scheiden van materialen is technisch onmogelijk in elk scheidingsproces. Dit geldt niet alleen voor fysische en chemische scheidingsprocessen, maar ook voor scheidingsprocessen die handmatig gedaan worden. Onderstaande figuur 2.4 geeft schematisch het proces van scheiding weer en laat daarbij ook zien dat geen enkele scheidingsstap perfect verloopt. Een perfecte scheiding wil in dat opzicht zeggen dat alle waardevolle deeltjes (rode bolletjes) vanuit de afvalstroom afgescheiden worden in het 'Geconcentreerde recycleable', waarbij er geen 'waardeloos' materiaal (blauw) terecht komt in diezelfde stroom. In een perfecte scheiding ontstaat dus een Geconcentreerde recycleable met daarin alle rode bolletjes uit de oorspronkelijke afvalstroom (100% terugwinningspercentage/recovery van waardevol materiaal) zonder blauw materiaal (zuiverheid/grade van 100%). In het geval het om een afvalstroom bestaande uit twee materialen gaat, leidt een perfecte scheiding tot twee zuivere fractie van die materialen.



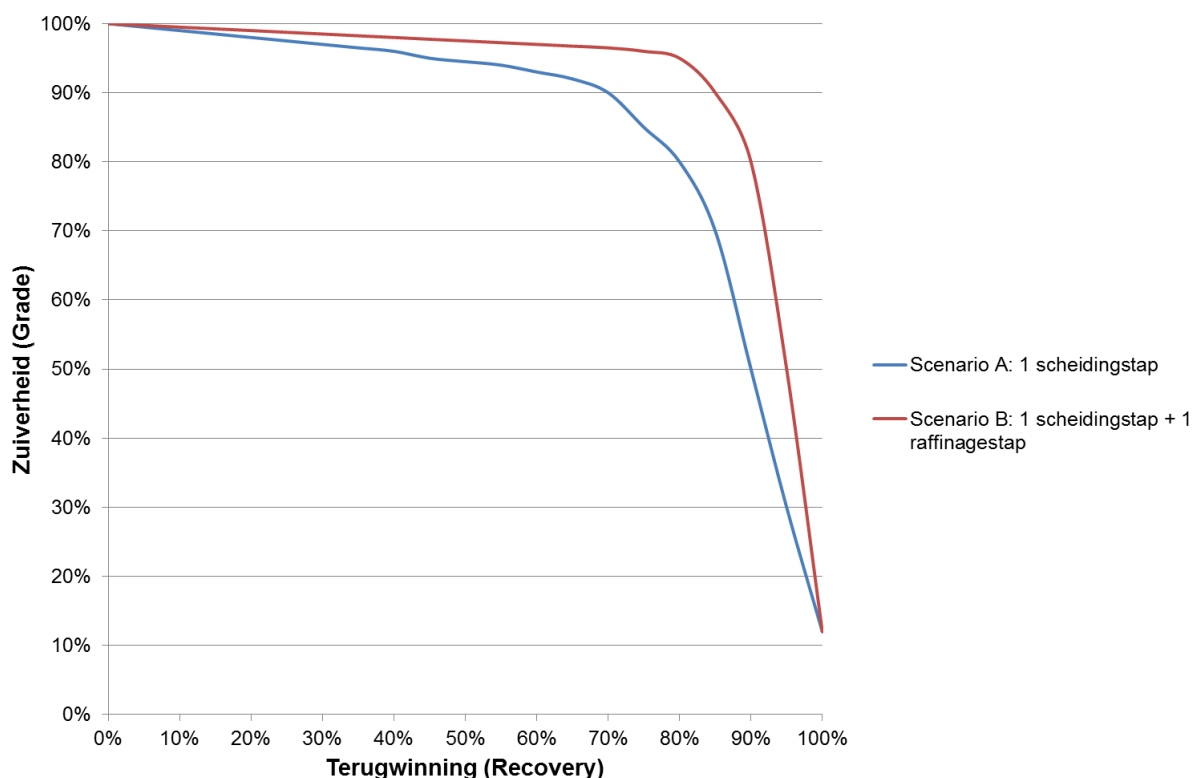
Figuur 2.4 Schematisch scheidingsproces

De zuiverheid waarmee gescheiden kan worden hangt af van de (materiaal)eigenschappen van de twee of meer materialen die gescheiden moeten worden uit de afvalstroom en hoe goed de scheidingstechniek daar op aansluit. Hoe goed een scheidingstechniek werkt is daarnaast ook afhankelijk van de instelling van de scheidingsapparatuur.

Stel dat een magneetscheider heel gevoelig wordt ingesteld op het afscheiden van ijzer. In dat geval belandt zelfs een tijdschrift met één enkel nietje in de gesorteerde fractie ijzer. Het terugwinningspercentage van het ijzer (het percentage ijzer dat je terugwint uit de 100% ijzer van de ingaande stroom) is dan bijna 100%, maar dit hoge terugwinningspercentage gaat ten koste van het percentage ijzer (zuiverheid) in de gesorteerde ijzerfractie, met als gevolg een erg lage de zuiverheid en een gesorteerde fractie die niet hoogwaardig her te gebruiken is.

De relatie tussen het terugwinningspercentage en de zuiverheid van de gescheiden fractie

Bovenstaand voorbeeld laat zien dat er een duidelijke relatie bestaat tussen het terugwinningspercentage en de zuiverheid van de gescheiden waardevolle fractie. Ze kunnen niet allebei tegelijk 100% zijn. In de grondstoffentechnologie wordt deze relatie de grade-/recovery curve genoemd. Figuur 2.5 geeft voor twee scenario's een dergelijke grade/recovery curve weer en laat voor deze twee scenario's zien wat de beperkingen zijn bij het scheiden van een afvalstof met een ingangconcentratie van 12%. In scenario 1 wordt één scheidingsstap toegepast en in scenario 2 één scheidingsstap gevolgd door een raffinage stap.

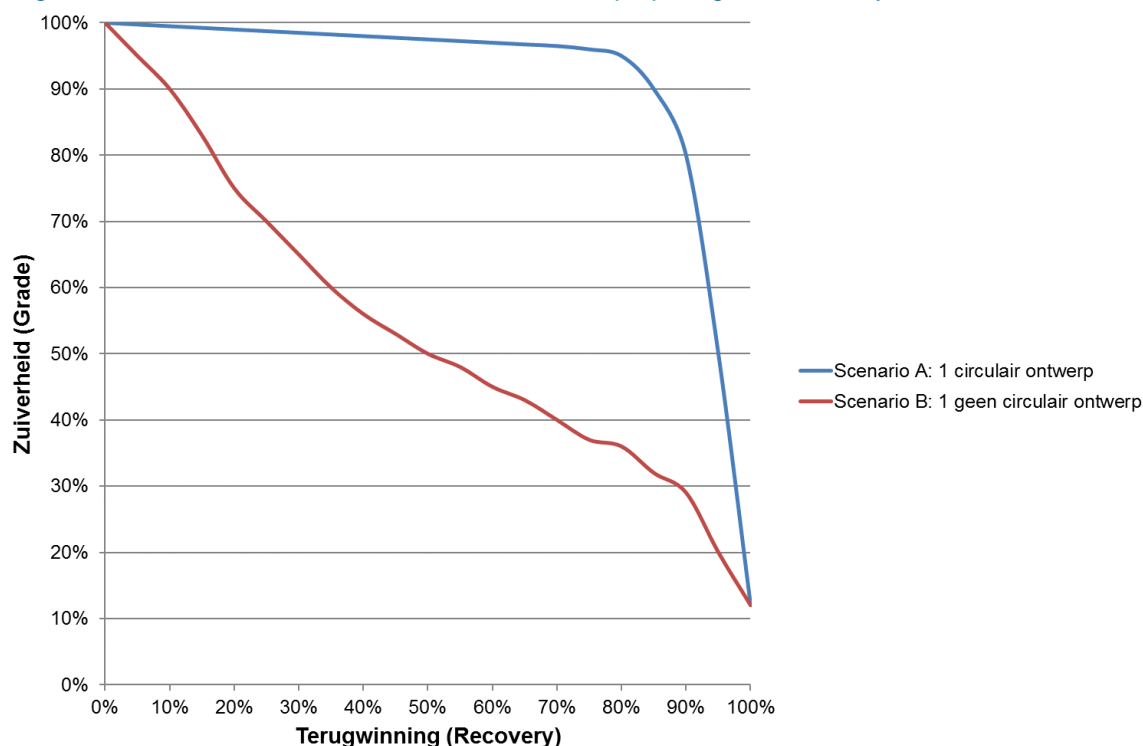


Figuur 2.5 Zuiverheid versus terugwinningspercentage afhankelijk van scheidingsproces

Het eerste wat opvalt is dat als volledige zuiverheid bereikt moet worden dat dan 0% terugwinning plaatsvindt. Als het doel daarentegen is dat de residufractie 0% mag bedragen, resulteert dit in geen enkele verbetering van de zuiverheid, er vindt dan geen scheiding plaats. Het sorteerbeidrijf moet dus een keuze maken tussen welk percentage waardevolle deeltjes verloren gaat in de restfractie en hoe hoogwaardig of zuiver de productfractie moet worden/zijn.

Verder geeft de figuur aan dat door scheidingstechnieken te combineren hogere combinaties van grade en recovery mogelijk zijn; dus een zuiverder product met minder verliezen aan waardevolle materialen in de restfractie, maar wel tegen hogere sorteerkosten. Dit geldt ook voor betere of geavanceerdere technieken. Die zorgen ervoor dat iets minder concessies gedaan hoeven te worden. Maar dit laat niet verlet dat het theoretisch onmogelijk is om rechtsboven (100% grade en 100% recovery) in de figuur te belanden met welke scheidingstechniek dan ook.

De invloed van het ontwerp op het terugwinningspercentage en de zuiverheid van de gescheiden fractie
De relatie tussen terugwinningspercentage en de zuiverheid van een gescheiden fractie wordt niet alleen beïnvloed door het ontwerp van de scheidingsinstallatie, maar ook door het ontwerp van het (kunst)werk waaruit de materialen gescheiden moeten worden. Hoe beter het (kunst)werk circulair ontworpen is, des te beter zijn de materialen weer te scheiden/sorteren. Het ontwerp van een (kunst)werk of product beïnvloedt daarom direct de mogelijkheden voor hoogwaardige recycling door het recyclingbedrijf. Figuur 2.6 geeft het effect weer van een niet circulair ontwerp op de grade/recovery curve.



Figuur 2.6 Zuiverheid versus terugwinningspercentage afhankelijk van het ontwerp

Financiële afweging sorteerb企业

De keuze voor een sorteerb企业 voor het instellen van individuele scheidingsapparaten en het configureren van de hele scheidingsinstallatie wordt grotendeels bepaald door de opbrengsten voor secundaire grondstoffen in combinatie met de beschikbare technieken en Nederlands afvalbeleid. Uiteindelijk wordt de keus die het sorteerb企业 maakt voor de optimale instellingen, overwegend bepaald door de opbrengst van het sorteerproces. Hierbij gaat het niet alleen om de opbrengsten van het gesorteerde materiaal (welke o.a. afhankelijk is van de zuiverheid), maar ook om de opbrengsten en kosten voor residustromen die uit het sorteerproces komen en uiteraard de sorteerkosten zelf.

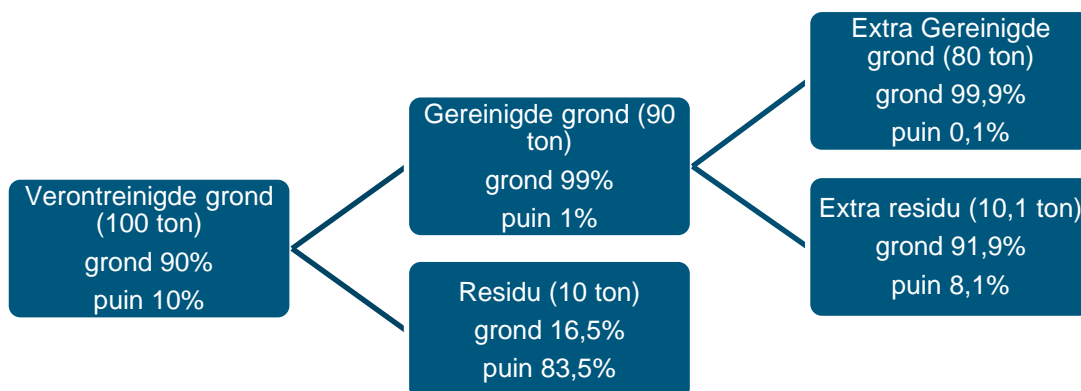
De kosten voor residustromen zijn mede door beleid om recycling te stimuleren vaak hoog. Een vervelend bijgevolg hiervan is soms dat de sorteerder de afweging moet maken tussen een zuiverdere recyclebare of

minder afvoerkosten voor de residustroom. Dit dilemma remt soms hoogwaardige recycling omdat het dan financieel onaantrekkelijk is een hoge zuiverheid na te streven voor een gesorteerde recyclebare.

Verlies van grondstoffen moet geaccepteerd worden

Het is dus onvermijdelijk dat een residustroom geaccepteerd moet worden met een verlies aan waardevol materiaal en figuur 2.5 en 2.6 laten tevens zien dat als je te scherp stuurt op maximale terugwinning dat dit ten koste van de zuiverheid en hoogwaardigheid van het product na scheiding gaat.

Bij elk zuiveringsproces van een grondstof/afvalstof is dus de verwijdering van een fractie (spuistroom) technisch onvermijdelijk. Zonder deze spuistroom is het niet mogelijk om de kwaliteit van een grondstof te verbeteren en daarmee hoogwaardige grondstoffen te produceren. Figuur 2.7 geeft een voorbeeld van hoe een scheidingsproces loopt. Als de doelstelling is grond te reinigen tot maximaal 1% puin levert dit voor 100 ton verontreinigde grond 10 ton residu op. Als de doelstelling is grond te reinigen tot maximaal 0,1% levert dit voor 100 ton verontreinigde grond 20,1 ton residu op.



Figuur 2.7 Zuiverheid versus terugwinningspercentage

De residustromen kunnen natuurlijk weer opnieuw naar een scheidingsproces gaan, maar dit wordt zowel economisch als technisch steeds minder aantrekkelijk. Economisch omdat veel meer moeite gedaan moet worden voor een kleiner volume terug te winnen waardevol materiaal en technisch omdat het eenvoudig sorteerbare deel al teruggewonnen is.

Dit alles resulteert in het dilemma tussen kwaliteit (zuiverheid product) en kwantiteit (mate van terugwinning van waardevol materiaal). Hoogwaardige zuivere grondstoffen zijn juist noodzakelijk om een product te ontwerpen met materialen die niet alleen de eerste levenscyclus kunnen doorlopen, maar waarvan de kwaliteit van de onderdelen en/of materialen voldoende is om vanuit een circulair ontwerp ook elke volgende levenscyclus te kunnen doorlopen.

De huidige voorkeur van overheden om vooral maximaal (laagwaardig) her te gebruiken en zo min mogelijk restafval te verwijderen, zorgt er dus voor dat allerlei materialen in een middelmatige kwaliteit worden gerecycled en vervolgens laagwaardig worden toegepast/gebruikt. Dat is korte termijn winst met een hoog percentage recycling, maar resulteert uiteindelijk in een lager percentage recycling op de lange termijn omdat op termijn voor veel materialen in hun volgende levenscyclus onvoldoende toepassingen beschikbaar zullen zijn. Voor bouwgrondstoffen die als ophoogmateriaal en fundering worden toegepast

tekent zich deze situatie van een overschot aan secundaire grondstoffen voor deze laagwaardige toepassingen op termijn af.

Het beëindigen van het dogma op verwijdering mag natuurlijk geen vrijbrief zijn om veel (of klakkeloos) afvalstoffen te verwijderen, maar wel een rehabilitatie van de nuttige rol die het verwijderen van sommige afvalstoffen kan vervullen voor stoffen die hoogwaardig (circulair) hergebruik van andere afvalstoffen in de weg staan. Thermisch verwerken en storten zijn daarmee onontbeerlijk om op te schuiven naar een samenleving waarbij alle grondstoffen maximaal worden hergebruikt.

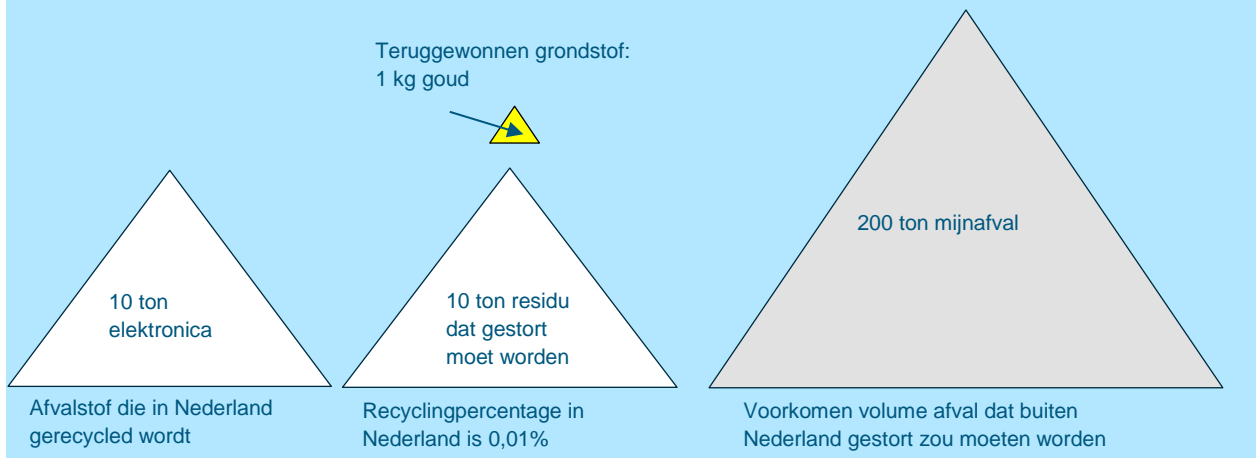
Hoewel AVI-bodemas niet circulair is, maakt dit dossier de nuttige rol van verwijderen wel goed inzichtelijk. Via de recente Greendeal AEC-bodemas mag uit bewerkte AVI-bodemas maximaal 15% gestort worden. Door onder andere de fractie kleiner dan 63 µm grotendeels te verwijderen wordt het AVI-bodemas een vrij toepasbare bouwstof, die met veel minder milieurisico kan worden toegepast en waarschijnlijk ook beter geschikt is voor recycling in de volgende gebruikscyclus. Of het echt beter geschikt is voor recycling zal pas blijken als AVI-bodemas over 20 jaar uit een werk komt.

2.3.2 Onvoldoende oog voor werkelijke milieuwinst

De afhankelijkheid van schaarste van grondstoffen wordt echter niet louter bepaald door gewichtspercenten. De milieuwinst van een ton gerecycled aluminium is veel groter dan de milieuwinst van een ton vulzand of menggranulaat dat door immobilisaat wordt vervangen. Toch geeft het beleid en de monitoring naar de effectiviteit van het afvalbeleid maar beperkt aandacht aan dit enorme verschil in milieuwinst. In de gerapporteerde percentages recycling wegen alle tonnen even zwaar.

Hierdoor lag aanvankelijk de prioriteit voor recycling bij het beleid bij de bulkstromen. Het resultaat daarvan was onvoldoende oog voor werkelijke milieuwinst en een markt die gestuurd werd door laagwaardige afvalverwerking waarbij door het samenvoegen van verschillende kwaliteiten veel kwaliteit en hoogwaardigheid verloren gaat. Hoewel de focus nu ook is komen te liggen op schaarsere materialen met een hogere milieu-impact bepaalt het hergebruik in tonnen nog altijd hoofdzakelijk het beleid.

Het gaat ook tegen je gevoel in om een deel van een afvalstroom te moeten storten als je een waardevol deel terugwint. Dat komt omdat alleen naar de effecten binnen Nederland gekeken wordt. Goud dat in Zuid Afrika gewonnen is, veroorzaakt per kilogram meer dan 200 ton mijnafval. Het hergebruik van 1 kilogram goud in Nederland voorkomt daarmee 200 ton afval in Zuid Afrika. Als voor het terugwinnen van datzelfde goud in Nederland 10 ton afval gestort zouden moeten worden omdat uit deze afvalstroom niets meer teruggewonnen kan worden, is eigenlijk sprake van een enorme milieuwinst. Terwijl in Nederland het beeld ontstaat dat maar 1 kilogram van ruim 10 ton gerecycled is. Bijna 0% recycling. Goud is hierbij wel een extreem voorbeeld, maar dit effect speelt bij veel materialen.



2.3.3 De knip tussen verwijdering en nuttige toepassing

In Europa werd in de Kaderrichtlijn Afvalstoffen⁵ al in 1975 een knip gezet op verwijdering (Disposal) en nuttige toepassing (Recovery). Het duurde tot 1996 totdat een bijlage aan de Kaderrichtlijn werd toegevoegd die verduidelijkte wat het verschil tussen verwijdering en nuttig toepassing is.

Door de benaming van nuttige toepassing werd onvoldoende aandacht besteed aan de verschillen in hoogwaardigheid van die nuttige toepassing. Tot op de dag van vandaag wordt relatief weinig onderscheid gemaakt voor de milieuwinst van verschillende recyclingopties. Hiermee heeft het beleid het oorspronkelijke doel van de Ladder van Lansink uit het oog verloren, namelijk het verbeteren van afvalbeheer en verminderen van de afhankelijkheid van primaire grondstoffen.

De situatie is in LAP3 dat eind 2017 gepubliceerd verbeterd. Er wordt gesproken van 4 vormen van recycling⁶, namelijk:

1. recycling van het oorspronkelijke functionele materiaal in een gelijke of vergelijkbare toepassing;
2. recycling van het oorspronkelijke functionele materiaal in een niet gelijke of vergelijkbare toepassing;
3. chemische recycling;
en in aanvulling op deze drie ook nog
4. voorkeursrecycling.

Voorkeursrecycling betekent dat de recyclingtechniek die het meest aan de circulaire economie bijdraagt de voorkeur heeft.

⁵ Richtlijn 75/442/EEG

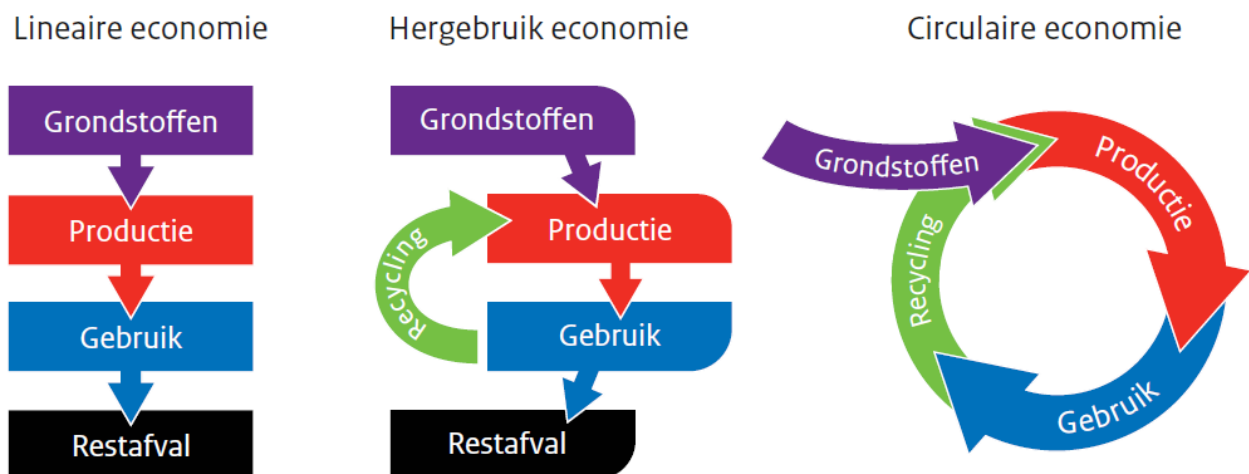
⁶ Landelijk Afvalbeheerplan 3 – Paragraaf B.9.2

2.4 Standaardisatie van materialen, onderdelen en ontwerpen

De mogelijkheden voor hergebruik en/of recycling van materialen hangen in belangrijke mate af van het ontwerp en de materiaalkeuze. Hoe meer gestandaardiseerd de onderdelen en/of materialen van werken des te beter de mogelijkheden voor direct hergebruik van een materiaal. Hoe minder verschillende materialen des te beter de mogelijkheden voor recycling. De maatschappelijke tendens is echter een nog steeds een verder uitdijend universum aan verschillende materialen en een groeiend aandeel in ontwerpen van toepassingen waarbij materialen verlijmd of in elkaar gegoten worden. Deze tendens buiten de niche van circulair ontwerpen staat haaks op circulaire ambities, want het zorgt er juist voor dat het bereiken van een circulaire economie steeds verder van ons afdrijft. Eigenlijk zouden we terug moeten naar een 'legoblokjessamenleving' waarbij onderdelen eenvoudig zijn her te gebruiken of om te smelten/vormen in een blokje met een andere vorm van hetzelfde materiaal.

2.5 De grenzen van een circulaire economie

De circulaire economie heeft als einddoel om geen afvalstoffen meer te produceren. Figuur 2.6 uit het Rijksbreed Programma Circulaire Economie⁷ geeft de materialenketens weer voor drie typen grondstoffeneconomie, namelijk: een lineaire economie, een hergebruik economie en een circulaire economie.



Figuur 2.6 Van een lineaire naar een circulaire economie

Lineaire economie

Hoewel momenteel het beeld bestaat dat we uit een menselijke samenleving met een lineaire economie komen, is dit beeld niet juist. Elke menselijke samenleving is een hergebruik economie. Uitsluitend éénmalig gebruik van grondstoffen in een lineaire economie heeft nooit plaatsgevonden. (Edel)metalen, grond, akkers, graslanden, mest, talloze (grond)stoffen werden en worden vrijwel altijd keer op keer hergebruikt.

Circulaire economie

Een circulaire economie wordt door de Ellen MacArthur Foundation⁸ als volgt gedefinieerd: *A circular economy is one that is restorative and regenerative by design and aims to keep products, components, and materials at their highest utility and value at all times, distinguishing between technical and biological cycles.* (Vrij vertaald: Een circulaire economie is een economie die zichzelf herstelt en regenerereert door

⁷ Rijksbreed programma Circulaire Economie – Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat - 2016

⁸ Ellen MacArthur Foundation - Towards a circular economy: Business Rationale for an accelerated transition - 2015

zich te allen tijde te richten op het ontwerpen van producten, onderdelen en materialen die de maximale mogelijkheden en waarde nastreven en waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen een technische en biologische recyclingketen.)

Ook een menselijke samenleving met circulaire economie heeft nooit bestaan. Zelfs in de steentijd waren grondstoffen als vuursteen niet volledig her te gebruiken. Toch was de economie in de steentijd nagenoeg circulair. Ook toekomstige menselijke samenlevingen zullen nooit volledig circulair worden, vanwege het simpele feit dat door gebruik en recycling materiaal- en kwaliteitsverlies optreedt.

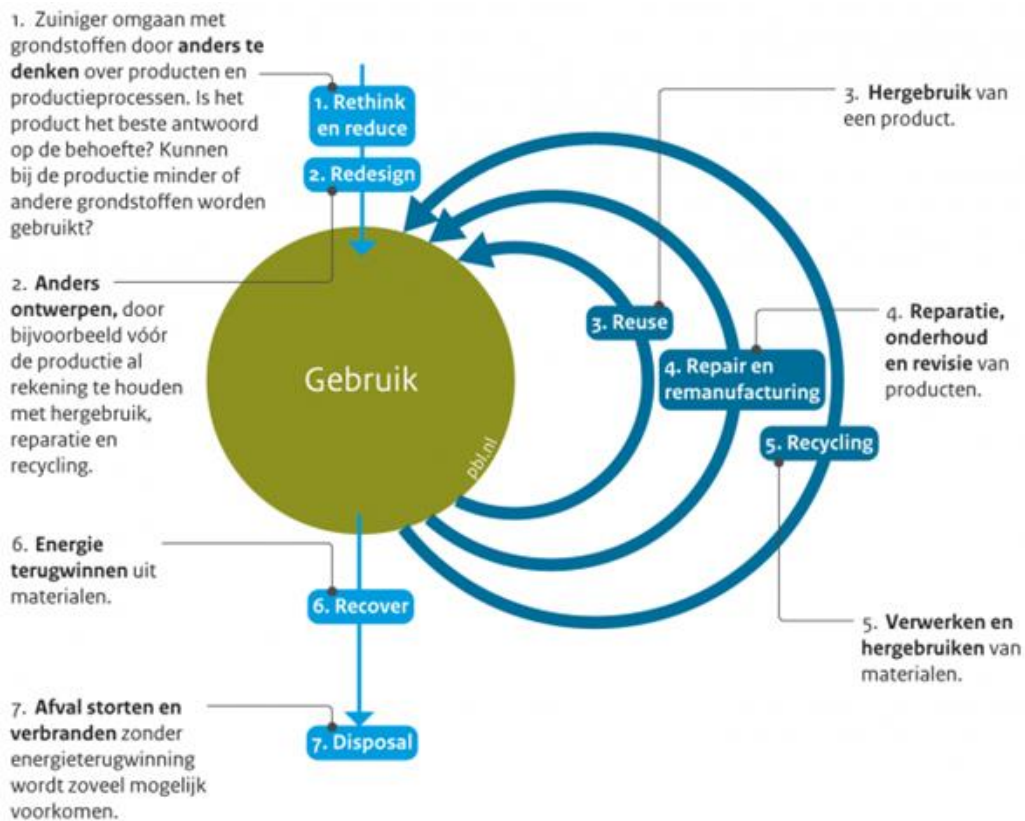
Hergebruik economie

Menselijke samenlevingen zijn dus eigenlijk altijd hergebruik economieën geweest. De mate waarin door de eeuwen heen hergebruik in deze samenlevingen plaatsvond, was wel aan grote wijzigingen onderhevig. De mate waarin grondstoffen worden hergebruikt, is door de industrialisatie door de eeuwen steeds verder gedaald. Het dieptepunt voor Nederland lag hierbij waarschijnlijk in begin jaren '80 van de vorige eeuw, maar zelfs op het dieptepunt werden puin, papier, metalen en vele andere materialen voor een groot deel gerecycled. De komst van nieuw afvalbeleid zorgde ervoor dat hergebruik weer ging toenemen.

Waar in de afgelopen 20 jaar de focus voor de hergebruik economie lag in het milieuvriendelijk verwerken en nuttig toepassen van afvalstoffen, ligt in de ons voorliggende periode de focus op het minimaliseren van de inzet van nieuwe primaire grondstoffen en dus materialen zo hoogwaardig mogelijk her te gebruiken in een volgende en daarop volgende levenscyclus.

De circulaire economie is hierbij de stip op de horizon die nagestreefd zou moeten worden. Deze stip op de horizon is geen realistisch eindpunt, omdat er beperkingen gelden voor wat daadwerkelijk mogelijk is; er gelden fysische en technische grenzen die verlies van materiaal en kwaliteit onvermijdelijk maken. Dit betekent echter niet dat de circulaire economie niet nagestreefd zou moeten worden.

Onderstaande figuur 2.7 van het planbureau van de Leefomgeving geeft vereenvoudigd beeld van die circulaire economie.



Figuur 2.7 Een circulaire economie is dan recycling⁹

Producten en materialen worden zo lang mogelijk en zo hoogwaardig mogelijk in de keten gebruikt. Afval storten en verbranden moet zoveel mogelijk worden voorkomen, maar mag niet gaan ten koste van de hoogwaardigheid van hergebruik van materialen. De mogelijkheden voor recycling, repair en reuse moeten uitgangspunten zijn bij het ontwerpen van producten. Deze voorwaardelijkheid is nu nog voor een substantieel van de producenten veel te vrijblijvend.

2.6 Circulariteit heeft tijd nodig

Hoe worden de keuzes gemaakt die invloed hebben op de circulariteit van toegepaste materialen? Onderstaande opsomming geeft de invloedsfactoren die bepalen op welke wijze een materiaal wordt ingepast in een ontwerp en hoe dit materiaal uiteindelijk weer wordt verwijderd uit een werk:

1. Voldoen aan wet- en regelgeving;
2. Functionele eisen aan het ontwerp;
3. Planning;
4. Kosten;
5. Draagvlak omgeving;
6. Beheeraspecten en levensduur;
7. Impact op het milieu;
8. Impact op de natuur;
9. Uitputting grondstoffen.

⁹ <http://www.pbl.nl/infographic/een-circulaire-economie-is-meer-dan-recycling>

Bovenstaande volgorde is niet willekeurig maar volgt grofweg de mate van doorslaggevendheid bij de keuzes bij de selectie van een materiaal voor het ontwerp. De beschikbare tijd voor planning speelt hierbij een cruciale rol. Een circulaire economie heeft een ontwerp nodig waarbij over toekomstige consequenties wordt nagedacht. Dit kost tijd. Een sloopbestek waarbij het maximale uit de vrijkomende grondstoffen wordt teruggewonnen vereist aandacht voor verschillen in materialen in het sloopproces. Ook dit heeft tijd nodig.

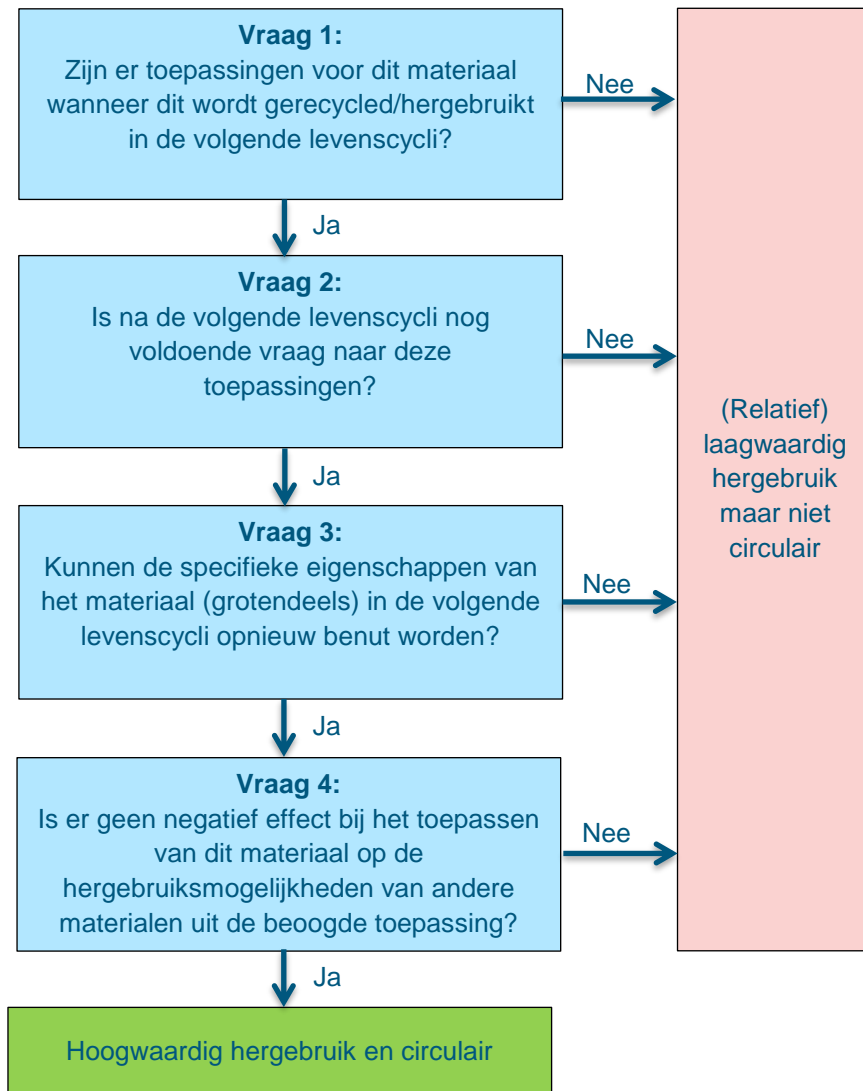
Door ambitie van opdrachtgevers om een zo kort mogelijke doorlooptijd na te streven, kan de tijd vaak niet genomen worden om circulair te kunnen denken en uitvoeren. Deze extra tijd aan de voorkant kost weliswaar extra geld, maar kan toekomstige kosten besparen in het beheer en onderhoud of tijdens het ontmantelen/slopen.

2.7 De valkuil van volledig hergebruik

In een volledig circulaire samenleving worden alle grondstoffen eindelijk hergebruikt voor nieuwe toepassingen zonder dat kwaliteitsverlies van grondstoffen optreedt. Deze voorwaarde inzake kwaliteitsverlies is bepalend om een volledig circulaire samenleving te verkrijgen. Het betekent namelijk dat als in een samenleving alle afvalstoffen worden hergebruikt, het niet automatisch betekent dat deze samenleving dan ook circulair is.

Volledig hergebruik zonder oog voor kwaliteitsbehoud (door (te veel) laagwaardig hergebruik) zal toekomstig hoogwaardig hergebruik ondermijnen en is daarmee niet circulair en zal het nastreven van een circulaire economie tegenwerken. Om te voorkomen dat volledig hergebruik nu niet leidt tot beperkingen voor een meer circulaire economie in de toekomst, is het verstandig de vier vragen uit figuur 2.8 te stellen bij het selecteren van grondstoffen voor een materiaal in een toepassing.

Specifieke eigenschappen als bedoeld in vraag 3 betreffen bijvoorbeeld de eigenschappen als bindmiddel van cement, isolatiewaarde van EPS of geleidbaarheid van koper. Wanneer de specifieke eigenschappen niet meer worden gebruikt, wordt een materiaal vaak alleen nog gebruikt als vulmiddel, fundering of ophoogmateriaal. Dit zijn allemaal nuttige toepassingen, maar het risico is groot dat het aanbod voor deze materialen in een circulair wordende economie op termijn groter wordt dan de vraag. Dit zal dan resulteren in het ondoelmatig toepassen van bouwgrondstoffen of zelfs het verwijderen ervan.



Figuur 2.8 Toets hoogwaardig hergebruik

Hoogwaardige recycling

Als alle vier vragen moeten met ja worden beantwoord kan gesproken worden van circulair hergebruik van een materiaal en is sprake van hoogwaardige recycling. De bouwgrondstof kan dan aan het einde van elke levenscyclus van het werk worden hergebruikt/gerecycled en er is tevens voldoende vraag naar de bouwgrondstof die kan worden opgewerkt na het sloopproces. De kwaliteit waarin de bouwstof wordt gerecycled moet zodanig zijn dat de kwaliteit voldoende blijft om cyclus na cyclus voldoende te zijn om de vraag te garanderen.

Daarnaast heeft het gebruik van de bouwgrondstof geen negatief effect op het hergebruik van andere materialen uit het werk. Kortom, dan is sprake van een circulaire bouwgrondstof en dus een materiaal dat hoogwaardig wordt hergebruikt.

Laagwaardige recycling

Als één of meer van de vier vragen met 'Nee' wordt beantwoordt, is sprake van laagwaardige recycling die niet bijdraagt aan de circulaire economie, maar die wel onze huidige afvalproblemen oplossen. Het risico van laagwaardige recycling is dat de bouwgrondstoffen na één cyclus alsnog al dan niet gedeeltelijk moeten worden afgevoerd naar een stortplaats of in een nog laagwaardigere toepassing belanden. Als grote hoeveelheden bouwstoffen laagwaardig worden toegepast, veroorzaakt dit een overschot aan laagwaardige bouwgrondstoffen. Dit zal uiteindelijk resulteren in substantiële ongewenste effecten als grote hoeveelheden bouwgrondstoffen die op papier herbruikbaar zijn, maar waarnaar geen vraag is.

Als alleen vraag 3 negatief wordt beantwoordt en de beoogde toepassing de enige toepassing van een materiaal is, kan de vraag gesteld worden in hoeverre het wenselijk is het materiaal in de keten van de circulaire economie te houden. Het kan dan afhankelijk van de impact beter zijn een materiaal niet her te gebruiken, maar te verwijderen uit de keten door verbranden of storten.

2.8 De keerzijde van ambitieuze doelstellingen: verdringing

De keerzijde van ambitieuze doelstellingen is dat in de vrije markt economie verdringing optreedt. Als Rijkswaterstaat besluit een bepaalde bouwgrondstof niet meer toe te passen omdat deze niet-circulair is, maakt dit het voor andere opdrachtgevers in de GWW juist aantrekkelijk om deze bouwgrondstof (in eigen of andere werken) te gebruiken. De ambitie van Rijkswaterstaat resulteert in een afname van vraag en daarmee een afname van de kosten voor de secundaire bouwgrondstof. Andere afnemers met minder kennis of circulaire ambitie zullen deze stromen vaker gaan toepassen. Het beleid stuurt er namelijk op om het verwijderen van afvalstoffen zoveel mogelijk te voorkomen. Wat erin resulteert, dat sommige secundaire bouwgrondstoffen, in plaats van in een beperkt aantal grote RWS-werken terecht te komen, in talloze kleine lokale werken terecht komen.

Gemeenschappelijk beleid bij overheden bij de keuze van bouwgrondstoffen en het afwegen van risico's daarvoor zou hierbij verstandig zijn.

3 Bouwgrondstoffen bij Rijkswaterstaat

Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor het beheer van het hoofdwegennet, hoofdvaarwegennet en hoofdwatersysteem. Om deze netwerken en het systeem optimaal te laten functioneren is een brede range aan infrastructurele (kunst)werken nodig. Dit zijn bijvoorbeeld, wegen, bruggen, taluds, kaden, dijken, kanalen, kribben en sluisen. Bij de realisatie van deze (kunst)werken worden grote hoeveelheden bouwgrondstoffen gebruikt.

3.1 Type bouw(grond)grondstoffen

De belangrijkste bouwgrondstoffen voor deze werken zijn in de volgende vijf categorieën op te delen:

- a. Primaire bouwgrondstoffen;
- b. Secundaire bouwgrondstoffen uit recyclingprocessen;
- c. Secundaire bouwgrondstoffen uit productieprocessen voor grondstoffen;
- d. Bouwgrondstoffen bestaande uit mengsels van grondstoffen;
- e. Toeslagstoffen in bouwgrondstoffen voor composieten.

Primaire bouwgrondstoffen zijn bouwgrondstoffen die gemaakt worden uit één of meerdere grondstoffen die direct in de natuur gewonnen worden. Een circulaire economie streeft erna om deze grondstoffen zo min mogelijk te gebruiken. Uiteraard kunnen deze zelfde bouwgrondstoffen wel worden hergebruikt binnen de circulaire economie.

Secundaire bouwgrondstoffen uit recyclingprocessen betreffen bouwgrondstoffen die resulteren uit een scheidings- of reinigingsproces. Bij deze bouwgrondstoffen is een stabiele kwaliteit voor grote partijen of langere productieperioden soms lastig.

Secundaire bouwgrondstoffen uit productieprocessen voor grondstoffen zijn vrijwel uitsluitend bouwgrondstoffen uit thermische productieprocessen waarbij slakken en of assen vrijkomen. De kwaliteit van deze bouwgrondstoffen is vrij stabiel, maar sommige van deze bouwgrondstoffen bevatten wel teveel milieuhygiënisch kritische stoffen.

Bouwgrondstoffen bestaande uit mengsels van grondstoffen zijn bijvoorbeeld beton en asfalt. Het is bij deze bouwgrondstoffen niet altijd mogelijk/gewenst om de componenten weer te scheiden en los van elkaar te recyclen.

Toeslagstoffen in bouwgrondstoffen voor composieten zijn de stoffen die in bovenstaande mengsels worden toegepast.

Hieronder worden per categorie de belangrijkste bouwgrondstoffen weergegeven:

a) Primaire bouwgrondstoffen:

- | | |
|--------------|------------|
| ● Baksteen | ● Grind |
| ● Basalt | ● Grond* |
| ● Breuksteen | ● Hout |
| ● EPS | ● Landzand |
| ● Geotextiel | ● Staal |
| ● Graniet | ● Zeezand |

b) Secundaire bouwgrondstoffen uit recyclingprocessen:

- AVI-bodemassas
- AVI-vliegas
- Baggerspecie*
- ECO filler
- ECO granulaat
- ECO zand
- Immobilisaat
- Menggranulaat*
- Brekerzeefzand*
- Nat extractief gereinigde grond
- Thermisch Gereinigde Grond (TGG)
- Zand uit baggerspecie*

c) Secundaire bouwgrondstoffen uit productieprocessen voor grondstoffen:

- E-bodemassas
- ELO-staalslak
- Fosforslakken
- Hoogovenslakken
- Koperslakken
- LD-staalslakken
- Loodslakken
- Mijnsteen
- Zinkassen

d) Bouwgrondstoffen bestaande uit mengsels:

- Asfalt*
- Beton*
- Cellenbeton*
- Metselwerk*
- Schuimbeton*

e) Toeslagstoffen voor mengsels in bouwgrondstoffen:

- Betonijzer
- Bitumen
- Cement
- Composietvezels
- E-vliegas
- Lignine

* De bouwgrondstoffen grond, baggerspecie, asfalt, beton en metselwerk zullen in dit hoofdstuk niet worden behandeld omdat voor deze bouwgrondstoffen al andere onderzoekstrajecten bij Rijkswaterstaat lopen.

3.2 Bouw(grond)grondstoffen in het hoofdwegennet

Het Nederlandse hoofdwegennet bestaat uit een netwerk van autosnelwegen (A-wegen) en autowegen (N-wegen) die in beheer zijn bij Rijkswaterstaat en die van nationaal belang zijn. Rijkswaterstaat heeft niet alleen het wegdek in beheer, maar ook de kunstwerken andere voorzieningen en bermen. In het Hoofdwegennet beheert Rijkswaterstaat onder meer¹⁰:

- Viaducten: 2.760
- Bruggen: 746
- Tunnels: 22
- Aquaducten: 12
- Ecoducten: 25
- Grasberm: circa 145 km²
- Verzorgings- en carpoolplaatsen: 349
- Geluidwerende voorzieningen: circa 860 km
- Verlichting (armaturen aan masten): 89.837 stuks
- Verkeersborden: 55.686 stuks
- Vangrails: 7.409 kilometer
- A- en N-wegen: 5.500 km
- Verhardingsareaal: 88,9 km²
- Verkeerscentrales: 6
- Verkeerssignalering: 2.586 km
- Camera's: 575 stuks
- Dynamische routeinformatiepanelen: 119 stuks.

In deze infrastructuur zijn grote hoeveelheden bouwgrondstoffen toegepast. De toegepaste bouwgrondstoffen betreffen niet alleen de bouwgrondstoffen die tegenwoordig worden gebruikt, maar betreffen de bouwgrondstoffen die gangbaar waren ten tijde van de realisatie van de wegen, kunstwerken en andere voorzieningen. Hoewel het grootste deel van het hoofdwegennet de laatste 50 jaar is gerealiseerd of gerenoveerd is. Gaat de historie voor een deel van de taluds, funderingen en andere objecten verder terug in de tijd.

3.3 Bouw(grond)grondstoffen in het hoofdvaarwegennet

Het Nederlandse hoofdvaarwegennet bestaat uit een netwerk van vaarwegen en vaargeulen die in beheer zijn bij Rijkswaterstaat en die van nationaal belang zijn. De vaarwegen betreffen de grote rivieren en belangrijkste kanalen. De vaargeulen bevinden zich op de Noordzee, de Waddenzee, de Delta en het IJsselmeer inclusief aangrenzende meren. In totaal beheert Rijkswaterstaat¹¹:

Bodems

¹⁰ Algemene Rekenkamer - Instandhouding hoofdwegennet - 2014

¹¹ Algemene Rekenkamer - Instandhouding hoofdvaarwegennet - 2015

- Vaargeulbodems: 801 km²
- Ankergebiedbodems: 451 km²
- Wingebiedbodems: 440 km²
- Bodems overig, inclusief BES-eilanden: 62.955 km²

Oevers

- Gestrekte (haven)oevers: 2.605 km
- Kribben: 6.435
- Kribvakken: 764 km
- Strek- en leidammen: 392 km

Kunstwerken

- Schutsluiskolken: 131
- Beweegbare bruggen: 119
- Vaste bruggen: 197
- Afmeervoorzieningen: 9.057

In deze infrastructuur zijn grote hoeveelheden bouwgrondstoffen toegepast. De toegepaste bouwgrondstoffen betreffen niet alleen de bouwgrondstoffen die tegenwoordig worden gebruikt, maar ook de bouwgrondstoffen die gangbaar waren ten tijde van de realisatie van de wegen, kunstwerken en andere voorzieningen. Hoewel het grootste deel van het hoofdvaarwegennet de laatste 50 jaar is gerealiseerd of gerenoveerd is, gaat de historie voor een deel van de kribben, sluzen en andere objecten verder terug in de tijd.

3.4 Bouw(grond)grondstoffen in het hoofwatersysteem

Het Nederlandse hoofdvaarwatersysteem bestaat uit het oppervlaktewater van de Noordzee, Waddenzee, IJsselmeer, Markermeer en de randmeren exclusief de vaargeulen en de (kunst)werken die het achterland beschermen tegen dit oppervlaktewater. Dit oppervlaktewater en (kunst)werken zijn van nationaal belang en zijn in beheer bij Rijkswaterstaat. In totaal beheert Rijkswaterstaat¹²:

- Oppervlaktewater: 90.310 km²
- Duinen: 35 km
- Dijken en dammen: 201 km
- Stuwen: 10
- Stormvloedkeringen: 5
- Afsluitdijk
- Houtribdijk

In een deel van deze infrastructuur zijn grote hoeveelheden bouwgrondstoffen toegepast. De toegepaste bouwgrondstoffen betreffen niet alleen de bouwgrondstoffen die tegenwoordig worden gebruikt, maar betreffen de bouwgrondstoffen die gangbaar waren ten tijde van de realisatie van de wegen, kunstwerken

¹² Algemene Rekenkamer - Instandhouding hoofwatersysteem - 2016

en andere voorzieningen. Hoewel het grootste deel van het hoofwatersysteem de laatste 100 jaar is gerealiseerd of gerenoveerd is, gaat de historie voor een deel van de dijken en andere objecten verder terug in de tijd.

3.5 Registratie gebruik bouwstoffen bij Rijkswaterstaat

Rijkswaterstaat heeft veel verschillende Beheers Management Systemen (BMS) in gebruik, zoals bijvoorbeeld DISK (Data Informatie Systeem Kunstwerken) specifiek voor kunstwerken. Weg- en waterbeheerders gebruiken weer andere BMS'en. Er wordt momenteel gewerkt aan een integratie van deze verschillende systemen in een nieuwe applicatie, genaamd AIR (Areaal Informatie Rijkswaterstaat), de verwachting is AIR in 2020 integraal in gebruik te kunnen nemen. Daar wordt registratie van allerlei gegevens over werken, werkzaamheden en diensten geregistreerd. Het landelijk registeren van de hoeveelheden gebruikte bouwgrondstoffen heeft bij Rijkswaterstaat niet veel prioriteit gehad. AIR bevat informatie over hoeveelheden, maar is daar niet specifiek voor ontworpen en het detail niveau van informatie laat te wensen over voor de functionele informatiebehoefte voor het Circulair sturen op hoogwaardig hergebruik van toegepaste en toe te passen materialen.

De enige uitzondering hierop is de periode 1989 -2003 voor het toepassen van secundaire bouwgrondstoffen en hergebruik van bouwgrondstoffen uit eigen werken. Deze monitoring was het resultaat van het beleid dat voortvloeide uit het Structuurschema Oppervlakedelfstoffen (SOD) waarin het toepassen van secundaire bouwgrondstoffen werd gestimuleerd. Tijdens de procedure bij de totstandkoming van het Structuurschema Oppervlakedelfstoffen (SOD II) besloot het kabinet haar landelijke regierol op dit beleidsveld af te bouwen en deze zaak te decentraliseren naar lagere overheden. Daarmee kwam ook een einde aan deze (centrale) monitoringsreeks.

Daar kwam bij dat Rijkswaterstaat sinds 2003 werken alleen nog maar in de markt ging zetten met Systeemgerichte Contractbeheersing (SCB). Rijkswaterstaat zette vanaf toen geen bestekken meer in de markt, maar contracten met functionele eisen die getoetst worden. Materiaalkeuze speelde hierbij hooguit een rol voor het uiterlijk en de levensduur van een kunstwerk.

Door de sterke prijsdruk bij aanbestedingen werd materiaalkeuze wel een onderscheidend middel voor aannemers om een financieel aantrekkelijkere aanbieder neer te leggen. Het meer toepassen van AVI-bodemas in een werk kon het verschil maken om gegund te worden. De sturing in materiaalkeuze is sinds 2003 dus zeer beperkt. En met uitzondering van AVI-bodemas werd weinig centraal geregistreerd.

Tegenwoordig moet weliswaar bij het opleveren van een werk een dossier worden opgeleverd met onder andere de hoeveelheden gebruikte bouwgrondstoffen, maar deze dossiers worden niet uniform en centraal opgeslagen waardoor de gegevens eenvoudig toegankelijk zijn, bijvoorbeeld in een database of GIS omgeving.

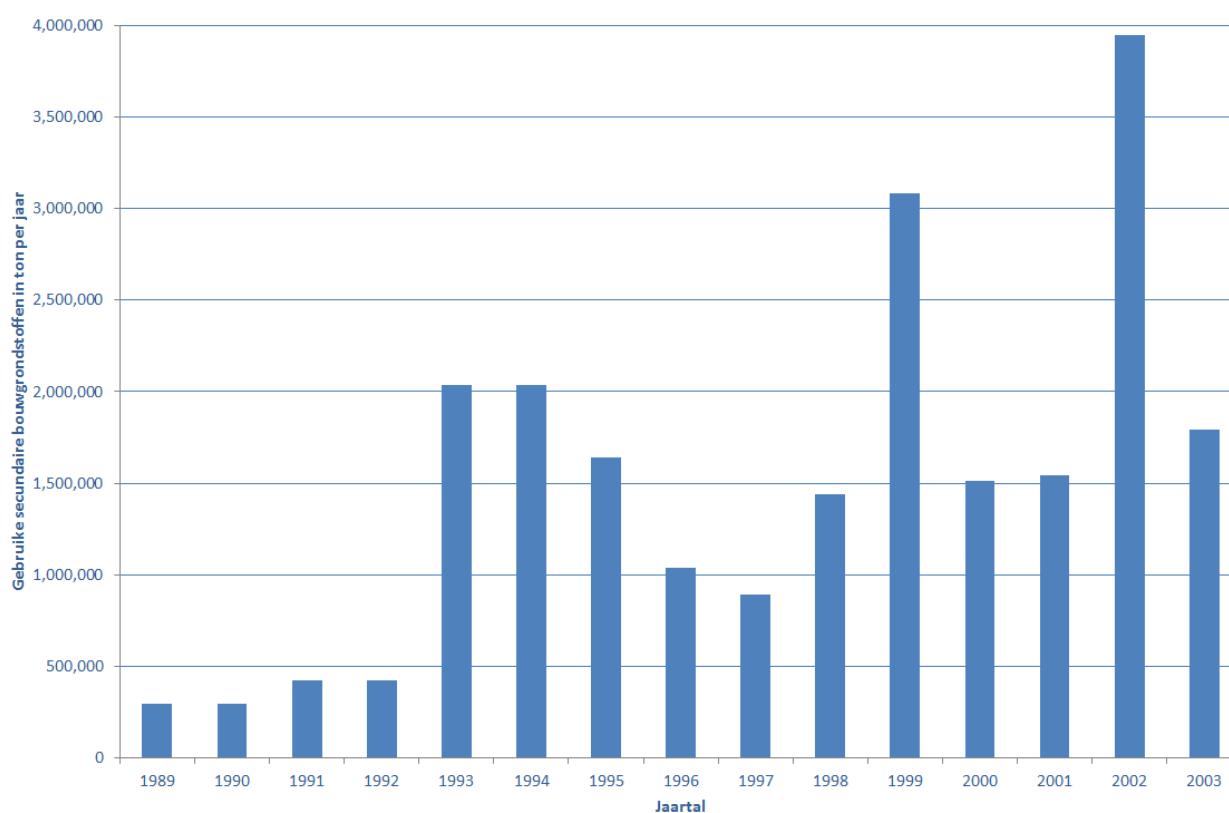
Registratie kost geld en verdient zich niet direct terug is een veel gehoord argument waarom zo weinig tijd aan registeren en monitoren wordt besteed. Echter, indien bij een aanbesteed werk onverwachte zaken optreden die niet in de uitvraag waren afgedekt is de onderhandelingspositie van de uitvoerende aannemer veel sterker dan wanneer de aanwezigheid van knelpunten al in de aanbesteding was meegenomen. Dit zorgt ervoor dat het gebrek aan kennis kan leiden tot:

- onnodige meerkosten door niet verwachte knelpunten;
- vertraging in de aangeboden planning;
- onnodige frictie in de relatie tussen Rijkswaterstaat als opdrachtgever en de aannemer.

Een positieve ontwikkeling is dat BIM (Building Information Modelling) tegenwoordig steeds meer wordt gebruikt. Op dit moment zijn circa 25 werken gerealiseerd met BIM. BIM biedt veel mogelijkheden om eenvoudig gegevens van werken te achterhalen. Het gebruik van grondstoffen is er daar één van.

3.6 Toegepaste hoeveelheden bij Rijkswaterstaat

Bij Rijkswaterstaat zijn de hoeveelheden toegepast materiaal slechts sporadisch gestructureerd in kaart gebracht. Voor primaire grondstoffen zijn alleen losse gegevens per werk/project bekend deze gegevens zijn voor zover bekend binnen Rijkswaterstaat nooit geaggregeerd. Voor toegepaste secundaire bouwstoffen bouwgrondstoffen zijn de hoeveelheden in de periode 1989 -2003 geregistreerd. Figuur 3.1 geeft de totale hoeveelheid toegepast secundaire bouwgrondstof per jaar weer.



Figuur 3.1 Hoeveelheden toegepaste secundaire bouwstoffen exclusief grond

In figuur 3.1 valt op dat de eerste jaren het gebruik heel laag is en dat daarna grote schommelingen in het gebruik van secundaire bouwgrondstoffen kunnen worden geconstateerd. De gerapporteerde hoeveelheden zijn het resultaat van uitgevoerde enquêtes. Mogelijk dat de respons in de beginperiode van deze monitoring nog laag was, maar het kan ook het effect zijn van toenemend beleid op de recycling van bouwgrondstoffen. De grote verschillen tussen de individuele jaren worden veroorzaakt doordat in sommige werken enorm grote volumes worden toegepast. In de periode 1989 tot en met 2003 is in 15 jaar in totaal 22,4 Mton secundaire bouwgrondstof toegepast. Dit is gemiddeld circa 1,5 Mton per jaar.

Het totale gebruik van bouwgrondstoffen bij Rijkswaterstaat is veel groter, maar wordt niet consequent geregistreerd. Voor 2010 en 2011 zijn schattingen gemaakt ten behoeve van het vaststellen van de Carbon Footprint van Rijkswaterstaat. Tabel 3.1 geeft de berekende tonnages toegepaste bouwstoffen voor Rijkswaterstaat weer voor 2010 en 2011 per klasse bouwgrondstof.

Tabel 3.1 Toegepaste hoeveelheden bouwgrondstoffen Rijkswaterstaat in 2010 en 2011

Klasse bouwgrondstof	Dichtheid	2010	2011	2010	2011
Eenheid	g/cm ³	x1000,000 m ³	x1000,000 m ³	Mton	Mton
Zout vaargeulonderhoud	2	12.3	13.8	24.6	27.6
Kustsuppletie	2	11.7	10.7	23.4	21.4
Droog grondverzet	1.6	12.8	12	20.48	19.2
Ruimte voor de Rivier	2	7	15.3	14	30.6
Zoet vaargeulonderhoud	2	7.4	3.4	14.8	6.8
Asfalt				2.5	4.2
Wegfundering				1.3	1.3
Betonconstructies	2.4	0.3	0.3	0.72	0.72
Waterbouwsteen				0.45	1.0
Totaal				102.3	112.8

De volumes van circa 100 Mton zijn enorm, maar hier dient wel een kanttekening bij geplaatst te worden. Een substantieel deel betreft verplaatsingen binnen het eigen areaal.

Maar ook individuele werken kunnen aanzienlijke hoeveelheden bouwstoffen gebruiken. Tabel 3.2 geeft een overzicht van schatting voor bepaalde werken en/of toepassingen.

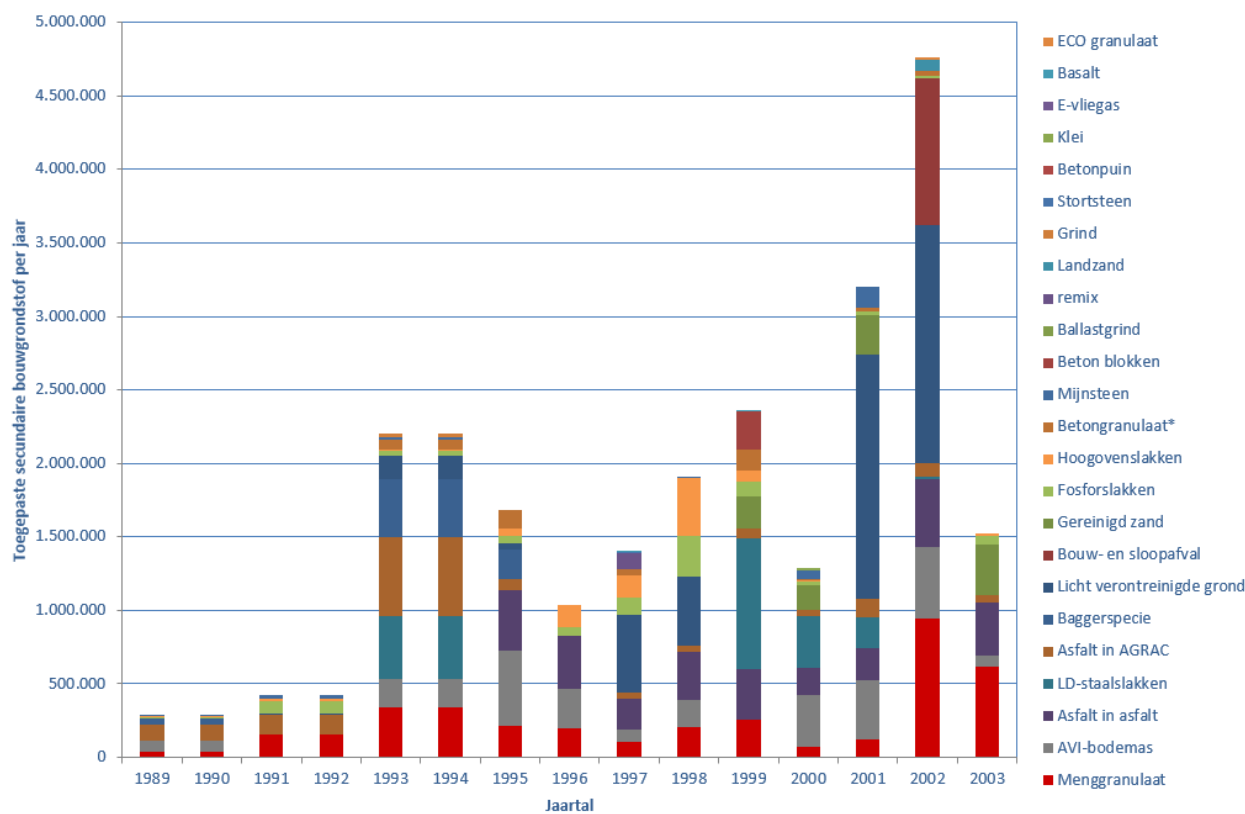
Tabel 3.2 Toegepaste hoeveelheden bouwgrondstoffen in werken Rijkswaterstaat

		Periode
Afsluitdijk	>50 Mton ¹³	Jaren 20 en 30
Havenhoofden van IJmuiden ¹⁴	2 Mton Grauwacke 0,6 Mton grind	Jaren 60
Oosterscheldekering	1,2 Mton beton (65 pilaren à 18 kton)	Jaren 70 en 80

Vervolgens is met behulp van de gegevens van toegepaste secundaire bouwgrondstoffen een opsplitsing gemaakt voor de 10 meest toegepaste secundaire bouwgrondstoffen. Figuur 3.2 geeft deze uitsplitsing weer.

¹³ 32,5 km en aangenomen 50 meter breed en 20 meter hoog

¹⁴ <https://archive.org/details/RWS-NH-061>



Figuur 3.2 Hoeveelheden toegepaste secundaire bouwstoffen exclusief grond

Figuur 3.2 laat zien dat de verschillen in toegepaste hoeveelheden niet alleen voor het totaal fluctueren, maar ook voor de individuele secundaire bouwgrondstoffen. Dit wordt mede veroorzaakt door het aantal en soort projecten dat RWS in een bepaald jaar uit laat voeren. In bijlage A is een volledig overzicht opgenomen van de geregistreerde hoeveelheden toegepaste secundaire bouwgrondstoffen in de periode 1989 - 2003.

De fluctuaties uit figuur 3.2 worden waarschijnlijk enigszins gedempt doordat Rijkswaterstaat niet de enige gebruiker van deze bouwgrondstoffen is.

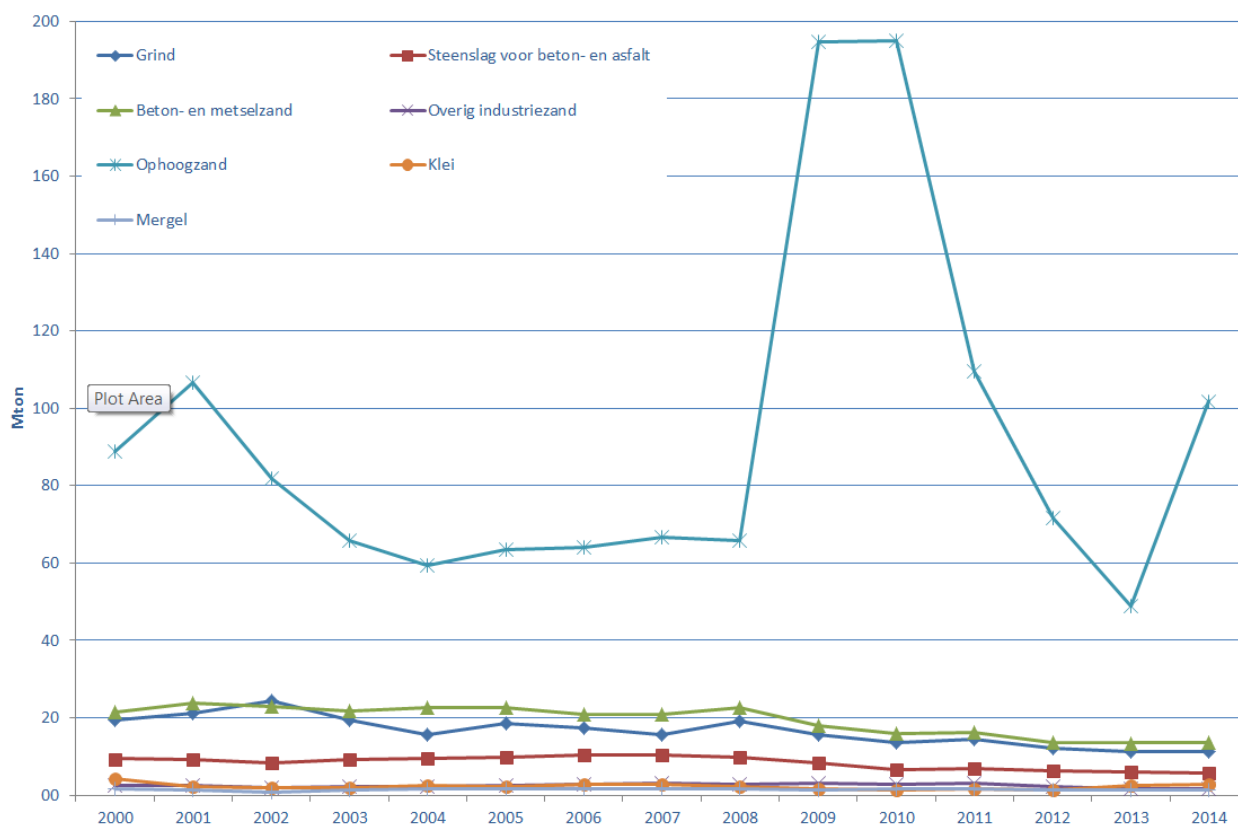
Deze fluctuaties in gebruik geven aan dat het voor afvalbedrijven lastig is om een continue afzet te vinden voor een (gereinigde) bouwgrondstof binnen de wettelijke termijn van 3 jaar voor nuttig toegepaste afvalstoffen. Fluctuerende tonnages voor de toepassing resulteren namelijk ook in flink fluctuerende hoeveelheden die in opslag zijn in afwachting van toepassing. En ook voor het aanbod van afvalstoffen die kunnen worden opgewerkt tot secundaire bouwgrondstoffen geldt dat hier enorme fluctuaties zijn die onder andere door de conjunctuur sterk worden beïnvloed.

Deze onzekerheden beïnvloeden enerzijds de keuzes voor recyclingbedrijven in wat wel en wat niet te sorteren en anderzijds remt deze onzekerheid investeren in innovatie. Daarmee wordt zowel de grade (kwaliteit) als de recovery (mate van terugwinning) beïnvloed. Oplossingen voor dit knelpunt kunnen zijn:

- Het soepeler omgaan met de maximale opslagperiode zou een oplossing kunnen bieden, maar het risico is dat malafide partijen dan misbruik kunnen maken van de negatieve waarde van sommige opgewerkte bouwgrondstoffen.
- Bij het plannen van werken de beschikbaarheid van grondstoffen in de markt meenemen.

3.7 Toegepaste hoeveelheden in Nederland

Het Compendium voor de Leefomgeving (CLO) registreert de hoeveelheden in Nederland gebruikte oppervlakedelfstoffen. Uiteraard wordt er veel meer gebruikt dan Rijkswaterstaat gebruikt, maar de hoeveelheden kunnen de gebruikte hoeveelheden wel in perspectief plaatsen. Immers Rijkswaterstaat is één van de grote gebruikers van oppervlakedelfstoffen. Figuur 3.3 laat het gebruik van oppervlakedelfstoffen vanaf 2000 zien. Deze kentallen van het CLO geven een aardig beeld, maar het CBS registreert niet alles. Het grondverzet in het kader van ruimte voor de rivieren wordt bijvoorbeeld niet meegenomen. De enorme piek 2009 en 2010 valt samen met eerste twee volle jaren van de aanleg van de Tweede Maasvlakte.



Figuur 3.3 Gebruikte hoeveelheden oppervlakte delfstoffen¹⁵

¹⁵ <http://www.clo.nl/indicatoren/nl0067-winning-en-verbruik-van-oppervlakedelfstoffen>

4 Recyclingtechnieken voor bouwgrondstoffen

Dit hoofdstuk beschrijft recyclingtechnieken die voor bouwgrondstoffen in de GWW beschikbaar zijn.

Er worden uitsluitend recyclingtechnieken beschreven voor bouwgrondstoffen die tegenwoordig zijn toegestaan. Dit betekent dat in dit onderzoek recyclingtechnieken voor AVI-vliegas, loodslakken en zinkassen niet zijn meegenomen. De aard van deze voormalige bouwgrondstoffen is zodanig dat hoogwaardige recycling niet langer mogelijk is en dat laagwaardige recycling een blijvend risico vormt voor het milieu of relatief veel primaire grondstoffen nodig zijn om hergebruik mogelijk te maken, zoals cement voor immobilisatie.

Daarnaast zijn er bouw(grond)grondstoffen waarvoor hoogwaardige recycling meestal mogelijk is zonder dat daar een opwerkingstechniek voor nodig is. Dit zijn basalt, breuksteen, graniet, zeezand, grind, landbodem zand, mits deze niet zijn vermengd met andere bouwgrondstoffen.

Als laatste in het overzicht zijn er bouwgrondstoffen die na recycling niet meer als materiaal terug te vinden zijn in hun toepassing. E-vliegas en een groot deel van hoogovenslakken worden bij de productie van cement gebruikt, maar is daarna als zodanig niet meer te identificeren of recyclen. Dit geldt ook voor slakken (LD-staal-, E-vliegas, ELO-staal en hoogovenslakken) die voor hydraulische werking aan menggranulaat zijn toegevoegd. En ook lignine zal niet meer als zodanig terug te vinden zijn in het bitumen of het asfalt waar het is toegepast.

Bij de inventarisatie van recyclingtechnieken is getracht deze zo compleet mogelijk te krijgen. Voor volwassen technieken die commercieel (bij meerdere partijen) worden aangeboden is deze redelijk compleet. Echter, voor recyclingtechnieken die zich in het ontwikkelingsstadium bevinden zal deze compleetheid minder zijn. Er zijn hier verschillende redenen voor. Sommige recyclingtechnieken worden door partijen bewust onder de radar gehouden en andere technieken worden nog niet breed gedeeld via de gangbare informatiekanalen.

4.1 Design for recycling

Momenteel worden in de GWW de keuzes in een ontwerp- en voor een materiaal bepaald door de civieltechnische eigenschappen en de milieuhygiënische eigenschappen. De civieltechnische eisen voor een materiaal zijn de geborgd in onder andere de Standaard RAW bepalingen, NEN-normen en beoordelingsrichtlijnen. De milieuhygiënische eisen worden bepaald door het Besluit Bodemkwaliteit (Bbk). Het Innovatie en Testcentrum (ITC) van Rijkswaterstaat test 'nieuwe' bouwstoffen/mengsels om ervoor te zorgen dat de levensduur (met name bepaald door de civieltechnische eigenschappen van de bouwstof) en de milieubelasting van nieuwe bouwstoffen voldoen aan de minimumeisen. Er wordt geadviseerd dat een toets op circulariteit een structureel onderdeel wordt bij de toelating van nieuwe bouwstoffen.

In een circulaire economie zouden bouwstoffen alleen maar goedgekeurd mogen worden als deze bouwstoffen nagenoeg circulair zijn. Er moet dus al een techniek beschikbaar zijn die het materiaal op een gelijkwaardig niveau kan recyclen en/of hergebruiken. Dit betekent dat bij het ontwikkelen van een nieuwe bouwstof al vanaf het begin nagedacht moet worden over in hoeverre dit nieuwe materiaal ook hoogwaardig te recyclen is. Het toepassen van een materiaal of de techniek waarmee dit gebeurd zou pas een volwassen techniek (TRL 9¹⁶) mogen heten als op zijn minst op pilotschaal (TRL6) bewezen succes beschikbaar is. Door de lange levensduur van GWW-werken is het commercieel niet verstandig om de beschikbaarheid van een commerciële recyclinginstallatie te eisen voordat het materiaal daadwerkelijk vrij

¹⁶ TRL is het Technology Readiness level en wordt verder toegelicht in de definities.

gaat komen. Om de risico's van materialen die niet te recyclen zijn te voorkomen, is samenwerking tussen Rijkswaterstaat en marktpartijen de beste route. Vandaar dat het niet realistisch is en innovaties in de weg staat om TRL9 voor de recyclingtechniek te eisen op het moment van goedkeuren van nieuwe bouwstoffen.

De traditionele valkuil vanuit beleid is om duurzame eisen alleen te stellen aan nieuwe bouwgrondstoffen. Dit zorgt voor ongelijke concurrentie en remt innovatie en de transitie naar een circulaire economie. Hoewel de belangen natuurlijk groot zijn, zou toch naar alle bouwstoffen op dezelfde manier gekeken moeten worden.

4.2 Recyclingtechnieken voor beton, metselwerk en bakstenen

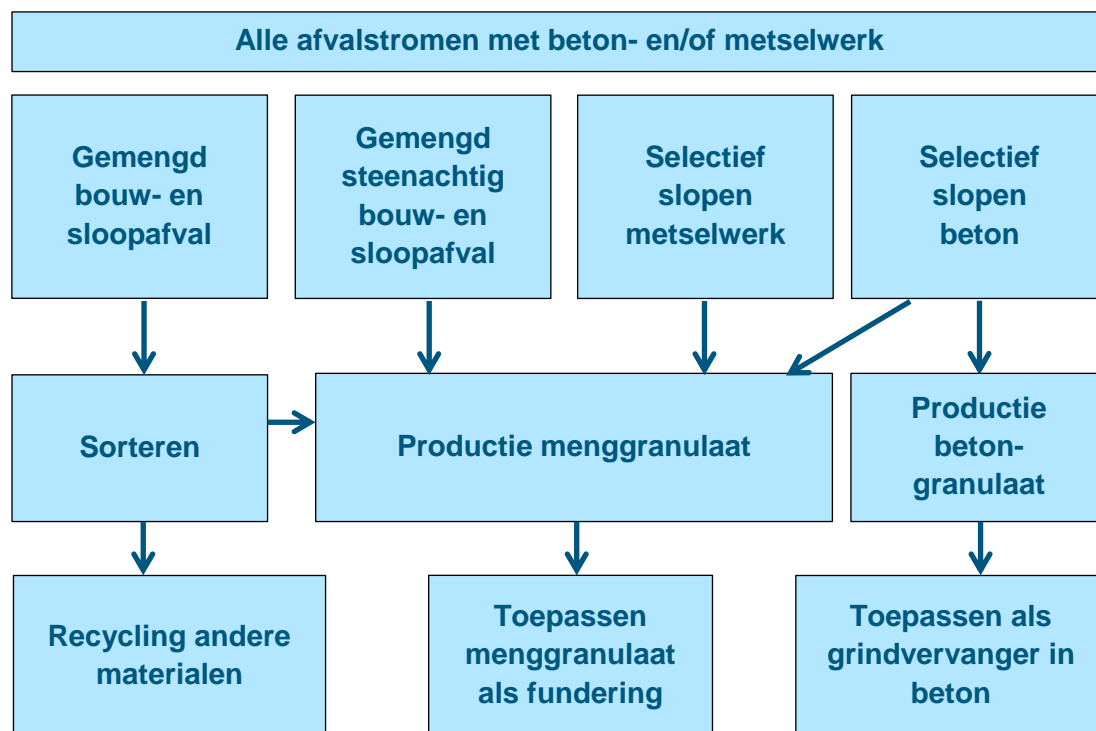
De recycling van steenachtige bouwstoffen kent een lange historie in Nederland. In Nederland was historisch een tekort aan steenachtige bouwstoffen. Desondanks bleef recycling lang beperkt tot of direct hergebruik van de bouwgrondstoffen of tot het omzetten naar relatief laagwaardige bouwgrondstoffen voor verharding of fundering.

4.2.1 Bouw- en sloopafval sorteerinstallatie gevolgd door een puinbreker

Beton- en metselwerk zijn traditioneel de twee meest toegepaste steenachtige bouwstoffen. De traditionele recyclingtechnieken voor deze bouwgrondstoffen zijn sterk verweven. Voor recycling wordt het puin van beton en metselwerk eerst gereinigd en vervolgens samen gebroken en dan uiteindelijk gezeefd op zeeffracties met de gewenste civieltechnische en milieuhygiënische eigenschappen.

Tot de jaren '60 werd beton veel minder toegepast en waren in met name woonhuizen houten vloeren nog de norm. Het aandeel beton in bouw- en sloopafval was in 2003 al gestegen tot 62% en zal in 2025 verder stijgen. Er zijn twee redenen waarom een steeds groter deel van het betongranulaat niet meer in menggranulaat wordt toegepast. Ten eerste kan betonpuin ook als grindvervanger in beton worden toegepast. Dit sluit de betonketen beter en maakt het beton duurzamer. Ten tweede komt een te hoog gehalte beton de civieltechnische kwaliteit van menggranulaat niet ten goede. Hierdoor wordt steeds meer betonpuin in ongemengde vorm hergebruikt.

Figuur 4.1 geeft een globaal beeld van hoe de materialenstromen lopen bij traditionele recycling van beton en metselwerk.



Figuur 4.1 Stroomschema recycling beton- en metselwerkpuin

Recycling van beton- en metselwerk in betongranulaat en menggranulaat is een volwassen recyclingtechniek met TRL 9 als Technology Readiness Level.

De recyclingtechniek vergt geen grote hoeveelheden energie en levert nuttig bouwgrondstoffen op. Het is wel zo dat nieuwe breektechnieken op termijn kunnen resulteren in meer milieuwinst (zie paragraaf 4.2.4, 4.2.5 en 4.2.6).

4.2.2 Baksteen van gerecyclede grondstoffen

Baksteen is gebakken klei. Dit uitharden van klei in een oven is een irreversibel proces. De keramiek kan niet opnieuw gebakken worden. Toch is ondertussen een recyclingproces ontwikkeld voor bakstenen door Stonecycling¹⁷. Dit proces vervangt 60% tot 100% van de grondstoffen voor nieuwe bakstenen door het strategisch combineren van reststoffen. Gebroken bakstenen vormen hierbij een belangrijk ingrediënt, maar er wordt ook gebruikt gemaakt van wastafels, oude tegels, oude keramische kozijnen en glas.

De bakstenen uit het proces van Stonecycling zijn niet volledig circulair, omdat een deel van deze bakstenen nog steeds uit primair materiaal bestaat. Daarnaast is het nog niet duidelijk in welke mate deze bakstenen opnieuw zijn te recyclen aan het einde van hun levenscyclus. De samenstelling van Stonecycling baksteen wijkt namelijk aanzienlijk af van die van reguliere bakstenen.

Het proces is een enorme stap voorwaarts en kan de behoefte aan primaire grondstoffen voor baksteenproductie substantieel verminderen. Daarnaast is bij de productie minder energie nodig dan bij traditionele baksteenproductie doordat de smelt/baktemperatuur circa 200 à 300 graden lager ligt.

¹⁷ <https://www.stonecycling.com/>

De techniek van Stonecycling is een jonge recyclingtechniek die zich weliswaar met TRL 9 als Technology Readiness Level heeft bewezen, maar nog op een beperkte schaalgrootte operationeel is. De bakstenen van Stonecycling zijn met 100 euro per m² op prijs nog niet concurrerend met bulkproductie voor gevelstenen, maar lastig te vergelijken omdat de afzet nu relatief kleinschalig plaatsvindt en meer in het design segment van de markt. Stonecycling richt zich nu op een duurzame design niche markt en (nog) niet op massaproductie. De goedkopere grondstoffen en het lagere energieverbruik bieden op termijn perspectief voor een concurrerend product.

Deze techniek bespaart bij baksteenproductie zowel primaire grondstoffen als energie en heeft daarmee een grotere milieuwinst dan het traditionele puinbreken.

4.2.3 Grindvervanging in traditioneel beton met betongranulaat

Beton kan gerecycled worden door grind te vervangen met een fractie betongranulaat¹⁸. Het gebroken beton wordt na traditioneel breken in de vereiste fracties gezeefd zodat het de traditionele grondstoffen grind en soms ook zand kan vervangen. Er zijn de volgende twee CUR-aanbevelingen die aanwijzingen geven voor het toepassen van gerecycled beton in beton:

- CUR-Aanbeveling 106, Beton met fijne fracties uit BSA-granulaten als fijn toeslagmateriaal.
- CUR-Aanbeveling 112, Beton met betongranulaat als grof toeslagmateriaal.

Recycling van beton via betongranulaat in beton is een volwassen recyclingtechniek met TRL 9 als Technology Readiness Level.

Het nadeel van de techniek is dat maar een deel van het beton hoogwaardiger wordt gerecycled. Dit heeft als gevolg dat de fijne fractie overblijft of in hogere concentraties in menggranulaat aanwezig zal zijn.

Beton dat gebruikt maakt van grindvervangers uit betongranulaat zal lagere CO₂-emissies hebben dan traditioneel beton, maar de verlaging zal beperkt zijn.

4.2.4 Slim breken van beton

Bij klassiek breken van beton wordt het beton verkleind in een kaakbreker. Er ontstaat een mengsel van grote en kleine stukje beton.

Bij Slim Breken van SmartCrusher BV worden de oorspronkelijke grondstoffen van beton (zand, cement en grind) door het verkleiningsproces juist gescheiden. Deze fracties kunnen vervolgens opnieuw als grondstof voor beton dienen. De grind- en zandfracties kunnen na slim breken direct worden toegepast. Ze zijn zelfs beter geschikt voor betonproductie omdat ze ronder zijn en hierdoor minder water verbruiken en daarmee ook minder cement nodig hebben.

Het verschil met conventioneel breken zit in de manier van breken. Bij een conventionele kaakbeker wordt beton gebroken door het beton met druksterkte zodanig te belasten dat al het beton breekt. Bij slim breken wordt het beton juist gebroken door het op schuifsterkte te belasten waarbij het oorspronkelijke grind niet wordt gebroken maar alleen de matrix van cement.

Het hergebruik van de cementsteen hangt vervolgens af van het type beton waarin het cementsteen was toegepast. Bij betontegels is een groot gedeelte van het cementsteen nog niet gehydrauliseerd en daardoor nog steeds actief. Dit cementsteen is voor sommige betontoepassingen direct toe te passen. Maar voor een groot deel van het cementsteen zal het nodig blijken het calcium opnieuw te activeren. Dit

¹⁸<http://www.vobn-beton.nl/beton-bewust%7Ccsc/duurzaam-bouwen-met-beton/beton-en-hergebruik>

kan door het cementsteen te dehydrateren bij lage temperaturen van 400 à 500°C of indien bij hoge temperaturen van bij 1.375°C. Bij hoge temperaturen wordt cementsteen weer omgezet in het oorspronkelijke cement.

Ondanks de hoge temperaturen bespaart dit nog steeds aanzienlijke hoeveelheden CO₂-uitstoot. Primaire cementproductie resulteert in een substantiële uitstoot door het carbonaat van de ongebluste kalk te scheiden. Dit veroorzaakt afgezien van de benodigde warmte 784 kg CO₂-emissies per 1.000 kg CaO. Deze CO₂-uitstoot vindt bij het reacteren van gerecycled cementsteen niet plaats.

De techniek van slim breken is een nieuwe recyclingtechniek met TRL 6 die als Technology Readiness Level heeft bewezen. Het is niet helemaal duidelijk in hoeverre andere partijen (achter de schermen) vergelijkbare technieken ontwikkelen.

Bij Slim Breken ligt de grootste uitdaging waarschijnlijk niet zozeer op het technische vlak maar vooral op het commerciële en organisatorische vlak. Hoe weet de techniek de stakeholders te overtuigen van de voordelen van een nieuw concept. Toch zullen aannemers bij technologisch succes van slim breken of een aanverwante techniek, indien door het omschakelen uiteindelijk ook kostenbesparingen voor de aannemers kunnen worden gerealiseerd, hierop overschakelen.

Beton dat gebruikt maakt van grondstoffen via slim breken van beton kan aanzienlijke lagere CO₂-emissies hebben dat traditioneel beton.

4.2.5 Elektrodynamisch breken van beton

Elektrodynamisch breken maakt het mogelijk met ultrakorte hoogspanningspulsen selectief composieten in hun individuele bestanddelen te scheiden.¹⁹ Vervolgens zijn de grondstoffen van het composiet opnieuw te gebruiken. Deze techniek maakt het ook mogelijk om bijvoorbeeld staal- of koolstofvezels uit beton te scheiden. Het concept van betonrecycling met elektrodynamisch breken is vergelijkbaar met slim breken. Het grote verschil is de manier waarop het beton wordt gebroken.

Recycling van beton met elektrodynamisch breken is een techniek die zich nog in het onderzoekstadium bevindt met TRL 4 als Technology Readiness Level. Het hoge energiegebruik van de techniek is een bekend knelpunt.

Beton dat gebruikt maakt van grondstoffen via elektrodynamisch breken van beton kan aanzienlijke lagere CO₂-emissies hebben dat traditioneel beton.

4.2.6 C2CA beton

Deze techniek vervangt eveneens grondstoffen bij het mengen van beton zoals de techniek beschreven in subparagraaf 4.2.3, maar met behulp van de Advance Dry Recovery(ADR)-scheidingstechnologie zijn de te recyclen fracties veel beter te prepareren met meer milieuwinst als gevolg. Daarnaast wordt de fijnste fractie gebruikt als grondstof voor cementproductie waarbij het cement weer wordt gereactiveerd. In deze fijnste fractie is het oorspronkelijke cement relatief veel aanwezig. Toch zal veel cement in grovere fracties aanwezig zijn en niet worden gerecycled. Daarnaast bevat de fijnste fractie ook andere stoffen dan cementsteen die ervoor zorgen dat onnodig veel materiaal weer naar hoge temperaturen van een cementoven moet worden gebracht.

¹⁹

https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/de/documents/Informationsmaterial/Abteilungen/BBH/Produktblaetter/IBP_087_PB_B_auchemie_Fragmentierung_03_web_de.pdf

C2CA beton²⁰ is het resultaat een Europees onderzoeksproject. Het voordeel van de techniek is dat deze goed aansluit bij de huidige infrastructuur voor betonproductie.

Recycling van beton via betongranulaat in beton is een volwassen recyclingtechniek met TRL 9 als Technology Readiness Level. De ontwikkeling van deze techniek werd gesteund vanuit de cementsector. Deze belangrijke steun heeft er mede voor gezorgd dat deze techniek relatief snel een commerciële schaal heeft bereikt.

Beton dat gebruikt maakt van grondstoffen via C2CA kan aanzienlijke lagere CO₂-emissies hebben dan traditioneel beton, maar het potentieel is minder dan dat van slim breken en elektrodynamisch breken omdat de eigenschappen van cement als bindmiddel maar beperkt worden hergebruikt.

4.2.7 Cellenbeton

Hoewel voor het afval van cellenbeton in sectorplan 32 van LAP 3 storten de minimumstandaard is, wordt cellenbeton gerecycled.

Cellenbeton is goed recyclebaar mits goed gescheiden van andere afvalstoffen. Dit scheiden kan op de slooplocaties vinden, maar ook in een sorteerinstallatie. Het cellenbeton kan worden gebroken en gemalen als nieuwe grondstof voor cellenbeton, maar wordt deels ook gebruikt als grondstof om de dichtheid bij bouwgrondstoffen te verlagen. Bijvoorbeeld voor lichtgewicht funderingen of licht beton. Het aantal recyclingbedrijven is in Nederland beperkt²¹.

De recyclingtechniek voor cellenbeton is een volwassen recyclingtechniek met TRL 9 als Technology Readiness Level.

De recyclingtechniek bespaart zowel energie als primaire grondstoffen.

4.3 Recyclingtechnieken voor grond en/of baggerspecie

Grond is in principe direct her te gebruiken. Grond is eenvoudig in staat zich met vegetatie te laten begroeien of te laten gebruiken voor landbouw. Vruchtbare grond is een belangrijk stuk van ons natuurlijk kapitaal. Hier moeten we zuinig mee omgaan. Grond mag dan ook niet verontreinigd zijn als het wordt hergebruikt. Deze eisen gelden voor bodemvreemde materialen en uiteraard voor milieuhygiënische verontreinigingen zoals zware metalen, pesticiden en aardoliederivaten. Om verontreinigde grond toch herbruikbaar te maken zijn tal van reinigingstechnieken ontwikkeld. Deze paragraaf beschrijft de belangrijkste ex-situ reinigingstechnieken.

4.3.1 Natte grondreiniging

Natte grondreiniging²² maakt gebruik van het effect dat verontreinigingen zich evenredig over het oppervlak in een materiaal verspreiden of selectief aan organische oppervlakken hechten.

Als de verontreiniging zich evenredig over het oppervlak verspreid heeft, zal de verontreiniging veel geconcentreerder aanwezig zijn in de fijnste fractie. Deze fractie heeft immers veruit het grootste aandeel in het oppervlak. Daarnaast bestaat deze fijnste fractie ook nog uit kleiachtige mineralen waaraan veel verontreinigingen beter hechten.

²⁰ <http://www.c2ca.eu/>

²¹ <http://koklexmond.nl/gips-recycling-gasbeton-recycling/>

²² <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/d-verwerken-van-grond/d3-natte-reiniging/factsheet-natte-reiniging-grond>

De techniek begint met het zeven en verwijderen van bodemvreemd materiaal. Vervolgens wordt de fijnste fractie afgescheiden waardoor het niveau van de verontreinigingen aanzienlijk wordt teruggebracht. Bij natte grondreiniging wordt de fijnste fractie gescheiden door middel van bijvoorbeeld een hydrocycloon. Vaak wordt met behulp van flotatie resterend organisch materiaal verwijderd.

De aard van de recyclingtechnologie is dat de kwaliteit van de grond substantieel te verbeteren is, maar te zwaar verontreinigde grond is niet te reinigen tot toepasbare grond.

De recyclingtechniek natte grondreiniging is een volwassen recyclingtechniek met TRL 9 als Technology Readiness Level.

Natte grondreiniging is een techniek die in beperkte mate energie en grondstoffen kost.

4.3.2 Thermische grondreiniging

Thermische grondreiniging is geschikt voor grond waarbij alleen sprake is van organische verontreinigingen²³.

Bij thermische grondreiniging wordt de grond eerst gedroogd en vervolgens wordt de grond zodanig verwarmd dat de dampspanning van de verontreinigingen boven de 1 atmosfeer komt. Hierdoor vervluchtigen alle (organische) verontreinigingen.

Aan thermische grondreiniging kleven een paar nadelige effecten:

- Indien bij het verwarmen temperaturen de zone 280°C tot 310°C bereiken, zal torrefactie optreden. Torrefactie is het chemische proces waarbij de chemische structuur van de biomassa verandert. De moleculen van vezels als cellulose en hemicellulose worden bijvoorbeeld opgeknipt. Dit verandert de structuur van de aanwezige biomassa en daarmee het uitloggedrag van de aanwezige metalen in de gereinigde grond.
- Biologische activiteit en bodemfauna worden vernietigd en is daardoor na toepassing veel langer kwetsbaar voor erosie;

Als met deze nadelige effecten voldoende rekening wordt gehouden, is de techniek goed te gebruiken.

De recyclingtechniek thermische grondreiniging is een volwassen recyclingtechniek met TRL 9 als Technology Readiness Level.

Thermische grondreiniging gebruikt door de hoge temperaturen substantiële hoeveelheden energie, maar voor het verwijderen van substantiële hoeveelheden organische verontreiniging zijn weinig alternatieven. Voor de energie gebruiken beide installaties reststoffen die ook thermisch verwerkt moeten worden. Thermische grondreiniging is niet echt circulair te noemen, maar wel het beste alternatief voor een deel van onze lineaire erfenis.

4.3.3 Biologische grondreiniging

Biologische grondreiniging is geschikt voor grond waarbij alleen sprake is van organische verontreinigingen²⁴. In de biologische reiniging worden organische verontreinigingen afgebroken door bacteriën en schimmels. De mogelijkheid voor de techniek is afhankelijk van een aantal factoren

²³ <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/d-verwerken-van-grond/d2-thermische-reiniging/factsheet-thermische-reiniging-grond>

²⁴ <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/d-verwerken-van-grond/d4-biologische-reiniging/factsheet-biologische-reiniging-grond>

waaronder de biobeschikbaarheid van de verontreinigende stoffen (zijn ze biologisch af te breken?). Daarnaast mag de grond weinig lutum en humus bevatten. Met deze techniek zijn 'slechts' minerale olie en PAK-verbindingen met weinig benzeenringen te verwijderen.

De recyclingtechniek biologische grondreiniging is een volwassen recyclingtechniek met TRL 9 als Technology Readiness Level.

Biologische grondreiniging is een techniek die behalve logistiek nauwelijks energie en grondstoffen vergt. Bij de recyclingtechniek is vooral sprake van ruimtebeslag en tijd.

4.3.4 Immobilisatietechnieken

De recyclingtechniek immobilisatie kan voor grond gebruikt worden maar ook voor allerlei andere steenachtige afvalstoffen. Er zijn afhankelijk van het materiaal dat geïmmobiliseerd wordt veel verschillende immobilisatietechnieken. Bijvoorbeeld thermische verglazen, in betonblokken vastleggen, in asfalt vastleggen. De meeste technieken hebben als resultaat een vormvast product dat voor relatief laagwaardige toepassingen in de GWW of op stortplaatsen toegepast kan worden.

De recyclingtechniek immobilisatie voor grond is een volwassen recyclingtechniek met TRL 9 als Technology Readiness Level.

Immobilisatietechnieken hebben gemeen dat ze vaak veel energie en/of grondstoffen kosten. Dit maakt de technieken vanuit de circulaire economie niet gewenst.

4.4 Baggerspecie

4.4.1 Scheidingsbekken

Voor baggerspecie worden scheidingsbekkens gebruikt²⁵. Een scheidingsbekken is zo ontworpen dat de vaste deeltjes in baggerspecie gescheiden worden doordat in het scheidingsbekken een gradiënt voor sedimentatie ligt. In het rechthoekige scheidingsbekken liggen aan één kant één of meerdere spuitmonden waar baggerspecie met een droge stofgehalte van circa 15% wordt ingespoten. Vanaf de spuitmond(en) heeft het scheidingsbekken een helling van tussen 1:250 en 1:500 die omlaag gaat vanaf de spuitmond. De baggerspecie zal vervolgens langzaam van de helling afstromen. Hierbij zullen de grove en zandige fracties nabij de spuitmond sedimenteren en zullen de fijnste fractie pas aan het einde van het scheidingsbekken sedimenteren.

Het debiet moet meestal ongeveer tussen de 0,03 tot 0,05 m²/seconde liggen. Bij een lagere snelheid zullen zich uiteindelijk geulen vormen en bij een hogere snelheid treedt er geen scheiding op basis van korrelgrootte op.

Indien schoon genoeg zijn de zandige fracties te recyclen als zand. Bij verontreinigde baggerspecie is de fijnste slibfracties vaak niet meer geschikt voor recycling. Bij schone baggerspecie kan deze fractie worden hergebruikt als klei. Waar zand vrijwel direct opnieuw inzetbaar is, is het noodzakelijk de kleifractie eerst te rijpen.

De recyclingtechniek van scheidingsbekkens voor baggerspecie is een volwassen recyclingtechniek met TRL 9 als Technology Readiness Level.

²⁵ <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/h-behandelen-en-bestemmen-va9446/h4-scheiden/scheiden-van-baggerspecie-resume-uitgangspunten-en-globale-ontwer9514>

Een scheidingsbekken is een techniek die nauwelijks energie en grondstoffen kost. Bij de recyclingtechniek is vooral sprake van ruimtebeslag en tijd.

4.4.2 Kleirijperij

De fijne fractie uit een scheidingsbekken (mits voldoende schoon) is niet direct gereed om toe te passen. Het fijne slib moet eerst gerijpt worden. Dit rijpen is het ontwateren en in geval van zout baggerslib ook het ontzouten. Zowel het ontwateren als het ontzouten heeft tijd nodig.

Het ontwaterde fijne slib wordt uiteindelijk klei dat kan worden toegepast voor dijkverzwaring en/of voor ophoging van agrarische grond.

De recyclingtechniek van een kleirijperij voor de fijne slib fractie uit een scheidingsbekken voor baggerspecie is een volwassen recyclingtechniek met TRL 9 als Technology Readiness Level wanneer zoet slib gerijpt wordt. Voor zout slib is nauwelijks ervaring onder de huidige milieueisen.

Kleirijperij is een techniek die nauwelijks energie en grondstoffen kost. Bij deze recyclingtechniek is vooral sprake van ruimtebeslag en tijd.

4.5 Asfalt

Asfalt is een samengestelde bouwgrondstof bestaande uit steenslag/grind, zand, vulstoffen en bitumen. Het recycleren van asfalt begon halverwege jaren zeventig na de eerste oliecrisis.

Voor de productie van asfalt is door NCOB de OPWA-lijst²⁶ (Omschrijving Productgroep Warm Asfalt) opgesteld. Deze lijst geeft voor alle onderzochte bindmiddelen, granulaat en slakken, zand, steenslag en grind, vulstoffen, toevoegingen en pigmenten beperkingen inzake het gebruik en hergebruik van materialen in asfaltconstructies. Deze beperkingen vloeien voort uit zowel milieuhygiënische als civieltechnische beperkingen. De kennis uit deze lijst bevat betrouwbare informatie op basis waarvan circulaire keuzes bij materiaalkeuze kunnen worden gemaakt.

4.5.1 Partiële recycling

Partiële recycling is het vervangen van een deel van het asfaltmengsel door freesasfalt. Midden jaren '70 na de oliecrisis werd dit voor het eerst toegepast. De eerste partiële recycling van asfalt betrof het mengen van koud freesasfalt in de asfalmolen. Hiermee was aanvankelijk maximaal 25% van de grondstoffen voor asfalt te vervangen. Door de introductie van trommelmengers en paralleltrommels medio jaren '80 kon het aandeel gerecycled materiaal in asfalt worden opgevoerd tot 50%. Bij deze technieken wordt het freesasfalt opgewarmd.

De recyclingtechniek van partiële recycling van asfalt is een volwassen recyclingtechniek met TRL 9 als Technology Readiness Level.

De vervangen primaire grondstoffen leiden direct tot een substantiële milieuwinst die groter is naarmate er meer primair asfalt wordt vervangen.

²⁶ http://www.top-advies.nl/wp-content/uploads/2017/01/OPWA-2017-januari_v1.pdf

4.5.2 LEAB (Laag Energie Asphalt Beton)

De in 1992 door BAM ontwikkelde Laag Energie Asphalt Beton (LEAB)²⁷ techniek combineert een hoger percentage vervanging met freesasfalt met lagere temperaturen voor de asfaltproductie. LEAB maakt het mogelijk om tot 60% asfalterrediënten te vervangen met freesasfalt en een warm asfalttemperatuur van 100°C in plaats van de conventionele 160°C. Deze lagere temperatuur reduceert zowel energieverbruik als geuremissies bij asfaltproductie en asfalteren.

In het Europese Project LE2AP (Low Energy and Emission Asphalt Pavements)²⁸ heeft BAM de techniek voor zowel frezen als asfaltproductie nog verder weten te optimaliseren met als resultaat dat nu asfalt geproduceerd kan worden dat voor 80% uit gerecycled materiaal bestaat, geproduceerd wordt bij ruim 100°C en minimaal 7 dBA reductie van geluid bereikt²⁹.

De LEAB techniek van asfalt is een volwassen recyclingtechniek met TRL 9 als Technology Readiness Level. De verbeterende technologieën in LE2AP zijn al op commerciële schaal toegepast maar zal nog breder toegepast worden.

Naast de hogere besparing van primaire grondstoffen zorgt deze recycling techniek ervoor dat minder energie gebruik wordt om het asfaltmengsel op temperatuur te brengen. Deze lagere temperatuur heeft een tweede voordeel. De levensduur van het bitumen wordt verlengd omdat minder vluchtigere componenten niet worden uitgedampt. Hierdoor kan het asfalt vaker worden hergebruikt.

4.5.3 HERA (Highly Ecologic Recycling Asphalt System)

HERA is een recyclingtechniek die ontwikkeld is door Volker Wessels³⁰. Bij deze techniek vindt de warmteoverdracht niet direct plaats tussen verbrandingslucht en asfaltmengsel. Hierdoor is meer asfalt bij lagere temperaturen te recyclen en stijgt de levensduur van het geproduceerde asfalt.

De HERA techniek van asfalt is een volwassen recyclingtechniek met TRL 9 als Technology Readiness Level. Momenteel wordt de techniek alleen nog toegepast in de Asphalt Centrale Rotterdam.

Naast de hogere besparing van primaire grondstoffen zorgt deze recycling techniek ervoor dat minder energie gebruik wordt om het asfaltmengsel op temperatuur te brengen. Deze lagere temperatuur heeft een tweede voordeel. De levensduur van het bitumen wordt verlengd omdat minder vluchtigere componenten niet worden uitgedampt. Hierdoor kan het asfalt vaker worden hergebruikt.

4.5.4 Asfaltgranulaat cement stabilisatie

De civieltechnische eigenschappen van asfaltgranulaat zijn onvoldoende om als fundering te functioneren. Door asfaltgranulaat te stabiliseren met een bindmiddel wordt een veel stabielere bouwstof gemaakt die als fundering onder wegen kan worden toegepast. Dit cementgebonden asfaltgranulaat wordt meestal afgekort en benoemd als AGRAC genoemd.

De recyclingtechniek van cementgebonden asfaltgranulaat is een volwassen recyclingtechniek met TRL 9 als Technology Readiness Level.

²⁷ <https://www.asfaltcentrale.nl/producten/leab>

²⁸ <https://www.bamle2ap.nl/>

²⁹ <https://www.bamle2ap.nl/sites/default/files/domain-386/documents/succesvol-recycleasfalt-le2ap-klaar-voor-de-praktijk-386-14900176051766416187.pdf>

³⁰ <https://www.volkerwessels.com/nl/projecten/detail/hera-system>

Bij AGRAC is sprake van recycling en niet van een circulaire bouwgrondstof. De milieuwinst is beperkt doordat het funderingsmateriaal na de levenscyclus niet goed geschikt is voor direct hergebruik zonder toevoeging van nieuw bindmiddel.

Het proces om van asfaltgranulaat AGRAC te maken heeft geen grote energiebehoefte, maar gebruikt wel 2 tot 4 gewichtsprocent cement. Hierdoor is de CO₂-emissie van een AGRAC-fundering circa 10 keer hoger dan die van bijvoorbeeld hydraulisch menggranulaat bij een vergelijkbare dikte³¹. AGRAC heeft echter logistiek soms grote voordelen doordat het vaak in hetzelfde of een naburig werk toegepast kan worden. Dit zorgt voor een reductie van transportbewegingen en afstanden.

Het heeft de voorkeur om op termijn asfalt maximaal circulair in asfalt te recyclen. Te meer daar de behoefte aan nieuw funderingsmateriaal op de lange termijn afneemt.

4.5.5 Thermische reiniging teerhoudend asfalt

Thermische reiniging van teerhoudend asfalt is een recyclingtechniek waarbij alle aanwezige teer wordt vernietigd³². Het (teerhoudend) asfalt wordt verbrand samen met (teerhoudend) dakmateriaal. Het dakmateriaal wordt toegevoegd omdat de energie-inhoud van het aanwezige bitumen onvoldoende is om volledige verbranding te realiseren.

Alle organische componenten worden vernietigd in het verbrandingsproces en de minerale residuen zijn beschikbaar voor recycling in asfalt of beton. De minerale residuen worden geclassificeerd in drie fracties, namelijk ECO filler (0/500µm), ECO zand (0/2mm) en ECO granulaat (2/8mm of 8/16mm).

De recyclingtechniek thermische reiniging voor (teerhoudend) asfalt is een volwassen recyclingtechniek met TRL 9 als Technology Readiness Level.

De recyclingtechniek zorgt ervoor dat alle minerale bouwgrondstoffen weer beschikbaar komen en dat het milieuschadelijke teer is vernietigd. Het grootste risico voor de milieuwinst is het verwerken van asfaltpartijen waarin in het verleden stoffen zijn toegepast die de milieuhygiënische of civieltechnische eigenschappen van het toekomstige asfalt of beton onder druk zetten. Omdat dit ook de afzet van de drie producten van deze techniek direct bedreigt, zal de ondernemer hier scherp op letten.

4.5.6 Recycling tweelaags-ZOAB

Tweelaags ZOAB (TZOAB) wordt veel toegepast voor reductie van geluid, onderhoudskosten in combinatie met beter waterafvoerende eigenschappen. In 2015 is door KWS TZOAB voor Rijkswaterstaat in onderlagen van wegen gerecycled.

Recycling in deklagen is nog niet mogelijk. Door het toenemend gebruik van TZOAB en afnemend aandeel van onderlagen in nieuw asfalt zijn nieuwe recyclingtechnieken nodig.

De recyclingtechniek TZOAB is een nieuwe recyclingtechniek met TRL 9 als Technology Readiness Level.

De recyclingtechniek voor TZOAB is recycling, maar niet circulair omdat het TZOAB in onderlagen beland en juist veel asfalt nodig is voor de vervanging van deklagen.

³¹ Ketenganalyse Wegen – Arcadis - 2015

³² <https://www.rekobv.eu/>

4.5.7 Gesloten keten voor bitumen

Bij 100% recycling van asfalt zal op termijn na meerdere cycli het bitumen deels moeten zijn verwijderd en vernieuwd door nieuw bitumen. Bitumen verouderd namelijk en kan uiteindelijk niet meer zijn functie als bindmiddel vervullen en zal de kwaliteit van het asfalt onder druk zetten. Een klein deel van het asfalt zal dan vervangen moeten worden en (thermisch) ontdaan worden van het bitumen. De minerale fractie kan dan vervolgens met nieuw bitumen of duurzame bitumenvervangers zoals wellicht lignine worden toegevoegd aan het asfalt.

4.5.8 Levensduurverlenging

Levensduurverlenging is momenteel bij asfalt een actueel thema. Het verlengen van de levensduur van een materiaal in een werk is weliswaar niet circulair, maar het is wel een methode waarmee het gebruik van primaire grondstoffen kan worden afgeremd en bouwgrondstoffen langer in de keten gehouden kunnen worden. Er zijn inmiddels verschillende nieuwe methoden beschikbaar waarmee de levensduur van asfaltconstructies kan worden verlengd.

Route 1 Het verbeteren van de kwaliteit van het nieuw toegepaste bindmiddel (bitumen) in asfaltconstructies

Momenteel wordt de kwaliteit van bitumen vooral bepaald door de penetratiewaarde (P) en het verwekingspunt (N) van het bitumen. Beide eigenschappen geven maar zeer beperkt zicht op de levensduur van het bitumen en daarmee asfaltconstructies. Door meer eisen te stellen aan de materiaaleigenschappen van het toegepaste bindmiddel blijft het bindmiddel langer functioneren en kan vervanging worden uitgesteld. Deze verbetering van de kwaliteit van het bindmiddel kan op twee subroutes gerealiseerd worden. De eerste subroute is het eisen van een betere bitumeneigenschappen inzake veroudering bij de leveranciers van bitumen. Een tweede subroute betreft het toevoegen van additieven of alternatieve bindmiddelen waarmee de kwaliteit verbeterd wordt. Door bitumen in het bindmiddel deel met lignine te vervangen verbeterd de kwaliteit³³. Dit kan ook gerealiseerd worden door bijvoorbeeld het additief SYLVAROAD™ RP1000³⁴ toe te voegen.

Het wijzigen van de samenstelling van het bindmiddel is een circulair risico, omdat hoogwaardige recycling eenvoudiger is naarmate de samenstelling van de materialen minder varieert. Echter, dit geldt voornamelijk voor de penetratiewaarde (P) en het verwekingspunt (N) van het bindmiddel. De andere eigenschappen waren in het verleden ook niet altijd constant en variatie hiervan hoeft geen grotere bedreiging te zijn dan de huidige variatie. Desalniettemin is het verstandig te toetsen of asfalt met het nieuwe (bitumen) bindmiddel te recyclen is samen met traditioneel asfalt.

Route 2 In situ levensduurverlengende technieken

De levensduur van het (bindmiddel in) asfalt kan ook worden verlengd van reeds aangelegde asfaltconstructies. De degradatie van het asfalt wordt voornamelijk veroorzaakt door een steeds verder toenemende hoeveelheid haarscheurtjes. Er zijn verschillende technieken waarmee de levensduur verlenging kan worden gerealiseerd.

Deze techniek van Healroad³⁵ betreft thermische verjonging. De techniek werkt door het toevoegen van metaaldeeltjes (bijvoorbeeld staal) waarmee asfalt lokaal kan worden verwarmd door inductie. Haarscheurtjes in het bitumen zullen weer vervloeien en de sterkte van de asfaltconstructie wordt weer hersteld. Deze metaaldeeltjes hebben waarschijnlijk weinig (negatieve) invloed op de mogelijkheden om

³³ *Persoonlijke mededeling Ted Slaghek van TNO*

³⁴ <http://kraton.com/products/sylvaroad.php>

³⁵ <http://healroad.eu/>

asfalt her te gebruiken. De techniek is waarschijnlijk niet gebruiken op wegvlakken waar bedrading in het asfalt zit.

Preventief asfaltonderhoud door het aanbrengen van een coating op het asfalt waarbij de kwaliteit van het asfalt hersteld naar de oorspronkelijke kwaliteit. Hiervoor is PenTack® van Esha Infra Solutions beschikbaar³⁶. De levensduur van de deklaag kan ongeveer worden verdubbeld.

4.6 AVI-bodemas

4.6.1 Traditionele opwerking AVI-bodemas

De traditionele opwerking van AVI-bodemas bestond grofweg uit de volgende stappen:

- Het verwijderen van ferro- en non-ferrometalen met magneetscheiders respectievelijk non-ferroscheiders (Eddy Currents);
- Het afzeven van de fractie >40 mm;
- Het breken van de fractie >40 mm;
- Het verwijderen van de fractie onverbrand;
- Het rijpen van de AVI-bodemas in een depot. Tijdens dit rijpen wordt de reactiviteit van de assen sterk verminderd en daalt de uitloging van kritische milieuparameters zoals koper en molybdeen.

De AVI-bodemas werd geschikt gemaakt als een niet vrij toepasbare bouwstof die alleen in constructies toegepast mocht worden met IBC-maatregelen. Een toepassing met IBC-maatregelen vormt een blijvend risico voor de eigenaar van een werk en vereist onder andere monitoring van de kwaliteit van het grondwater.

De traditionele recyclingtechniek voor AVI-bodemas is een bestaande recyclingtechniek met TRL 9 als Technology Readiness Level, maar zal in de toekomst niet meer worden toegepast, omdat het toepassingskader voor IBC bouwstoffen per 2020 komt te vervallen (Green Deal Verduurzaming nuttige toepassing AEC-bodemas).

Voor de teruggewonnen metalen is de recyclingtechniek vrijwel circulair. Voor de AVI-bodemas resulteert de recyclingtechniek in recycling van het steenachtig materiaal, maar niet in circulair hergebruik van de materialen voor hun specifieke eigenschappen. Daarnaast is het toepassen van AVI-bodemas uit traditionele opwerking omgeven met risico's door de blijvende noodzakelijk van een IBC-constructie.

4.6.2 Recyclingtechnieken voor vrij toepasbare AVI-bodemas

Er zijn momenteel al twee partijen met een techniek die AVI-bodemas opwerkt tot een vrij toepasbare bouwgrondstof. Heros Sluiskil BV en Ash Cleaning Company Netherlands (ACCN). ACCN is een joint venture van Boskalis en Inashco.

Beide partijen wassen het AVI-bodemas om de fractie kleiner dan 63 µm te verwijderen en gebruiken traditionele scheidingstechnieken voor metalen zoals magneetscheiders en Eddy Current-scheiders aangevuld met de ADR-technologie voor het scheiden van metalen uit de fijne fracties. De recyclingtechnieken resulteren in een beter toepasbare bouwgrondstof en een veel hogere terugwinning van non-ferrometalen. De installatie van Heros Sluiskil BV is reeds in bedrijf en produceert vrij toepasbaar

³⁶ <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/innovatie-en-duurzame-leefomgeving/innovatie/wegeninnovaties/verjongingscremes-voor-asfalt.aspx>

Granova®. Voor ACCN wordt momenteel gebouwd aan een installatie in Amsterdam op het terrein van Afvalzorg Noord-Holland.

Deze recyclingtechniek voor AVI-bodemas is een jonge recyclingtechniek met TRL 9 als Technology Readiness Level.

In vergelijking met de traditionele AVI-bodemasopwerking (zie paragraaf 4.6.1) is er een enorme milieuwinst. Er wordt weliswaar 15% van de AVI-bodemas gestort, maar dat levert wel een substantiële milieuwinst op. Er wordt namelijk een veel groter deel van de metalen teruggewonnen en teruggebracht in de keten. Daarnaast is de AVI-bodemas uiteindelijk vrij toepasbaar. Dit betekent dat er veel minder bouwgrondstoffen noodzakelijk zijn voor de IBC-voorzieningen in de bouwwerken waarin AVI-bodemas wordt toegepast. Ook zijn er minder milieutechnische risico's bij vrij toepasbaar AVI-bodemas. Door het wassen en verwijderen van het grootste deel van de fractie kleiner dan 63 µm treedt verkitting van de AVI-bodemas nauwelijks nog op³⁷.

AVI-bodemas is echter nog steeds geen circulaire toepassing van de materialen, maar wel de best beschikbare techniek voor de recycling van materialen uit de lineaire economie.

4.6.3 AVI-bodemas recycling in beton

Traditioneel wordt AVI-bodemas ongebonden toegepast als ophoogmateriaal in geluidswallen, taluds, wegen en functioneel als bouwstof op stortplaatsen. Door een lastige afzet en een focus op de circulaire economie hebben partijen geïnvesteerd in nieuwe toepassingen voor de minerale grondstoffen in AVI-bodemas. Granova® van Heros Sluiskil, een grote opwerker van AVI-bodemas is zodanig ontwikkeld dat het AVI-bodemas primaire toeslagstoffen in betonwaren kan vervangen. Dit toepassen van Granova® in betonwaren vindt plaats onder BRL 2507 AEC Granulaat als toeslagstof voor beton. Met name in betontegels wordt het Granova® veel toegepast. Toch betreft de afzet in betonwaren slechts een beperkt deel van de afzet van AVI-bodemas.

Een groot voordeel van deze recyclingtechniek is dat het basische karakter van AVI-bodemas functioneel wordt toegepast omdat beton deze basische eigenschappen nodig heeft. Het cement immobiliseert de resterende kleine hoeveelheden zware metalen in het beton. Deze hoeveelheden zware metalen kunnen milieuhygiënisch kritisch zijn, maar als bron voor het recyclen van deze metalen zijn de concentraties veel te klein. De recycling van deze kleine fracties zou teveel energie en middelen vergen ten opzichte van wat je ermee terugwint.

De recyclingtechniek voor granulaten uit AVI-bodemas in betonwaren is een jonge recyclingtechniek met TRL 9 als Technology Readiness Level.

Bij de recyclingtechniek is sprake van recycling omdat het als grondstof voor relatief hoogwaardige minerale producten wordt gebruikt. Er is dan ook sprake van milieuwinst. De enige onzekerheid is dat er nog geen onderzoek is gedaan hoe goed betonwaren met Granova® na hun levenscyclus opnieuw zijn op te werken om in een vergelijkbare toepassing te kunnen worden toegepast. Het verdient aanbeveling dit nu al te onderzoeken en niet te wachten totdat het Granova® grootschalig vrij gaat komen uit werken.

4.6.4 AVI-bodemas recycling in asfalt

Het toepassen van Granova® (zie paragraaf 4.6.3) wordt momenteel getest voor het toepassen in asfaltbeton. Recycling in asfaltbeton lijkt minder aantrekkelijk omdat de eigenschappen van AVI-bodemas veel minder overeenkomen met die van asfaltbeton. De reden hiervoor is dat bij asfaltbeton het

³⁷ *Persoonlijke mededeling Dick Eerland*

bindmiddel bitumen is en dat bitumen van nature niet heel basisch is. De resterende basische eigenschappen Granova® vormen hierbij eerder een risico dan meerwaarde. Bij slijtage of recycling van asfaltbeton kunnen de basische elementen alsnog vrij komen en in het milieu terechtkomen. Het bitumen heeft de eigenschappen niet opgenomen maar ingekapseld.

De recyclingtechniek voor granulaten uit AVI-bodemassas in betonwaren is een jonge recyclingtechniek met TRL 6 als Technology Readiness Level. Bij de juiste zee fracties zal de techniek technisch kunnen worden toegepast. Het knelpunt zit hem in de milieuhygiënische risico's in de gebruiksfase en aan het einde van de levenscyclus.

4.7 EPS-recycling

Geëxpandeerd polystyreen (EPS) is, mits zuiver ingezameld, goed te recyclen. Bij de recycling van EPS moet onderscheid gemaakt worden tussen EPS met en zonder de brandvertrager

Voor EPS zonder HBCDD zijn meerdere recyclingbedrijven. Er is sprake van een courante recyclingtechniek met TRL 9. Bij deze HBCDD-vrije EPS is voor recycling de grootste uitdaging de logistiek omdat de extreem lage dichtheid van 10 à 20 kilogram relatief veel transportcapaciteit vergt.

Hexabromcyclododecaan (HBCDD). HBCDD is een zeer zorgwekkende stof en een materiaal met meer dan 0,1% ZZS mag niet worden gerecycled. Tot 2015 werd HBCDD veel toegepast als brandvertrager in onder andere EPS. Bij EPS met HBCDD mag het EPS pas worden gerecycled als eerst HBCDD zodanig is verwijderd dat minder dan 0,1% resteert. Momenteel loopt een project PolyStyreneLoop³⁸ waarbij de sector gezamenlijk op het terrein van ICL in Terneuzen een installatie ontwikkelt die het EPS oplost waardoor de broomhoudende stoffen te verwijderen zijn en het polystyreen opnieuw geproduceerd kan worden. Deze techniek is nog niet commercieel operationeel en heeft daarom naar inschatting TRL 6 als status van volwassenheid.

4.8 Recyclingtechnieken voor ijzer en staal

4.8.1 Betonijzer

Betonijzer wordt tijdens het sloop- en /of breekproces uit gewapend beton verwijderd. IJzer is met behulp van magneten eenvoudig te scheiden van de andere bouwgrondstoffen en eventueel aanhechtend beton wordt grotendeels tijdens het shredderen van (beton)ijzer verwijderd doordat het losbreekt van het ijzer/staal. Het resterende beton zal tijdens de recycling van staal in de slakfase worden opgenomen en via staalslakken weer worden gerecycled.

De recycling van betonijzer is vrijwel volledig circulair. De enige mits is dat bij de recycling verschillende soorten staal met verschillende legeringen bij elkaar worden gevoegd. Hierdoor worden de legeringselementen niet meer optimaal gebruikt en is het mogelijk dat de resterende toepassingsmogelijkheden voor het staal beperkter zijn geworden.

4.8.2 Constructiestaal

Constructiestaal wordt bij de sloop van een werk of een pand separaat gescheiden. Bij grote stukken of dikke balken wordt eerder op kwaliteit gescheiden. Staallegeringen waarvoor het financieel aantrekkelijk is deze gescheiden te houden doordat separate recyclingkanalen beschikbaar zijn, zullen apart gehouden

³⁸ <https://polystyreneloop.org/>

worden. Desondanks zal ook bij constructiestaal analoog aan betonijzer een deel van de legeringen verloren gaan, tenzij constructiestaal zo ontworpen wordt dat staalementen kunnen worden hergebruikt zonder dat daar een metallurgisch proces voor nodig is. Dit heeft uiteraard de voorkeur zolang het materiaalgebruik per staalement vergelijkbaar blijft.

4.8.3 Recyclingtechnieken

Voor staal zijn twee recyclingtechnieken belangrijk.

Linz-Donawitzproces

Het Linz-Donawitzproces is het proces waar ruw ijzer met staalschroot en zuurstof wordt omgezet in staal. Hierbij kunnen legeringselementen worden toegevoegd om het staal op specificatie te maken. Schroot is niet noodzakelijk voor dit proces, maar wel goed toepasbaar en het roest van het schroot vervangt deels het zuivere zuurstof dat toegevoegd moet worden. Ruw ijzer wordt gemaakt in een hoogoven door ijzererts en cokes te verhitten met de zuurstof uit lucht. Deze recyclingtechniek wordt onder andere bij Tata Steel in IJmuiden toegepast.

Vlamboogoven

Een vlamboogoven is een oven waarbij de warmte wordt toegevoegd door een vlamboog. In feite wordt een situatie van kortsluiting in stand gehouden waardoor er een vlamboog ontstaat met een temperatuur van meer dan 6.000°C. Bij een vlamboogoven is de grondstof meestal 100% schroot, maar ruw ijzer zou ook gebruikt kunnen worden. Door de relatief kleine schaalgrootte kunnen eenvoudig verschillende typen staal worden geproduceerd. Bij het failliete Nedstaal, was een vlamboogoven voor staal aanwezig. In het nabije buitenland zijn vergelijkbare installaties nog aanwezig. Er zijn in Nederland overigens wel plannen voor een nieuwe moderne vlamboogoven in de Eemshaven³⁹.

4.9 Houtrecycling

Houtrecycling vindt vooral plaats via de productie van spaanplaat, MDF, houtvezelplaten en andere producten met geperste houtvezels. Deze producten worden vervolgens weer opnieuw gerecycled of ingezet als biobrandstof. Houtrecyclingbedrijven sorteren afvalhout in de volgende verschillende klassen afhankelijk van het maximale niveau van mogelijk hergebruik:

- Schone planken en/of balken => hergebruik
- A-hout => recycling
- Schoon AB-hout => recycling
- Vuil en/of verweerd AB-hout => nuttige toepassing als biobrandstof
- Vers hout => groenverwerking
- C-hout => nuttige toepassing als biobrandstof

Houtrecycling gaat uiteindelijk om optimaal cascaderen, want hout is een hernieuwbare en circulaire grondstof, maar er zijn twee risico's die circulariteit bedreigen. Het eerste risico is dat niet alle middelen waarmee de levensduur van hout verlengd wordt, circulair zijn. Dit geldt bijvoorbeeld voor verduurzamingsmiddelen met zware metalen. Het tweede risico is dat de assen van hout waarvan uiteindelijk de energie wordt teruggewonnen door verbranding in een assenmengsel belanden, dat niet geschikt is om de nutriënten weer terug te brengen in de bossen.

³⁹ <https://www.eemskrant.nl/staalbedrijf-merksteijn-international-vestigt-zich-eemshaven-275-nieuwe-banen/>

4.10 Bitumenrecycling

Bitumen uit asfaltbeton met nieuwe technieken als LE2AP eerst grotendeels gescheiden van het asfalt en dan uiteindelijk weer samengebracht met de minerale delen van asfalt. Asfaltbeton wordt of opnieuw in asfaltbeton toegepast of grondstof voor AGRAC-funderingen.

Bitumen uit dakbedekkingsmateriaal wordt slechts beperkt gerecycled in bitumen dakbedekkingen en in asfalt. Naast de complexe structuur van meerdere materialen is de mogelijke aanwezigheid van teer is een risico dat ervoor zorgt dat recycling nog geen standaardoplossing is. Bij het recyclen in asfalt spelen (onvoorspelbare) effecten door modificaties een rol bij de afzet. De modificaties kunnen de eigenschappen van asfalt verbeteren, maar je creëert meerdere soorten bindmiddel die bij recycling minder goed te mengen zijn en daardoor circulariteit in gevaar brengen.

4.11 GWW-bouwstoffen nog zonder eigen recyclingtechniek

Er zijn echter ook bouwgrondstoffen in de GWW waarvoor (nog) geen eigen recyclingtechniek beschikbaar is.

Laagwaardige steenachtige ophoogmaterialen

De belangrijkste groep van deze GWW-bouwstoffen betreft gerecyclede bouwgrondstoffen, die nu worden toegepast of in het recente verleden werden toegepast en aanwezig zijn in werken.

Het betreft de volgende bouwgrondstoffen:

- Thermisch Gereinigde Grond (TGG);
- E-bodemas;
- Fosforslakken;
- Koperslakken;
- AVI-bodemas (zowel 'oude' als 'nieuwe');
- MijNSTEEN uit een werk.

Het zijn allemaal steenachtige mengsels die als ophoog- en/of opvulmateriaal zijn toegepast. Dit zijn vaak toepassingen met een zeer lange levensduur. In de toepassing vervullen deze bouwgrondstoffen een nuttige rol. Het knelpunt van deze stoffen is dat ze op het moment van toepassen voldeden aan de regelgeving, maar dat bij deze steenachtige materialen een onzekerheid bestaat of deze in de toekomst nog steeds zijn te recyclen. Voor AVI-bodemas bestaan inmiddels goede technieken om deze op te werken tot vrij toepasbare bouwgrondstoffen, maar het is niet duidelijk in hoeverre deze recyclingtechnieken geschikt zijn voor AVI-bodemas dat uit een werk vrijkomt in de nabije toekomst. Als voor deze bouwgrondstoffen dan geen recyclingtechniek beschikbaar is, kan dat betekenen dat dit soort bouwgrondstoffen niet meer te recyclen is. Dit is zowel een financieel risico voor de eigenaar van een werk als een risico voor de circulaire doelstellingen van de eigenaar van het werk en Nederland als een geheel.

Geotextiel, vliezen en folies

De tweede groep bestaande uit geotextiel, vliezen en folies is een brede groep bouwgrondstoffen die steeds meer wordt toegepast. Het totale gewicht van deze bouwgrondstoffen in werken is relatief zeer beperkt en staat daardoor minder in de belasting. Toch is geotextiel een belangrijke bouwgrondstof. Wanneer deze bouwgrondstoffen uit een werk vrijkomen, zijn ze relatief zwaar vermengd met zand, grond en andere bouwgrondstoffen uit het werk. Bij het verwijderen uit het werk ontstaan vaak beschadigingen waardoor hergebruik niet meer goed mogelijk is. Momenteel bestaan voor deze bouwgrondstoffen met

uitzondering van landbouwfolie-achtige bouwgrondstoffen geen recyclingtechnieken. Toch is recycling van deze bouwgrondstoffen goed mogelijk indien ze per type polymeer/materiaal ingezameld worden.

Vervolgens kan het materiaal geshredderd en gewassen worden. De meeste polymeren zijn dan goed te recyclen. Deze recycling van deze stromen kent de volgende twee knelpunten:

- de schaalgrootte bij inzameling van deze bouwgrondstoffen per type polymeer ontbreekt (nog);
- de cultuur waarbij dit soort afvalstoffen apart gehouden wordt ontbreekt (nog).

Daar komt bij dat het nu nog niet duidelijk is of deze recyclingroutes kosteneffectief kan zijn.

5 Analyse circulariteit bouwgrondstoffen

Voor alle bouwgrondstoffen die in paragraaf 3.1 beschreven zijn, is een circulaire analyse uitgevoerd. Deze analyses staan volledig weergegeven in bijlage B. In de bijlage wordt elke bouwgrondstof separaat behandeld. De circulaire analyse voor de bouwgrondstoffen bespreekt de volgende aspecten:

- Beschrijving bouwgrondstof;
- Milieuhygiënische randvoorwaarden;
- Doelstelling afvalbeleid inzake hergebruik en/of recycling;
- Toepassing bij Rijkswaterstaat;
- Analyse circulariteit;
- Risico's voor circulariteit andere bouwgrondstoffen;
- Beschikbare recyclingtechnieken.

Voor de analyse van de circulariteit van bouwgrondstof zijn de vier volgende vragen uit figuur 2.8 als uitgangspunt gehanteerd:

- Vraag 1: Zijn er toepassingen voor dit materiaal wanneer dit wordt gerecycled/hergebruikt in de volgende levenscyclus?
- Vraag 2: Is na de volgende levenscyclus nog voldoende vraag naar deze toepassingen?
- Vraag 3: Kunnen de specifieke eigenschappen van het materiaal (grotendeels) in de volgende levenscycli opnieuw benut worden?
- Vraag 4: Is er geen negatief effect bij het toepassen van dit materiaal op de hergebruiksmogelijkheden van andere bouwgrondstoffen uit de beoogde toepassing?

Hierbij kan worden gesteld dat een zuivere stof de beste uitgangspositie is om circulair te kunnen zijn, omdat de samenstelling bij hernieuwd gebruik niet van samenstelling verandert. De meeste bouwgrondstoffen bestaan echter niet uit zuivere stoffen, maar uit mengsels van stoffen. Bijvoorbeeld AVI-bodemassas, beton en asfalt. Ook deze bouwgrondstoffen kunnen circulair zijn, maar er is een veel groter risico op verlies aan kwaliteit.

Een materiaal dat zuiver is toegepast is overigens geen garantie op circulariteit. Als het materiaal in het ontwerp is toegepast in kleine (geïntegreerde) onderdelen of dunne lagen kan ondanks de zuiverheid toch sprake zijn van beperkte of niet circulaire bouwstoffen. Voorbeelden hiervan zijn bentonietklei of asfalt die bij het amoveren lastig zonder vervuiling uit elkaar te halen zijn. Een substantieel kwaliteitsverlies bij ten minste een deel van de bouwgrondstoffen is dan onvermijdelijk.

Dit hoofdstuk geeft een samenvatting van de bevindingen per materiaal. Deze bevindingen zijn gegroepeerd in de volgende typen bouwgrondstof:

- Primaire bouwgrondstoffen;
- Secundaire bouwgrondstoffen uit recyclingprocessen;
- Secundaire bouwgrondstoffen uit productieprocessen voor grondstoffen en/of energie;
- Toeslagstoffen in bouwgrondstoffen.

Elke groep bouwgrondstoffen wordt in een eigen paragraaf behandeld met een tabel waarin een analyse van de circulariteit is opgenomen.

In de tabellen zijn indien van toepassing voor de bouwgrondstoffen splitsingen aangebracht tussen de verschillende manieren waarop een bouwgrondstof toegepast kan worden in een werk. Het betreft het onderscheid tussen een demontabele toepassing, als zuivere stroom of als onderdeel van een composiet (mengsel). Voor één en dezelfde bouwgrondstof kunnen namelijk grote verschillen bestaan voor de circulariteit afhankelijk van hoe het toegepast is.

In elke paragraaf is eerst een tabel opgenomen met waar deze bouwgrondstof voornamelijk is toegepast en wordt toegepast. Vervolgens is er een tabel opgenomen waarin per bouwgrondstof de beschikbare recyclingtechnieken weergegeven worden.

Tot slot is er een tabel opgenomen met een analyse van de circulariteit van de bouwgrondstoffen aan de hand van de volgende vier criteria:

- De bouwgrondstof is niet-circulair;
- De bouwgrondstof heeft risico's bij hergebruik;
- De afzet voor deze bouwgrondstof aan het einde van levenscyclus is onzeker;
- De bouwgrondstof is voor Rijkswaterstaat van essentieel belang.

De score op deze vier criteria bepaalt vervolgens of sprake is van een kritische bouwgrondstof waarvoor aanvullende adviezen noodzakelijk zijn bovenop het huidige beleid en regelgeving.

5.1 Primaire bouwgrondstoffen

Tabel 5.1 geeft voor primaire bouwgrondstoffen weer waar deze bouwgrondstoffen zijn toegepast hoe ze momenteel gerecycled worden.

Tabel 5.1 Analyse toepassing en recycling primaire bouwgrondstoffen

Bouwgrondstof	Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Waar is deze bouwgrondstof aanwezig	Type hergebruik / recycling
Baksteen	Demontabel	In demontabele werken zoals bakstenen bestratingen	Hergebruik van losse bakstenen
	Zuivere stroom	Productieafval en het opbreken van baksteenverhardingen	Vervanging 50% van primaire klei
	In een composiet	Het meeste baksteen is toegepast samen met cement in metselwerk.	Recycling in menggranulaat
Basalt	Demontabel	In demontabele werken zoals dijkkeringen	Hergebruik van losse zetstenen of breuksteen.
	Zuivere stroom	Basalt dat bijvoorbeeld als stortsteen is toegepast	Recycling als steenslag in bijvoorbeeld STAB
	In een composiet	Steenslag van basalt dat in bijvoorbeeld STAB of beton is toegepast	Recycling van asfaltbeton of beton
	Demontabel	In demontabele werken zoals dijkkeringen	Hergebruik van breuksteen.

Bouwgrondstof	Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Waar is deze bouwgrondstof aanwezig	Type hergebruik / recycling
Breuksteen	Zuivere stroom	Breuksteen dat als stortsteen is toegepast	Recycling als steenslag in bijvoorbeeld STAB
	In een composiet	Steenslag van breuksteen dat in bijvoorbeeld STAB of beton is toegepast	Recycling van asfaltbeton of beton
EPS	Demontabel	In demontabele werken	Hergebruik van losse platen
	Zuivere stroom	Snijafval en reststukken van hergebruik en vrijgekomen bij selectief slopen.	Chemische recycling bij aanwezigheid van HBCDD of directe recycling wanneer geen HBCDD aanwezig is
Geotextiel	Demontabel	In demontabele werken	Na wassen recycling. Voor hergebruik bestaat teveel onzekerheid over de restkwaliteit.
	Zuivere stroom	In demontabele werken	Recycling na reinigen. Commercieel (nog) niet aantrekkelijk
Graniet	Demontabel	In demontabele werken zoals dijkkeringen	Hergebruik van losse zetstenen of breuksteen.
	Zuivere stroom	Graniet dat bijvoorbeeld als stortsteen is toegepast	Recycling als steenslag in bijvoorbeeld STAB
	In een composiet	Steenslag van graniet dat in bijvoorbeeld STAB of beton is toegepast	Recycling van asfaltbeton of beton
Grind	Demontabel	Grindverhardingen	Na wassen en zeven wordt grind opnieuw gebruikt
	Zuivere stroom	Zeer beperkt in onder andere filterlagen	Hergebruik
	In een composiet	In beton In grindasfaltbeton (GAB)	Recycling <ul style="list-style-type: none"> • in menggranulaat via beton, • in beton via grindvervangend betongranulaat • in regeneratie-asfalt via freesasfalt
Hout	Demontabel	De meeste toepassingen zijn demontabel	<ul style="list-style-type: none"> • Recycling voor onbehandeld zaaghout • Recycling voor verweerd vers hout • groenverwerking • Nuttige toepassing voor behandeld of geveerd hout
	Zuivere stroom	Houtsnippers op (duin)paden	Deze gaan door vertering op in de bodem
Landzand	Zuivere stroom	In allerlei toepassingen bijvoorbeeld in een cunet	Hergebruik

Bouwgrondstof	Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Waar is deze bouwgrondstof aanwezig	Type hergebruik / recycling
	In een composiet	In beton In asfaltbeton	Recycling <ul style="list-style-type: none"> in menggranulaat via beton, in beton via grindvervangend betongranulaat in regeneratie-asfalt via freesasfalt
Ijzer	Demontabel	Staalconstructies, damwanden, leidingen gietijzer voor putten,	Hergebruik is mogelijk, maar hangt af van de vraag naar het specifieke object en de mate van verwerking
	Zuivere stroom	Staalconstructies, damwanden, leidingen gietijzer voor putten,	Recycling
	In een composiet	In betonijzer	Recycling via een puinbreker
Zeezand	Zuivere stroom	Toepassing als ophoog- en/of opvulmateriaal	Recycling in een vergelijkbare toepassing

Tabel 5.2 geeft de beschikbare recyclingtechnieken voor primaire bouwgrondstoffen weer.

Tabel 5.2 Recyclingtechnieken voor primaire bouwgrondstoffen

Bouwgrondstof	Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
Baksteen	Hergebruik bakstenen	Ja	TRL9
	Recycling als grondstof voor baksteenproductie. Beschadigde bakstenen of afval van bakstenen dat niet vermengd is met andere afvalstoffen uit bijvoorbeeld bestrating of productieafval is te recyclen in een vergelijkbare toepassing. Hierbij wordt klei deels vervangen bij de productie van nieuwe (bak)stenen. Dit bespaart zowel energie als klei. Er zijn inmiddels bedrijven ⁴⁰ die deze techniek commercieel toepassen.	Ja, maar nog een beperkt marktvolume	TRL9
	Recycling in menggranulaat via puinbrekers	Ja	TRL9
Basalt	Hergebruik basalt	Ja	TRL9
	Hergebruik basalt als steenslag na verkleining in een breker	Ja	TRL9
	Recycling basalt via puinbrekers in menggranulaat	Ja	TRL9
Breuksteen	Hergebruik breuksteen	Ja	TRL9
	Hergebruik breuksteen als steenslag na verkleining in een breker	Ja	TRL9
	Recycling breuksteen in menggranulaat via puinbrekers	Ja	TRL9
EPS	Directe recycling in isolatiematerialen voor woningen of in nieuw geperst EPS ⁴¹	Ja	TRL9

⁴⁰ <https://www.stonecycling.com/>

⁴¹ Airpop® (EPS), 100% recyclebaar en duurzaam – Stybenex - 2015

Bouwgrondstof	Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
	Recycling van zuiver EPS zonder HBCDD	Ja	TRL9
	Chemisch recyclen EPS met verwijdering van HBCDD ⁴²	Ja, eind 2018, maar een demonstratie-installatie	TRL6
Geotextiel	Geen specifieke recyclingtechnieken beschikbaar	Nee	N.v.t
Graniet	Hergebruik graniet als steenslag na verkleining in een breker	Ja	TRL9
	Recycling graniet in menggranulaat via puinbrekers	Ja	TRL9
Grind	Hergebruik grind	Ja	TRL9
	Hergebruik grind als steenslag na verkleining in een breker	Ja	TRL9
	Recycling grind in menggranulaat via puinbrekers	Ja	TRL9
Hout	Hergebruik houten elementen in andere werken. Bijvoorbeeld palen en paaltjes	Ja	TRL9
	Recycling via afvalhout in bijvoorbeeld de productie van spaanplaat of MDF.	Nee, maar wel in buurlanden	TRL9
Landzand	Hergebruik landzand	Ja	TRL9
	Hergebruik landzand in betonproductie	Ja	TRL9
	Hergebruik landzand in asfaltproductie	Ja	TRL9
	Natte extractieve reiniging van verontreinigd landzand	Ja	TRL9
	Thermische reiniging van verontreinigd landzand	Ja	TRL9
IJzer	In het Linz-Donawitz proces waarbij ruwijzer van een hoogoven wordt omgezet in staal.	Ja	TRL9
	In een vlamboogoven kan schroot worden omgezet in nieuw staal.	Nee, niet meer wel in buurlanden	TRL9
Zeezand	Zeezand wordt alleen als monostroom toegepast en heeft daarom geen recyclingtechniek nodig.	N.v.t.	N.v.t.

Voor de primaire bouwstoffen zijn recyclingtechnieken goed beschikbaar.

⁴² <http://www.nrkrecycling.nl/nieuws/nieuws-detail?newsitemid=1102249993>

Tabel 5.3 geeft voor primaire bouwgrondstoffen een analyse van de circulariteit weer.

Tabel 5.3 Analyse circulariteit primaire bouwgrondstoffen

Bouwgrondstof	Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Risico's bij hergebruik	Toekomstige vraag	Relevantie voor RWS	Kritisch
Baksteen	Demontabel	Circulair	Klein	Voldoende	Zeer beperkt	Nee
	Zuivere stroom	Recycling	Klein	Voldoende	Zeer beperkt	
	In een composiet	Recycling	Klein	Voldoende	Beperkt	
Basalt	Demontabel	Circulair	Klein	Voldoende	Groot	Nee
	Zuivere stroom	Circulair	Klein	Voldoende	Groot	
	In een composiet	Recycling maar niet volledig circulair	Klein	Voldoende	Vrij beperkt	
Breuksteen	Demontabel	Circulair	Klein	Voldoende	Groot	Nee
	Zuivere stroom	Circulair	Klein	Voldoende	Groot	Nee
	In een composiet	Recycling maar niet volledig circulair	Klein	Voldoende	Vrij beperkt	
EPS	Demontabel	Circulair en hoogwaardig hergebruik	Klein	Voldoende	Beperkt	Nee
	Zuivere stroom	Circulair mits schoon ingezameld anders niet-circulair	Klein	Voldoende	Beperkt	
Geotextiel	Demontabel	Circulair	Klein	Voldoende	Groot, maar relatief kleine volumes	Ja
	Zuivere stroom	Nog niet circulair	Klein	Voldoende	Beperkt	
Graniet	Demontabel	Circulair	Klein	Voldoende	Groot	Nee
	Zuivere stroom	Circulair	Klein	Voldoende	Groot	
	In een composiet	Recycling maar niet volledig circulair	Klein	Voldoende	Vrij beperkt	
Grind	Demontabel	Circulair	Klein	Voldoende	Zeer beperkt	Nee
	Zuivere stroom	Recycling	Klein	Voldoende	Zeer beperkt	
	In een composiet	Recycling	Klein	Voldoende	Groot	
Hout	Demontabel	Circulair omdat hout hernieuwbaar is en van nature in toepassingen degenereert	Klein	Voldoende	Beperkt	Nee
	Zuivere stroom	Recycling	Klein	Voldoende	Zeer beperkt	
Landzand	Zuivere stroom	Circulair indien het gescheiden uit een werk terugneembaar is	Klein	Voldoende	Groot	Nee

Bouwgrondstof	Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Risico's bij hergebruik	Toekomstige vraag	Relevantie voor RWS	Kritisch
	In een composiet	Recycling	Klein	Voldoende	Groot	
IJzer	Demontabel	Circulair	Klein	Voldoende	Beperkt	Nee
	Zuivere stroom	Circulair	Klein	Voldoende	Groot	
	In een composiet	Circulair	Klein	Voldoende	Vrij groot	
Zeezand	Zuivere stroom	Circulair	Klein	Voldoende	Zeer Groot	Nee

De enige primaire bouwgrondstof die kritisch is, is geotextiel. Geotextiel is kritisch omdat het vooralsnog niet recyclebaar is en daarmee is er ook geen andere afzet aan het einde van de levenscyclus dan nuttige toepassing door energierecuperatie. Geotextiel is voor Rijkswaterstaat een belangrijke bouwgrondstof, maar het absolute tonnage is beperkt. Voor geotextiel zijn in hoofdstuk 6 adviezen opgenomen.

5.2 Secundaire bouwgrondstoffen uit recyclingprocessen

Tabel 5.4 geeft voor secundaire bouwgrondstoffen uit recyclingprocessen weer waar deze bouwgrondstoffen zijn toegepast hoe ze momenteel gerecycled worden.

Tabel 5.4 Analyse toepassing en recycling secundaire bouwgrondstoffen uit recyclingprocessen

Bouwgro ndstof	Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Waar is deze bouwgrondstof aanwezig	Type hergebruik / recycling
'Oude' AVI-bodemassen	Zuivere stroom	Toegepast als fundering onder wegen en vulmateriaal taluds en geluidswallen	Recyclebaarheid is nog onduidelijk, omdat de IBC-categorie komt te vervallen en niets geregeld is voor deze stroom zal dit vooralsnog resulteren in storten tot een opwerkmethode beschikbaar komt.
'Nieuwe' AVI-bodemassen	Zuivere stroom	Toegepast als fundering onder wegen en vulmateriaal taluds en geluidswallen	Recycling voor vrij toepasbaar AVI-bodemassen
AVI-vliegas	Zuivere stroom	Incidenteel in het verleden toegepast voor verharding	Storten
	In een composiet	Voorheen toegepast in slijtlagen van asfalt	Recycling in asfalt of AGRAC wanneer geen PAK aanwezig is
ECO filler	In een composiet	Toepassing in beton en asfalt	Hergebruik in asfalt, beton, AGRAC of menggranulaat
ECO granulaat	In een composiet	Toepassing in beton en asfalt	Hergebruik in asfalt, beton, AGRAC of menggranulaat
ECO zand	In een composiet	Goed geschikt voor dit type recycling	Hergebruik in asfalt, beton, AGRAC of menggranulaat

Bouwgro ndstof	Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Waar is deze bouwgro ndstof aanwezig	Type hergebruik / recycling
Immobilis aat	Demontabel	In demontabele blokken	Hergebruik
	In een composiet	Gebroken immobilis aat in asfalt of beton toegepast	Recycling
Nat extractief gereinigde grond	Zuivere stroom	Toegepast als ophoogmateriaal	Hergebruik als ophoogmateriaal
Thermisch gereinigde grond	Zuivere stroom	Toepassing in wegenbouw en als ophoogmateriaal	Hergebruik

Tabel 5.5 geeft de beschikbare recyclingtechnieken voor secundaire primaire bouwgro
ndstoffen uit recyclingprocessen weer.

**Tabel 5.5 Recyclingtechnieken voor secundaire bouwgro
ndstoffen uit recyclingprocessen**

Bouwgro ndstof	Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
AVI-bodem as	Traditionele opwerking en veroudering AVI-bodem as	Ja	TRL9
	Traditionele opwerking AVI-bodem as aangevuld met wassen en ADR- technologie (Heros Sluiskil BV en Ash Cleaning Company Netherlands)	Ja	TRL9
	AVI-bodem as recycling in beton	Ja	TRL9
AVI-vlieg as	AVI-vlieg as mag niet meer worden gerecycled	N.v.t.	N.v.t.
ECO filler	Recycling via bouwgro ndstof waarin het is toegepast	N.v.t.	N.v.t.
ECO granu laat	Recycling via bouwgro ndstof waarin het is toegepast	N.v.t.	N.v.t.
ECO zand	Recycling via bouwgro ndstof waarin het is toegepast	N.v.t.	N.v.t.
Immobilis aat	Breken tot steenslag of menggranu laat Hierbij is het verstandig vooraf te toetsen of de immobilisatie voldoende is om de test met de kolomproef succesvol te doorstaan.	Ja	TRL9
Nat extractief gereinigde grond	De recyclingtechniek voor nat extractief gereinigde grond zal afhangen van de kwaliteit en gelijk moeten zijn/worden aan klasse industrie	Ja	TRL9
Thermische gereinigde grond	De recyclingtechniek voor TGG zal afhangen van de kwaliteit en gelijk moeten zijn/worden aan klasse industrie	Ja	TRL9

Voor secundaire bouwgro
ndstoffen afkomstig van recyclingprocessen zijn voor de materialen waarvoor recycling is toegestaan recyclingtechnieken beschikbaar. Echter, zowel de recyclingtechnieken als het beleid waaronder deze bouwgro
ndstoffen worden gerecycled gaan uit van slechts één levenscyclus. De mate waarin deze recyclingtechnieken geschikt zijn voor het opwerken voor weer een nieuwe gebruikscyclus is onduidelijk. Daar komt bij dat regelgeving verandert en strenger wordt. Sommige bouwgro
ndstoffen zullen niet meer toepasbaar zijn. Dit laatste geldt overigens ook voor een primaire bouwgro
ndstof als flugzand dat tegenwoordig milieuhygiënisch niet meer toepasbaar is.

Tabel 5.6 geeft voor secundaire bouwgrondstoffen uit recyclingprocessen een analyse van de circulariteit weer.

Tabel 5.6 Analyse circulariteit secundaire bouwgrondstoffen uit recyclingprocessen

Bouwgro ndstof	Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Risico's bij hergebruik	Toekom- stige vraag	Relevantie voor RWS	Kritisch
'Oud' AVI- bodemas	Zuivere stroom	Circulair in een laagwaardige toepassing of niet-circulair bij onvoldoende milieuhygiënische kwaliteit	Groot	Onzeker	Groot	Ja
AVI- vliegas	Zuivere stroom	Niet circulair	Groot	N.v.t.	Zeer beperkt	Ja
	In een composiet	Niet circulair	Relatief groot	Afhankelijk van composiet	Vrij beperkt	
ECO filler	In een composiet	Recycling	N.v.t.	N.v.t.	Waarschijnlijk aanwezig	Nee
ECO granulaat	In een composiet	Recycling	N.v.t.	N.v.t.	Waarschijnlijk aanwezig	Nee
ECO zand	In een composiet	Recycling	N.v.t.	N.v.t.	Onbekend	Nee
Immobilis aat	Demontabel	Circulair, maar laagwaardige toepassing	Klein	Onduidelijk	Zeer beperkt	Nee
	In een composiet	Recycling	Onzeker		Onbekend	
Nat extractief gereinigde grond	Zuivere stroom	Circulair, maar laagwaardige toepassing	Beperkt	Onzeker	Onbekend ⁴³	Nee
Thermisch gereinigde grond	Zuivere stroom	Circulair, maar laagwaardige toepassing	Beperkt mits juist toegepast	Onzeker	Onbekend ⁴⁴	Nee

Alle beschouwde secundaire bouwgrondstoffen worden gebruikt voor laagwaardige toepassingen waarbij de afzet in de toekomst mogelijk minder wordt, omdat de verwachting dat de vraag naar laagwaardige ophoogmaterialen bij Rijkswaterstaat gaat afnemen. Voor Rijkswaterstaat is echter AVI-bodemas kritisch omdat deze bouwgrondstof ook substantieel is toegepast. Voor AVI-bodemas is in hoofdstuk 6 een advies opgenomen.

⁴³ Wordt gemeld als grond dus niet specifiek inzichtelijk te krijgen.

⁴⁴ Wordt gemeld als grond dus niet specifiek inzichtelijk te krijgen.

5.3 Secundaire bouwgrondstoffen uit productieprocessen voor grondstoffen

Tabel 5.7 geeft voor secundaire bouwgrondstoffen uit industriële processen weer waar deze bouwgrondstoffen zijn toegepast hoe ze momenteel gerecycled worden.

Tabel 5.7 Analyse toepassing en recycling secundaire bouwgrondstoffen uit productieprocessen voor grondstoffen

Bouwgrond stof	Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Waar is deze bouwgrondstof aanwezig	Type hergebruik / recycling
E-bodemass	Zuivere stroom	Toepassing als ongebonden fundering	Recycling als de kwaliteit voldoende is
	In een composiet	Toepassing als toeslagstof in beton en/of asfalt	<ul style="list-style-type: none"> • Recycling in menggranulaat, asfalt • Recycling in AGRAC
LD- en ELO-staalslakken	Zuivere stroom	In stortsteen voor oeverbescherming, voor reparaties,	<ul style="list-style-type: none"> • Hergebruik als staalslakken • Recycling in hydraulisch menggranulaat • Recycling in cementproductie
	In een composiet	<ul style="list-style-type: none"> • In hydraulisch menggranulaat dat in funderingen wordt toegepast • In hoogovencement 	<ul style="list-style-type: none"> • Recycling in menggranulaat of via betongranulaat in beton
Fosforslakken	Zuivere stroom	<ul style="list-style-type: none"> • Als uitneembare monostroom toegepast in fundering. • Als stortsteen in de zilte waterbouw. 	Recycling als monostroom of via een breker.
	In een composiet	Fosforslakken zijn toegepast in FAB (Fosforslak Asfalt Beton)	Dit asfalt zal waarschijnlijk via reguliere asfaltrecycling worden gerecycled.
Hoogovenslakken	Demontabel	Toepassing als stortsteen	Hergebruik als stortsteen
	Zuivere stroom	In stortsteen voor oeverbescherming en voor reparaties	<ul style="list-style-type: none"> • Hergebruik als hoogovenslakken • Recycling in hydraulisch menggranulaat • Recycling in cement-productie
	In een composiet	In hoogoven-cement	Recycling in menggranulaat of via betongranulaat in beton
Koperslakken	Demontabel	Als koperkeien voor bekleding van bijvoorbeeld een dijk	Hergebruik buiten Rijkswaterstaat
	Zuivere stroom	Als stortsteen of wegfundering	Afvoeren naar een stortplaats wanneer het geconcentreerd materiaal betreft
Loodslakken	Zuivere stroom	Als stortsteen of wegfundering	Afvoeren naar een stortplaats wanneer het geconcentreerd materiaal betreft

Bougrondstof	Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Waar is deze bouwgrondstof aanwezig	Type hergebruik / recycling
Mijnsteen	Zuivere stroom	Toegepast als onder andere oeverbestorting, middenberm of havenbodem	Recycling indien milieuhygiënisch mogelijk anders afvoeren
Zinkassen	Zuivere stroom	Als stortsteen of wegfundering	Afvoeren naar een stortplaats wanneer het geconcentreerd materiaal betreft

Tabel 5.8 geeft de beschikbare recyclingtechnieken voor secundaire primaire bouwgrondstoffen uit industriële productieprocessen voor grondstoffen weer.

Tabel 5.8 Recyclingtechnieken voor secundaire bouwgrondstoffen uit productieprocessen voor grondstoffen

Bougrondstof	Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
LD- en ELO-staalslakken	Hergebruik in beton of asfalt	Ja	TRL9
	Hergebruik staalslakken	Ja	TRL9
	Recycling in hydraulisch menggranulaat via een puinbreker	Ja	TRL9
Fosforslakken	Hergebruik fosforslak in vergelijkbare toepassing	Ja	TRL9
	Recycling als steenslag in beton en/of asfalt	Ja	TRL9
Hoogovenslakken	Hergebruik hoogovenslakken	Ja	TRL9
	Recycling in hydraulisch menggranulaat via een puinbreker	Ja	TRL9
Koperslakken	Bij koperslakken kunnen alleen vormgegeven stenen/tegels opnieuw worden hergebruikt. Anders is recycling niet goed mogelijk.	N.v.t.	N.v.t.
Loodslakken	Loodslakken mogen niet gerecycled worden	N.v.t.	N.v.t.
Mijnsteen	Indien milieuhygiënische toepasbaar recycling als ophoogmateriaal	N.v.t.	N.v.t.
Zinkassen	Loodslakken mogen niet gerecycled worden	N.v.t.	N.v.t.

Tabel 5.9 geeft voor secundaire bouwgrondstoffen uit productieprocessen voor grondstoffen een analyse van de circulariteit weer.

Tabel 5.9 Analyse circulariteit secundaire bouwgrondstoffen uit productieprocessen voor grondstoffen

Bouwgrond stof	Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Risico's bij hergebruik	Toekomstige vraag	Relevantie voor RWS	Kritisch
E-bodemass	Zuivere stroom	Recycling	Klein	Voldoende	Zeer beperkt	Nee
	In een composiet	<ul style="list-style-type: none"> Circulair bij opnieuw toepassing in beton of asfalt Recycling bij toepassen in AGRAC 	Klein	Voldoende	Beperkt	
LD- en ELO-staalslakken	Zuivere stroom	Circulair/recycling	Beperkt door hoge pH	Voldoende	Groot	Nee
	In een composiet	Recycling		Voldoende	Groot	
Fosfor-slakken	Zuivere stroom	Circulair	Mogelijk	Voldoende	Groot	Ja
	In een composiet	Recycling	Mogelijk	Voldoende	Zeer beperkt	
Hoogoven-slakken	Demontabel	Circulair	Beperkt door hoge pH	Voldoende	Groot	Nee
	Zuivere stroom	Circulair/recycling		Voldoende	Groot	
	In een composiet	Recycling	Klein	Voldoende	Groot	
Koper-slakken	Demontabel	Circulair	Groot	Geen	Zeer beperkt	Ja
	Zuivere stroom	Niet-circulair	Groot	Geen	Vrij beperkt	
Lood-slakken	Zuivere stroom	Niet-circulair	Groot	Geen	Beperkt	Ja
Mijnsteen	Zuivere stroom	<ul style="list-style-type: none"> Recycling voor toepasbare kwaliteiten Niet-circulair voor niet-toepasbare kwaliteiten 	Vrij groot	Geen voor 'oude' mijnsteen	Vrij groot	Ja
Zinkassen	Zuivere stroom	Niet-circulair	Groot	Geen	Beperkt	Ja

Loodslakken, zinkassen en koperslakken zijn voor circulariteit kritisch omdat ze de milieuhygiënische kwaliteit van andere bouwgrondstoffen negatief beïnvloeden. Recycling van loodslakken en zinkassen is ondertussen niet meer toegestaan. Koperslakken mogen alleen nog maar vormgegeven worden toegepast en zijn daarmee circulair een probleem als hergebruik niet mogelijk is. Voor mijnsteen geldt dat een groot deel van het in het verleden toegepaste mijnsteen ondertussen niet meer milieuhygiënisch toepasbaar is en dat recycling daarvan de kwaliteit van het hergebruik kan bedreigen. Daar komt bij dat de civieltechnische kwaliteit beperkt is en afzet mogelijk moeilijk zal zijn.

Fosforslakken zijn goed te recyclen, maar liggen kritisch met de aanwezigheid van natuurlijke radioactiviteit net onder de grenswaarden. Daar komt bij dat door de implementatie van de richtlijn

2013/59/Euratom⁴⁵ de grenswaarden voor vrijgave fosforslakken is verlaagd van 100 tot 1 Bq/g⁴⁶. Deze verlaging zou voor een deel van de historisch vrijgegeven fosforslakken een knelpunt kunnen zijn bij het opnieuw toepassen. Of dit het geval is en de mate waarin is op dit moment nog niet bekend. De laatste decennia zijn de fosforslakken al geproduceerd om aan de vrijgavegrenswaarde van 1 Bq/g te voldoen.

5.4 Toeslagstoffen in bouwgrondstoffen

Tabel 5.10 geeft voor toeslagstoffen in bouwgrondstoffen weer waar deze bouwgrondstoffen zijn toegepast hoe ze momenteel gerecycled worden.

Tabel 5.10 Analyse toepassing en recycling toeslagstoffen in bouwgrondstoffen

Bouwgro ndstof	Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Waar is deze bouwgrondstof aanwezig	Type hergebruik / recycling
Betonijzer	In een composiet	Het meeste betonijzer zit in beton	Recycling in nieuw staal
Bitumen	In een composiet	Bitumen is bij RWS voornamelijk toegepast in asfalt	Recycling in asfalt
			Recycling in AGRAC
Cement	In een composiet	Toegepast in met name beton, metselwerk en immobilisaat	<ul style="list-style-type: none"> • Recycling in beton • Recycling in menggranulaat
Composiet- vezels	In een composiet	Aanwezig in sommige soorten beton, asfalt	Lastig her te gebruiken te meer daar het maar een fractie van de bouwstof betreft waarin het is toegepast.
E-vliegas	In een composiet	Toegepast in met name beton, metselwerk en immobilisaat	<ul style="list-style-type: none"> • Recycling in beton • Recycling in menggranulaat
Lignine	In een composiet	Toegepast als grondstof voor bitumen	<ul style="list-style-type: none"> • Via recycling van asfalt

Tabel 5.11 geeft de beschikbare recyclingtechnieken voor toeslagstoffen voor bouwgrondstoffen uit productieprocessen voor grondstoffen weer.

Tabel 5.11 Recyclingtechnieken voor toeslagstoffen in bouwgrondstoffen

Bouwgrondstof	Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
Betonijzer	Recycling via staalproductie bij een hoogoven	Ja	TRL9

⁴⁵ Richtlijn 2013/59/Euratom van de Raad van 5 december 2013 tot vaststelling van de basisnormen voor de bescherming tegen de gevaren verbonden aan de blootstelling aan ioniserende straling, en houdende intrekking van de Richtlijnen 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom en 2003/122/Euratom

⁴⁶ Processen met natuurlijke radioactiviteit in de niet-nucleaire industrie in Nederland – geactualiseerde basisinformatie – RIVM – 2017-0042

Bouwgrondstof	Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
	Recycling via vlamboogoven.	Niet meer wel in buurlanden	TRL9
Bitumen	Hergebruik freesasfalt in regeneratieasfalt	Ja	TRL9
	Recycling freesasfalt in AGRAC	Ja	TRL9
	Recycling dakbitumen in asfalt	Ja	TRL9
Cement	Slim breken recyclet daadwerkelijk het cement om haar eigenschappen als hydraulisch bindmiddel	Nog niet	TRL 6
	C2CA beton recyclet het cement maar gedeeltelijk om eigenschappen als hydraulisch bindmiddel	Ja, maar (nog) beperkt	TRL 9
	Puinbreker recyclet alleen steenachtig materiaal maar niet de specifieke eigenschappen als hydraulisch bindmiddel	Ja	TRL 9
Composietvezels	Voor composietvezels zijn nog geen recyclingtechnieken beschikbaar	N.v.t.	N.v.t.
Lignine	Recycling via bouwgrondstof waarin het is toegepast	N.v.t.	N.v.t.

Tabel 5.12 geeft voor toeslagstoffen in bouwgrondstoffen een analyse van de circulariteit weer.

Tabel 5.12 Analyse circulariteit toeslagstoffen in bouwgrondstoffen

Bouwgro ndstof	Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Risico's bij hergebruik	Toekom- stige vraag	Relevantie voor RWS	Kritisch
Betonijzer	In een composiet	Circulair	Klein	Voldoende	Beperkt	Nee
Bitumen	In een composiet	Hoogwaardig	Klein	Voldoende	Groot	Ja
		Laagwaardig	Klein	Voldoende	Groot	
Cement	In een composiet	Laagwaardige recycling, maar niet circulair	Klein	Voldoende	Groot	Ja
Composietvezels	In een composiet	Recycling, maar laagwaardig en vaak alleen nuttige toepassing	Klein	Voldoende	Nog zeer beperkt	Nee
E-vliegas	In een composiet	Recycling	Klein	Voldoende	Vrij groot	Nee

Bouwgro ndstof	Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Risico's bij hergebruik	Toekom- stige vraag	Relevantie voor RWS	Kritisch
Lignine	In een composiet	Waarschijnlijk circulair	Klein	Voldoende	Nog niet van toepassing	Nee

Cement en bitumen zijn kritische stoffen. Beide bindmiddelen zijn zeer belangrijk voor Rijkswaterstaat en worden in vrijwel elk werk toegepast.

Cement wordt wel als steenachtig materiaal gerecycled, maar cement wordt maar zeer beperkt gerecycled voor specifieke eigenschappen als hydraulisch bindmiddel. Als cement via beton(granulaat) wordt gerecycled gaat het grootste deel van de hydraulische eigenschappen van het bindmiddel verloren. Hierdoor is cement op het moment nog niet circulair. Dit terwijl de productie van cement van alle steenachtige bouwgrondstoffen veruit de meeste energie vergt.

Bitumen wordt voor het grootste deel gerecycled als bindmiddel in nieuw asfaltbeton. Toch gaat bij de (economische) keuze van AGRAC veel bitumen verloren als bindmiddel voor toekomstige toepassingen. Daarom is bitumen deels niet circulair.

6 Conclusies en aanbevelingen voor circulaire bouwgrondstoffen

6.1 Conclusies

In dit onderzoek zijn de belangrijkste (secundaire) bouwgrondstoffen die door Rijkswaterstaat zijn of worden toegepast (kwalitatief) in beeld gebracht en is onderzocht in hoeverre deze bouwgrondstoffen circulair zijn her te gebruiken.

In het onderzoek zijn 34 (in het verleden) toegepaste bouwgrondstoffen in beeld gebracht. Asphalt, beton, menggranulaat en gerecyclede kunststoffen zijn in 2016 al onderzocht⁴⁷. Voor grond en baggerspecie worden op korte termijn de resultaten verwacht van een verkenning naar de betekenis van CE voor de grond(verzet)keten. Een compleet en onderbouwd overzicht van welke bouwstoffen waar, wanneer en in welke hoeveelheden zijn toegepast, is niet beschikbaar omdat:

- Dit soort gegevens (in het verleden) niet structureel zijn bijgehouden door RWS. Met name vanaf de periode waarbij RWS functioneel is gaan specificeren, zijn dit soort gegevens alleen nog beschikbaar in het geheugen van enkele medewerkers van Rijkswaterstaat die in het verleden betrokken zijn geweest in de uitvoering;
- Bouwstoffen onder het Besluit bodemkwaliteit gemeld worden onder de generieke noemer bouwstoffen en niet specifiek per type bouwstof.

Van de 34 onderzochte bouwgrondstoffen zijn er 10 kritisch ten aanzien van circulair hergebruik omdat:

- De toekomstige vraag naar de teruggewonnen bouwgrondstof onvoldoende is;
- De specifiek eigenschappen van de bouwgrondstof niet behouden blijven bij recycling en de bouwgrondstof daardoor slechts laagwaardig kan worden hergebruikt;
- Hergebruik van de bouwgrondstof de circulariteit (of hoogwaardigheid van recycling) van andere bouwgrondstoffen in een werk onder druk zet.

Onderstaande tabel geeft overzicht van de klassen van kritische bouwgrondstoffen:

Klasse	Kritische bouwgrondstof	Oorzaak kritisch voor circulair hergebruik
Komt alleen nog maar vrij uit werken en wordt niet meer toegepast	'Oude' AVI-bodemass	Deze bouwgrondstof is milieuhygiënisch na 2020 waarschijnlijk niet meer direct opnieuw toe te passen zonder milieuhygiënische opwerking van het vrijkomende materiaal ⁴⁸ . Een techniek voor opwerking is voor 'oude' AVI-bodemass nog niet ontwikkeld en beschikbaar.
	AVI-vliegas	Deze bouwgrondstof is milieuhygiënisch niet-recyclebaar, want de minimumstandaard is storten al dan niet na immobilisatie. Na 2010 is het niet meer toegepast en daarvoor voornamelijk in slijtlagen die inmiddels al grotendeels vervangen zijn.

⁴⁷ Onderzoek naar de risico's bij het toepassen van niet circulaire materialen – HaskoningDHV- Erik van Dijk - 2016

⁴⁸ Toepassing van IBC bouwstoffen is toegestaan tot 2020, er is beleidsmatig voor gekozen de IBC categorie in het aanvullingsbesluit bodem niet meer op te nemen.

Klasse	Kritische bouwgrondstof	Oorzaak kritisch voor circulair hergebruik
	Fosforslakken	Fosforslakken zijn sub kritisch radioactief en kunnen bij het verlagen van wettelijke normen inzake licht radioactieve materialen kritisch worden. De huidige normen vormen geen belemmering voor hergebruik van materiaal dat in het verleden aan de normen voldeed.
	Loodslakken en zinkassen	Deze bouwgrondstoffen zijn milieuhygiënisch niet-recyclebaar, want ze voldoet niet aan de eisen van het Besluit bodemkwaliteit. Maar toepassing was al voor het Bouwstoffenbesluit uit 1999 niet meer toegestaan.
	'Oude' mijnsteen	Deze bouwgrondstof is milieuhygiënisch niet-recyclebaar, want het voldoet niet aan de eisen van het Besluit bodemkwaliteit.
Komt vrij uit werken en wordt ook nog steeds toegepast als bouwgrondstof	'Nieuwe' AVI-bodemas	'Nieuwe' AVI-bodemas is milieuhygiënisch vrij toepasbaar, maar het risico op verwarring met 'oude' AVI-bodemas maakt het kritisch. Nog onbekend is in welke staat dit materiaal op termijn vrij komt bij wegreconstructies.
	Koperslakken	Zolang deze bouwgrondstof vormgegeven is, zijn er geen milieuhygiënische risico's en is hergebruik mogelijk. Indien het materiaal verbrokkelt (niet-vormgegeven) vrijkomt is hergebruik en ook opwerking niet meer mogelijk en dient het verwijderd te worden.
	Geotextiel	Geotextiel is een zeer nuttige bouwgrondstof die het circulair toepassen van andere bouwgrondstoffen kan verbeteren. Bij het toepassen van geotextiel en de selectie van het type geotextiel wordt momenteel echter onvoldoende aandacht gegeven aan hoe en of dit kan worden hergebruikt.
Toeslagstoffen	Bitumen	Bitumen wordt goed gerecycled als bindmiddel. De ontwikkeling is echter dat steeds meer verschillende typen (gemodificeerde) bitumen gebruikt worden. Dit ondermijnt de mogelijkheden op hoogwaardig hergebruik als bindmiddel
	Cement	De eigenschappen als bindmiddel van cement worden niet of maar zeer beperkt hergebruikt.

De andere veel toegepaste bouwgrondstoffen zijn goed te recyclen en kunnen als (vrijwel) circulair worden aangemerkt, omdat ze in een zelfde toepassing hergebruikt kunnen worden en de verwachting is dat er in de toekomst voldoende soortgelijke toepassingen gerealiseerd worden. Goed te recyclen of circulair hangt uiteindelijk niet alleen af van het materiaal zelf, maar ook van het ontwerp van een werk en de wijze van demontage.

Nog geen gesloten kringloop door continue voorraadvorming van bouwgrondstoffen

De voortdurende groei van de voorraad bouwgrondstoffen die door mensen in werken en gebouwen in gebruik zijn, zorgt ervoor dat zelfs bij volledig hoogwaardig hergebruik van alle (vrijkomende) materialen voorlopig een substantiële behoefte aan primaire grondstoffen blijft bestaan. Indien het aantal (kunst)werken van Rijkswaterstaat blijft groeien in omvang ten opzichte van sloop of vervanging van (kunst)werken, zal deze kringloop voor bouwgrondstoffen zich niet sluiten.

Afname beschikbaarheid lineaire reststoffen

Momenteel worden in de GWW-sector direct en indirect grote hoeveelheden secundaire bouwgrondstoffen uit lineaire (productie-)processen gebruikt zoals E-vliegas, E-bodemassas, hoogovenslakken, LD-staalslakken, ECO-zand, ECO-grind, ECO-granulaat, thermische gereinigde grond en AVI-bodemassas. Als de omslag naar een circulaire economie wordt en is gemaakt zal de beschikbaarheid van deze lineaire secundaire bouwgrondstoffen afnemen. Door het langzaam wegvallen van deze lineaire secundaire bouwgrondstoffen zal bij voortgaande voorraadvorming de behoefte aan primaire bouwgrondstoffen paradoxaal stijgen door de circulaire economie.

6.2 Aanbevelingen

6.2.1 Generieke aanbevelingen voor circulaire bouwgrondstoffen

Om bouwgrondstoffen meer circulair te kunnen toepassen worden de volgende zeven generieke adviezen gegeven die hoogwaardig hergebruik/recycling nog verder stimuleren en bevorderen:

1. Er wordt geadviseerd diversiteit in de gebruikte materialen waar mogelijk te vermijden. Het gaat hierbij niet alleen om de diversiteit tussen soorten materialen zoals beton en bitumen, maar ook om de diversiteit tussen verschillende typen van een materiaal zoals typen bitumen. Hoogwaardig hergebruik/recycling vereist dat ingezet wordt op een minimale diversiteit in de samenstelling van materialen, toeslagstoffen en additieven. Als Rijkswaterstaat maximaal circulair wil zijn in 2050, wordt geadviseerd dat Rijkswaterstaat inzet op het zoveel mogelijk beperken van het aantal bouwgrondstoffen(mengsels). Hoe meer uniformiteit des te hoogwaardiger bouwgrondstoffen te recyclen zijn. Op dit moment wordt de keuze welke materialen toe te passen teveel overgelaten aan de aannemer, die in zijn aanbiedingen nu meer beloofd wordt voor een lage aanneemsom dan voor beter recyclebare bouwgrondstoffen. Met beter recyclebaar wordt hier bedoeld beter recyclebaar uit het geleverde werk. Nu wordt nog teveel alleen gedacht in termen van gerecyclede materialen in het geleverde werk.
2. Als toch verschillende materialen in een werk worden toegepast wordt Rijkswaterstaat geadviseerd te zorgen dat verbindingen tussen verschillende materialen goed demonteerbaar zijn.
3. Eis bij een ontwerp van een werk in een contract dat ook een werkbaar plan voor demonteren aanwezig is. Dit zal ervoor zorgen dat de verschillende materialen bij afbreken ook weer goed uit elkaar getrokken kunnen worden. Dit kun je bereiken door of minder verschillende materialen toe te passen of door verbindingen tussen de verschillende bouwgrondstoffen zo te kiezen dat ze bij afbreken eenvoudig te scheiden zijn;
4. Momenteel moeten nieuwe bouwgrondstoffen al door het Test en Innovatiecentrum van Rijkswaterstaat worden getoetst op civieltechnische en milieuhygiënische eigenschappen. Rijkswaterstaat wordt geadviseerd deze toetsing uit te breiden voor de circulariteit van een

bouwgrondstof en/of constructie. Voor een dergelijke toetsing is het nodig een beoordelingssystematiek te ontwikkelen waarvoor figuur 2.8 een mooi vertrekpunt kan zijn. Er wordt geadviseerd bouwgrondstoffen die niet (voldoende) circulair zijn (op termijn) niet meer toe te laten. Dit toetsen op circulariteit dient eigenlijk voor alle materialen plaats te vinden en niet alleen voor de nieuwe materialen zoals dat nu gebeurt;

5. Beloon hoogwaardig hergebruik ten opzichte van laagwaardig hergebruik. De aannemer die asfalt niet recyclet in nieuw asfalt maar toepast als AGRAC kan veel geld besparen in een werk en een tender/project winnen. Hierdoor worden veel grondstoffen laagwaardiger gerecycled dan in potentie mogelijk.
6. Registreer waar welk type bouwgrondstoffen zijn en worden toegepast. Hiervoor zou het Meldpunt Bodemkwaliteit⁴⁹ een goede basis kunnen zijn door in de melding ook het specifieke type bouwstof te laten melden;
7. Accepteer dat laagwaardig hergebruik of zelfs storten technisch noodzakelijk is voor reststromen van hoogwaardig hergebruik/recycling;

Bovenstaande adviezen kan Rijkswaterstaat gebruiken om meer te gaan sturen op hoogwaardig(er) hergebruik van toegepaste en toe te passen bouwgrondstoffen.

De invloed van Rijkswaterstaat als opdrachtgever van werken is bij het zesde advies maar beperkt. Wel kan Rijkswaterstaat vanuit de rol als beleidsadviseur inzet plegen om dit onderwerp te agenderen bij de betrokken beleidsdepartementen. Dit advies raakt namelijk het afvalstoffenbeleid zoals geformuleerd in het vigerende Landelijk Afvalbeheerplan. Het gaat meer om de gehanteerde financiële prikkels en de doorgesloten ambitie op minimaal verbranden of storten. Er is meer milieuwinst te halen door maximaal hoogwaardig te recyclen dan op minimaal verbranden of storten. In het nieuwe derde Landelijk Afvalbeheerplan zijn wel stappen gezet om hoogwaardig recyclen een betere positie te geven, maar hier kan nog veel gewonnen worden. In de kern betreft dit dan ook een beleidsvraagstuk.

Tenslotte wordt Rijkswaterstaat geadviseerd om samen met provincies en gemeenten op te trekken in het sturen van hoogwaardig hergebruik. Als het niet breder dan Rijkswaterstaat wordt gedragen, lekt een deel van het beoogde effect weg doordat circulaire knelpunten alleen verschuiven maar niet daadwerkelijk worden aangepakt. Dit advies is van belang omdat door samenwerking met andere opdrachtgevers van werken niet alleen het doel van een circulaire economie eerder wordt bereikt, maar ook dat voor aannemers en recyclingbedrijven eerder de schaalgrootte bereikt wordt om een omslag te kunnen maken.

6.2.2 Specifieke aanbevelingen

De reden waarom bouwgrondstoffen als kritisch geïdentificeerd zijn ten aanzien van circulair hergebruik, kan heel verschillend zijn. Er wordt geadviseerd het verbod op het (opnieuw) toepassen van loodslakken en zinkassen te continueren en indien aanwezig bij de reconstructie van een werk deze secundaire bouwgrondstoffen te verwijderen. Onderstaande tabel bevat de adviezen voor alle kritische bouwgrondstoffen samen.

⁴⁹ <https://www.meldpuntbodemkwaliteit.nl/>

Tabel 6.1 Specifieke adviezen ten aanzien van beheersing van circulaire risico's

Circulair kritische bouwgrondstof	Circulair advies voor de kritisch bouwgrondstoffen
'Oude' AVI-bodemas	<p>'Oude' AVI-bodemas is bodemas die toegepast is vanaf 1989 tot en met 2019 als IBC-bouwstof in het kader van het Besluit bodemkwaliteit (of voorheen als categorie-2 bouwstof in het kader van het Bouwstoffenbesluit). De verwachting is nu dat per 2020 de IBC categorie uit het Besluit bodemkwaliteit zal verdwijnen, IBC bouwstoffen mogen dan niet meer toegepast worden. De 'oude' AVI-bodemas is vrijwel uitsluitend toegepast in toepassingen waarbij de bouwgrondstof een permanente plek en functie heeft gekregen in een werk. Deze 'oude' AVI-bodemas zal dus niet snel vrijkomen, gemiddeld pas eens in de 30 jaar bij de reconstructie van de betreffende snelweg. Echter, indien het vrijkomt kan het niet opnieuw worden toegepast (IBC bestaat dan immers niet meer) en zijn er momenteel ook geen recyclingtechnieken voorhanden om de kwaliteit op te werken tot vrij toepasbaar. Dit zou betekenen dat in voorkomende gevallen 'oude' AVI-bodemas gestort moet worden. Rijkswaterstaat wordt geadviseerd om nu al te onderzoeken of de nieuwe recyclingtechnieken die vrij toepasbare AVI-bodemas produceren ook in staat zijn om op termijn vrijkomende 'oude' AVI-bodemas op te werken tot vrij toepasbare bouwstoffen.</p>
'Nieuwe' AVI-bodemas	<p>'Nieuwe' AVI-bodemas is een vrij toepasbare bouwstof, die naar verwachting nauwelijks verkit zal zijn door de afwezigheid van de fijne fractie. Het is echter geen circulaire bouwgrondstof, maar wel het beste alternatief voor een deel van onze lineaire erfenis zolang een deel van de afvalstoffen nog verbrand moeten worden. Zoals bij alle bouwgrondstoffen is het belangrijk dat het materiaal zo min mogelijk mengt met aangrenzende materialen. Het grootste risico voor de recyclebaarheid is dat het in werken onduidelijk is of het 'oude' of nieuwe AVI-bodemas betreft. Er wordt geadviseerd de huidige registratie van AVI-bodemas in werken te continueren voor 'nieuwe' AVI-bodemas en hierbij ook onderscheid te maken tussen 'oude' en 'nieuwe' AVI-bodemas.</p>
AVI-vliegas	<p>De minimumstandaard voor AVI-vliegas is storten al dan niet na immobilisatie. Dit geldt ook voor AVI-vliegas dat vrij komt uit werken. Tot de inwerkingtreding van het Landelijk Afvalbeheerplan 2 op 24 december 2009 mocht AVI-vliegas worden toegepast als vulstof in asfalt mits het voor 100% nuttig werd toegepast. Aan asfalt werd circa 1,2 % AVI-vliegas toegevoegd⁵⁰. Hergebruik van bouwgrondstoffen waarin AVI-vliegas als toeslagstof is toegepast kunnen daarmee ook beter uit de keten worden verwijderd ten einde de bouwgrondstoffen zonder de aanwezigheid van AVI-vliegas hoogwaardiger te kunnen toepassen.</p> <p>AVI-vliegas dat voor 2010 in slijtlagen als vulstof is toegepast heeft milieuhygiënische risico's. Die slijtlagen zullen echter inmiddels grotendeels vervangen zijn en mocht het freesasfalt van deze lagen worden gerecycled dan worden de ongewenste componenten uit AVI-vliegas geïmmobiliseerd in de matrix van de nieuwe asfalttoepassingen. Omdat inzicht ontbreekt waar deze materiaalstroom is toegepast, valt er voor RWS eigenlijk niet te sturen op verwijdering van dit materiaal uit de keten.</p>

⁵⁰ www.lap2.nl/publish/library/166/mer-lap_achtergonddocumenten25_avi_vliegas.pdf

Circulair kritische bouwgrondstof	Circulair advies voor de kritisch bouwgrondstoffen
Bitumen	<p>Bitumen wordt als bindmiddel al substantieel gerecycled in regeneratieasfalt. De mate waarin de primaire grondstoffen vervangen worden door freesasfalt bepaalt hoeveel bitumen wordt hergebruikt. Rijkswaterstaat wordt geadviseerd om samen met de aannemers sterker te gaan sturen op de kwaliteit van toegepast bitumen. Een verbetering van de kwaliteit zal de levensduur van bitumen in asfalt verlengen. Dit kan bijvoorbeeld plaatsvinden door het toevoegen van biobased bitumen (zoals lignine).</p> <p>Rijkswaterstaat wordt geadviseerd de mogelijkheden te onderzoeken om de deklaag van een asfaltweg te leasen inclusief onderhoud en uiteindelijke afvoer van de deklaag voor lange perioden (>>25 jaar). Voor de meeste deklagen betekent dit dat drie levenscycli in het contract zitten. Het pluspunt is dat hierdoor de aannemer ook zelf de voordelen ontvangt van het selecteren van asfaltmengsels die niet alleen veel gerecycled asfalt bevatten maar die keer op keer goed te recylen zijn.</p> <p>Daarnaast wordt Rijkswaterstaat geadviseerd terughoudend te zijn bij het toelaten AGRAC-funderingen. Een groot deel van het bitumen gaat namelijk nog verloren in toepassingen als AGRAC-funderingen. In AGRAC-funderingen wordt bitumen weliswaar als bindmiddel gerecycled, maar dit is laagwaardige recycling en verdringt andere bouwgrondstoffen zoals menggranulaat en AVI-bodemas die (nog) niet hoogwaardiger te recylen zijn.</p>
Cement	<p>Cement is als bindmiddel nu nog nauwelijks circulair. De specifieke eigenschappen van het bindmiddel worden maar zeer beperkt hergebruikt. Dit terwijl voor de productie van primair cement relatief veel energie en grondstoffen nodig zijn. C2CA beton zet voorzichtige stapjes richting hergebruik van de bindmideleigenschappen van beton, maar de techniek is onvoldoende om cement echt circulair te maken. Rijkswaterstaat wordt daarom geadviseerd recyclingtechnieken zoals slim breken die de bindmideleigenschappen van cement vollediger hergebruiken meer te stimuleren.</p>
Fosforslakken	<p>Fosforslakken zijn zowel milieuhygiënisch als civieltechnisch goed toepasbaar. Fosforslakken zijn van nature licht radioactief en fosfaatertsen werden de laatste decennia zodanig geselecteerd dat de slakken vrijgesteld bleven van verplichtingen inzake regelgeving voor radioactieve stoffen. Als fosforslakken worden hergebruikt kan het zijn dat deze in de toekomst opnieuw getoetst moeten worden aan de dan geldende normen en dat de aanwezig natuurlijke radioactiviteit beperkingen stelt bij het opnieuw kunnen toepassen bij een klein deel van de fosforslakken. Het is daarom aan te bevelen fosforslakken wanneer mogelijk in hun huidige toepassing te blijven gebruiken. Daarnaast wordt Rijkswaterstaat geadviseerd om de daadwerkelijke risico's inzake radioactiviteit bij het hergebruik van fosforslakken beter in kaart te brengen en eventuele beleidsontwikkelingen in regelgeving voor (natuurlijke) radioactiviteit preventief te volgen en indien nodig de eventuele risico's aan te kaarten van wijzigingen.</p>

Circulair kritische bouwgrondstof	Circulair advies voor de kritisch bouwgrondstoffen
Geotextiel	Geotextiel wordt steeds meer gebruikt en kan in de toekomst ook een belangrijke rol spelen bij het gescheiden houden van bouwgrondstoffen in een toepassing. De bouwgrondstoffen worden in dat geval minder verontreinigd door aangrenzende bouwgrondstoffen en kunnen daardoor hoogwaardiger hergebruikt worden. Hergebruik en/of recycling van geotextiel zelf staat nog in de kinderschoenen mede door de lange levensduur. De mate waarin vrijkomend geotextiel gerecycled wordt is nog niet goed bekend. Ook de diversiteit aan soorten geotextiel in werken van Rijkswaterstaat is niet goed bekend. Rijkswaterstaat wordt geadviseerd bij aanbesteden van werken te stimuleren of zelfs te eisen dat het gebruikte geotextiel recyclebaar dient te zijn en dat binnen één werk zo min mogelijk verschillende typen geotextiel gebruikt worden.
Koperslakken	Koperslakken mogen uitsluitend nog als vormgegeven bouwstof worden toegepast. Gebroken voldoen de koperslakken niet aan de milieuhygiënische eisen, omdat het gebroken materiaal niet aan de uitlogingseisen kan voldoen. Product hergebruik van de vormgegeven bouwstoffen kan, maar bij de beschadiging of opbreken van verhardingen zijn (producten van) koperslakken niet circulair en zullen de koperslakken als afvalstof verwijderd moeten worden. Rijkswaterstaat wordt daarom geadviseerd koperslakken niet meer toe te passen in haar werken. Voor de al aanwezige (producten van) koperslakken wordt geadviseerd deze zo lang mogelijk her te gebruiken. Zodra hergebruik van de vormgegeven bouwgrondstoffen niet meer mogelijk is, verdient het de voorkeur de koperslakken te verwijderen.
Loodslakken en zinkassen	Het toepassen van loodslakken en zinkassen is al meer dan 20 jaar niet meer toegestaan. De loodslakken en zinkassen zijn niet circulair en ook niet te recyclen. Daarom wordt Rijkswaterstaat geadviseerd ook voor deze secundaire bouwgrondstoffen een stand still principe te hanteren waarbij ze in de huidige toepassingen worden gehouden, maar worden verwijderd zodra ze vrijkomen uit een werk.
Mijnsteen	Mijnsteen voor GWW-werken wordt in Nederland gecertificeerd alleen nog toegepast onder de waterlijn. Voor de toegepaste mijnsteen van vóór het Bouwstoffenbesluit (en latere Bbk) wordt een stand still principe gehanteerd waarbij mijnsteen in de bodem aanwezig mag blijven in de regio parkstad om verdere verspreiding van 'oude' mijnsteen te voorkomen. Mijnsteen is niet circulair en ook niet te recyclen. Daarom wordt Rijkswaterstaat geadviseerd voor 'oude' mijnsteen een stand still principe te hanteren waarbij mijnsteen zo lang mogelijk in de huidige toepassingen wordt gebruikt, maar niet opnieuw wordt toegepast in andere werken of samen met andere bouwgrondstoffen die vervolgens aan kwaliteit zullen verliezen.

7 Literatuur

- [Activiteitenbesluit milieubeheer \(http://wetten.overheid.nl/BWBR0022762/2018-01-01\)](http://wetten.overheid.nl/BWBR0022762/2018-01-01)
- [Besluit bodemkwaliteit \(http://wetten.overheid.nl/BWBR0022929/2016-05-24\)](http://wetten.overheid.nl/BWBR0022929/2016-05-24)
- [Landelijk Afvalbeheerplan \(http://lap3.nl/\)](http://lap3.nl/)
- Checklist materialen & milieu; materiaalkeuze voor de wegenbouw gericht op duurzaam bouwen - J.W. Broers, P.P.M. van der Helm, H.P. Versteeg - 1996
- Gebruik van secundaire grondstoffen bij de Rijkswaterstaat, evaluatie 1993-1994 - DWW-95-538 - 1993
- Gebruik van secundaire grondstoffen bij de Rijkswaterstaat, evaluatie 1995 - W-DWW-96-108
- Gebruik van secundaire grondstoffen bij de Rijkswaterstaat, evaluatie 1997 - W-DWW-98-081
- Gebruik van secundaire grondstoffen bij de Rijkswaterstaat, evaluatie 1999 - DWW-2000-042 - 1999
- Gebruik van secundaire grondstoffen bij de Rijkswaterstaat, evaluatie 2000 - DWW-2001-044 - 2000
- Gebruik van secundaire grondstoffen bij de Rijkswaterstaat, evaluatie 2001 - DWW-2002-075 - 2001
- Gebruik van secundaire grondstoffen bij de Rijkswaterstaat, evaluatie 2002 - DWW-2003-104 - 2002
- Gebruik van secundaire grondstoffen bij de Rijkswaterstaat, evaluatie 2003 - DWW-2004-058 – 2003
- Wegen met fosforslak – CE Delft - 2002
- De website Richtlijn herstel en beheer (water)bodemkwaliteit <https://www.bodemrichtlijn.nl/>

Verklarende woordenlijst

Termen	Toelichting
AEC	Afval energie centrale
AVI	Afvalverbrandingsinstallatie
Bbk	Besluit bodemkwaliteit
Bouwgrondstof	Materiaal dat in zowel gebonden als ongebonden toepassingen in de GWW, utiliteits- en/of woningbouw wordt toegepast.
Circulair economie	Een circulaire economie wordt door de Ellen MacArthur Foundation ⁵¹ als volgt gedefinieerd: <i>A circular economy is one that is restorative and regenerative by design and aims to keep products, components, and materials at their highest utility and value at all times, distinguishing between technical and biological cycles.</i> (Vrij vertaald: Een circulaire economie is een economie die zichzelf herstelt en regenerereert door zich te allen tijde te richten op het ontwerpen van producten, onderdelen en materialen die de maximale mogelijkheden en waarde nastreven en waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen een technische en biologische recyclingketen.)
ELO-staalslakken	ELO-staalslakken zijn slakken uit het staalproductieproces waarbij schroot met behulp van een vlamboog en toeslagstoffen wordt omgezet in staal.
EPS	Geëxpandeerd polystyreen
GWW	Grond-, Weg-, en Waterbouw
Hergebruik	Elke handeling waarbij producten of componenten die geen afvalstoffen zijn, opnieuw worden gebruikt voor hetzelfde doel als dat waarvoor zij waren bedoeld. <i>Bron: Wet milieubeheer</i>
IBC-bouwstof	IBC-bouwstoffen zijn niet-vormgegeven bouwstoffen die alleen mogen worden toegepast met isolatie-, beheers- en controle- (IBC) maatregelen, omdat het toepassen zonder deze maatregelen anders leidt tot teveel emissies naar het milieu.
LAP	Landelijk Afvalbeheerplan

⁵¹ Ellen MacArthur Foundation - Towards a circular economy: Business Rationale for an accelerated transition - 2015

LD-staalslakken	LD-staalslakken zijn slakken uit het Linz-Donawitzproces. Dit is het proces waar uit ruw ijzer staal wordt gemaakt door het toevoegen van zuurstof en schroot.
Nuttige toepassing	Elke handeling met als voornaamste resultaat dat afvalstoffen een nuttig doel dienen door hetzij in de betrokken installatie, hetzij in de ruimere economie, andere materialen te vervangen die anders voor een specifieke functie zouden zijn gebruikt, of waardoor de afvalstof voor die functie wordt klaargemaakt, tot welke handelingen in ieder geval behoren de handelingen die zijn genoemd in bijlage II bij de kaderrichtlijn afvalstoffen (2008/98/EG). <i>Bron: Wet milieubeheer</i>
Recycling	Nuttige toepassing waardoor afvalstoffen opnieuw worden bewerkt tot producten, materialen of stoffen, voor het oorspronkelijke doel of voor een ander doel, met inbegrip van het opnieuw verwerken van organische afvalstoffen, en met uitsluiting van energierugwinning en het opnieuw verwerken tot materialen die bestemd zijn om te worden gebruikt als brandstof of als opvulmateriaal. <i>Bron: Wet milieubeheer</i>
Slakken	De minerale fase die resulteert uit de productie van metalen en die voornamelijk bestaat uit allerlei oxiden.
RWS	Rijkswaterstaat
Storten	Het op of in de bodem brengen van afvalstoffen, al dan niet verpakt, om deze stoffen daar te laten. Storten is een vorm van verwijdering. <i>Bron: Wet milieubeheer</i>
TAG	Teerhoudend asfalt granulaat
Terugwinning	Het opnieuw beschikbaar maken van een stof uit een afvalstof. In het Engels omschreven als Recovery. Terugwinning wordt vaak als een percentage uitgedrukt en betekent dat het percentage van een grondstof uit een afvalstof gescheiden. Het resterende percentage van de stof gaat verloren in het residu.
TGG	Thermisch gereinigde grond

TRL

Technology Readiness Level is een methode om vast te stellen in welke mate een technologie daadwerkelijk ontwikkeld en beschikbaar is. De methode is oorspronkelijk door NASA ontwikkeld en onderstaande tabel geeft de beschrijving per level zoals door de Europese Commissie vastgesteld⁵².

Technology Readiness Level	Description
TRL 1.	basic principles observed
TRL 2.	technology concept formulated
TRL 3.	experimental proof of concept
TRL 4.	technology validated in lab
TRL 5.	technology validated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)
TRL 6.	technology demonstrated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)
TRL 7.	system prototype demonstration in operational environment
TRL 8.	system complete and qualified
TRL 9.	actual system proven in operational environment (competitive manufacturing in the case of key enabling technologies; or in space)

Verontreiniging

Ongewenste componenten in materiaal die de kwaliteit doen afnemen.

Elke handeling met afvalstoffen die geen nuttige toepassing is, zelfs indien de handeling er in tweede instantie toe leidt dat stoffen of energie worden teruggewonnen. Hiertoe behoren in ieder geval de handelingen die zijn genoemd in bijlage I bij de Kaderrichtlijn afvalstoffen.

Verwijderen

Bron: Wet milieubeheer

⁵² http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf

Bijlage A

Geregistreerde hoeveelheden secundaire bouwstoffen

Secundaire bouwgrondstoffen 1989 - 2003

Click to enter "Classification"

Materiaal	Totaal bekend	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
	22,397,854	293,500	293,500	424,000	424,000	2,039,000	2,039,000	1,639,060	1,035,000	893,893	1,437,000	3,080,696	1,514,661	1,543,876	3,948,644	1,792,024
Licht verontreinigde grond	5,421,552			1,000	1,000	165,000	165,000	40,696		525,078	469,000			1,658,925	1,616,259	779,594
Menggranulaat	3,809,492	41,500	41,500	157,000	157,000	343,000	343,000	213,631	195,000	103,371	205,000	254,835	68,969	118,433	947,240	620,013
AVI-bodemas	2,902,479	75,000	75,000			189,000	189,000	510,000	269,000	88,531	186,000	-	355,347	409,601	480,000	76,000
Asfalt in asfalt	2,880,410							416,801	365,000	202,726	329,000	343,745	185,796	214,727	462,016	360,599
LD-staalslakken	2,300,430					425,000	425,000					889,157	350,969	211,687	17,000	-18,383
Asfalt in AGRAC	2,125,063	105,000	105,000	136,000	136,000	545,000	545,000	75,212		46,897	43,000	71,175	43,391	126,246	98,472	48,670
Baggerspecie	1,058,110	41,000	41,000			387,000	387,000	200,550	1,000	560						
Bouw- en sloopafval	1,003,148													148	1,003,000	
Gereinigd zand	991,846											213,740	166,500	271,391		340,215
Fosforakken	972,992	8,000	8,000	85,000	85,000	32,000	32,000	50,002	59,000	115,642	273,000	104,091	23,864	23,754	8,994	64,645
Hoogovenslakken	928,317	14,000	14,000	18,000	18,000	7,000	7,000	50,086	146,000	153,365	392,000	77,318	10,855		3,976	16,717
Betonggranulaat*	554,974					67,000	67,000	122,778		41,931		139,641	10,093	24,002	33,633	48,896
Mijnsteen	318,827	9,000	9,000	28,000	28,000	20,000	20,000				9,000	-	51,940	143,887		-
Beton blokken	259,774											259,774				
Ballastgrind	126,000															126,000
remix	110,447									110,447						
Landzand	71,910														71,910	
Grind	48,000					24,000	24,000									
Stortsteen	31,439									8,745						22,694
Betonpuin	29,387															29,387
Klei	24,100												24,100			
E-vliegas	22,940															22,940
Basalt	16,125									2,993		8,802			4,249	81
ECO granulaat	15,300	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12,400	2,900
Gekantelde haringsmanblokk	11,900															11,900
Zeskantblokken	8,885														2,353	6,532
Breuksteen	7,757												260			7,497
Metselgranulaat*	7,363									2,911			841			3,611

Click to enter "Classification"

Materiaal	Totaal bekend	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
	22,397,854	293,500	293,500	424,000	424,000	2,039,000	2,039,000	1,639,060	1,035,000	893,893	1,437,000	3,080,696	1,514,661	1,543,876	3,948,644	1,792,024
Grof puingranulaat	4,576											371	4,205			
PVC	4,214									4214						
Doornikse blokken	4,164									4164						
Teelgrond	4,067												4,063		4	
Zand uit baggerspecie*	3,534												3,534			
ongebonden verharding	3,525														3,525	
Pools graniet	3,253									3253						
remorail	1,968									1968						
Grond*	1,163														1,163	
Silex (25 t/m 90 mm)	1,158									956						202
Grasbetonsteen	1,100												1,100			
opsluitbanden	868									868						
Schelpen	650														650	
Stenen	465														465	
Vilvoordse steen	385															385
Graniet blokken	355															355
Beton paaltjes	352														184	168
Hout	351									351						
Kunststof verklikpalen	315											231	84			
Aluminium	225											225				
straatklinkers	192												62		130	
betonbuis	128														128	
betonnen barrier	115												115			
Kunststofrecycling	53												53			
rioolbuis (gewapend beton)	35												35			
brekerzand	25														25	
beton klinkers	15														15	
Staal	14											14				
kunststeen	9														9	
Brekerzeefzand*	8														8	
straatkolken	5												5			



Bijlage B

Circulaire analyse bouwgrondstoffen

B.1 Primaire bouwgrondstoffen

Deze paragraaf geeft voor primaire bouwgrondstoffen (zoals gespecificeerd in paragraaf 3.1) een analyse weer voor de circulariteit.

B.1.1 Baksteen

Baksteen is een kunstmatige steen die wordt gemaakt van gebakken klei en toeslagstoffen.

Bakstenen voldoen aan de eisen van het Bbk. Voor nieuw geproduceerde bakstenen dient hiertoe de *BRL 52230 voor keramische producten* gehanteerd. Bakstenen worden geproduceerd volgens de civieltechnische eisen die zijn vastgelegd in onder andere de *BRL 1007 voor Metselbaksteen* en de BRL 2360 voor Straatbakstenen.

De minimumstandaard in LAP3 voor baksteen staat beschreven in sectorplan 29 en is recycling. Bij producthergebruik hoeft een baksteen in principe niet opnieuw getoetst te worden aan het Bbk.

Bij Rijkswaterstaat wordt baksteen tegenwoordig vooral in metselwerk toegepast. In het verleden werden (civieltechnische afgekeurde) bakstenen ook toegepast bij bijvoorbeeld oeverbestorting.

Tabel B.1 geeft een analyse weer van de circulariteit van baksteen en de relevantie van baksteen voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.1 Analyse circulariteit baksteen

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij baksteen	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Demontabel	Circulair	In demontabele werken zoals bakstenen bestratingen	Hergebruik van losse bakstenen	Zeer beperkt
Zuivere stroom	Recycling	Productieafval en het opbreken van baksteenverhardingen	Vervanging 50% van primaire klei	Zeer beperkt
In een composiet	Recycling	Baksteen wordt het meest toegepast samen met cement in metselwerk.	Recycling in menggranulaat	Beperkt

De aanwezigheid van baksteen in andere bouwgrondstoffen is geen groot risico voor de circulariteit van die andere bouwgrondstoffen anders dan dat het de zuiverheid van een andere materiaalstroom verlaagt.

Tabel B.2 geeft de recyclingtechnieken weer die voor baksteen beschikbaar zijn.

Tabel B.2 Recyclingtechnieken voor baksteen

Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
Hergebruik bakstenen	Ja	TRL9
Recycling als grondstof voor baksteenproductie. Beschadigde bakstenen of afval van bakstenen dat niet vermengd is met andere afvalstoffen uit bijvoorbeeld bestrating of productieafval is te recyclen in een vergelijkbare toepassing. Hierbij wordt klei deels vervangen bij de productie van nieuwe (bak)stenen. Dit bespaart zowel energie als klei. Er zijn inmiddels bedrijven zoals Stonecycling ⁵³ die deze techniek commercieel toepassen.	Ja, maar nog een beperkt marktvolume	TRL9
Recycling in menggranulaat via puinbrekers	Ja	TRL9

⁵³ <https://www.stonecycling.com/>

B.1.2 Basalt

Basalt is een vulkanisch stollingsgesteente dat ontstaat bij het relatief snel stollen van basische lava. Door het stollen van de lava treedt krimp op die resulteert in de karakteristieke zeshoekige kolommen.

Basalt voldoet aan de eisen van het Bbk. Voor nieuw geproduceerde basalt wordt getoetst aan de *BRL 9312 betreffende het KOMO® productcertificaat voor waterbouwsteen voor toepassing in GWW-werken*.

De minimumstandaard in LAP3 voor basalt staat beschreven in sectorplan 29 en is recycling. Bij hergebruik hoeft basalt niet opnieuw getoetst te worden aan het Bbk.

Bij Rijkswaterstaat is basalt in het verleden in miljoenen tonnen toegepast. Met name de toepassing van zetsteen in dijkwering is basalt in de vorm van basaltzuilen. Zuilen van circa 60 centimeter werden handmatig gezet en resulteerde in zeer sterke dijkbekleding. Dit werk kan tegenwoordig niet meer gedaan worden in verband met arbo-wetgeving.

Tegenwoordig wordt basalt alleen nog gebruikt voor reparaties van dijkweringen met basalten zetstenen en als grondstof voor breuksteen. Maar ook de toepassing als breuksteen kan nog enorme volumes vergen. Bij de renovatie van de Afsluitdijk werd meer dan 800 kton gebruikt.

Tabel B.3 geeft een analyse weer van de circulariteit van basalt en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.3 Analyse circulariteit basalt

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij basalt	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Demontabel	Circulair	In demontabele werken zoals dijkweringen	Hergebruik van losse zetstenen of breuksteen.	Groot
Zuivere stroom	Circulair	Basalt dat bijvoorbeeld als stortsteen is toegepast	Recycling als steenslag in bijvoorbeeld STAB	Groot
In een composiet	Recycling maar niet volledig circulair	Steenslag van basalt dat in bijvoorbeeld STAB of beton is toegepast	Recycling van asfaltbeton of beton	Vrij beperkt

De aanwezigheid van basalt in andere bouwgrondstoffen is geen risico voor de circulariteit van die andere bouwgrondstoffen anders dan dat het de zuiverheid van een andere materiaalstroom verlaagt.

Tabel B.4 geeft de recyclingtechnieken weer die voor basalt beschikbaar zijn.

Tabel B.4 Recyclingtechnieken voor basalt

Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
Hergebruik basalt	Ja	TRL9
Hergebruik basalt als steenslag na verkleining in een breker	Ja	TRL9
Recycling basalt via puinbrekers in menggranulaat	Ja	TRL9

B.1.3 Breuksteen

Breuksteen bestaat uit een natuursteen dat in onregelmatige vormen gebroken is. Breuksteen wordt in een steengroeve niet verder bewerkt dan breken en het sorteren op een (korrel)grootteverdeling. Er is een breed palet aan geschikte typen gesteente voor breuksteen. Voorbeelden van deze gesteenten zijn basalt, graniet, diabaas, greenstone, porfier, grauwacke, lavasteen, gneis, gabbro en kalksteen. Welk type gebruikt wordt, hangt af van allerlei eisen zoals esthetische eisen, erosiebestendigheid, dichtheid, vorstbestendigheid, etc.

Breuksteen voldoet aan de eisen van het Bbk. Voor het toepassen van nieuw geproduceerde breuksteen wordt getoetst aan de *BRL 9312 betreffende het KOMO® productcertificaat voor waterbouwsteen voor toepassing in GWW-werken*.

De minimumstandaard in LAP3 voor breuksteen staat beschreven in sectorplan 29 en is recycling. Bij hergebruik hoeft natuursteen dat als breuksteen is toegepast niet opnieuw getoetst te worden aan het Bbk.

Bij Rijkswaterstaat wordt breuksteen vooral toegepast in de waterbouw. Breuksteen heeft zowel in het verleden als in het heden veel verschillende toepassingen. Bijvoorbeeld:

- als kernmateriaal in dammen en drempels;
- als toplaag voor dammen en drempels;
- als toplaag voor oeverbeschermingen;
- in open funderingslagen;
- in hulpkades;
- in filterlagen;
- als beschermingsmateriaal tegen het uitschuren van vooroevers en bodems (in combinatie met zinkstuk);
- als ballastmateriaal op zink- en kraagstukken (zie bouwstoffenkaart Zink- en kraagstukken).

Tabel B.5 geeft een analyse weer van de circulariteit van breuksteen en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.5 Analyse circulariteit breuksteen

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij breuksteen	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Demontabel	Circulair	In demontabele werken zoals dijkkeringen	Hergebruik van breuksteen.	Groot
Zuivere stroom	Circulair	Breuksteen dat als stortsteen is toegepast	Recycling als steenslag in bijvoorbeeld STAB	Groot
In een composiet	Recycling maar niet volledig circulair	Steenslag van breuksteen dat in bijvoorbeeld STAB of beton is toegepast	Recycling van asfaltbeton of beton	Vrij beperkt

De aanwezigheid van breuksteen in andere bouwgrondstoffen is geen risico voor de circulariteit van die andere bouwgrondstoffen anders dan dat het de zuiverheid van een andere materiaalstroom verlaagt.

Tabel B.6 geeft de recyclingtechnieken weer die voor breuksteen beschikbaar zijn.

Tabel B.6 Recyclingtechnieken voor breuksteen

Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
Hergebruik breuksteen	Ja	TRL9
Hergebruik breuksteen als steenslag na verkleining in een breker	Ja	TRL9
Recycling breuksteen in menggranulaat via puinbrekers	Ja	TRL9

B.1.4 EPS

Geëxpandeerd polystyreen (EPS) is geëxpandeerd polystyreen. EPS is ook wel bekend als piepschuim of tempex. EPS kan in alle denkbare vormen worden geproduceerd, maar in de GWW worden voornamelijk blokken en platen gebruikt. EPS-blokken worden vooral in zettingsgevoelige gebieden zoals veenweidegebieden toegepast. Dit kan in de onderbouw van wegen, maar ook op locaties waar de belasting van de ondergrond een sterke gradiënt zou krijgen. Bijvoorbeeld de opgang van een weg bij een dijk waar het talud voor extra zetting zou kunnen zorgen.

Een tweede belangrijke reden om EPS te gebruiken is dat het realisatieproces aanzienlijk versneld kan worden. Door het EPS treedt niet alleen minder zetting op, maar ook een stabiele situatie om een werk te realiseren. Het gebruik van EPS wordt daardoor gestimuleerd door opdrachtgevers, die een snelle realisatie van een werk in de gunning van een werk belonen.

Tot slot heeft EPS in veel constructies het voordeel dat het lichtere gewicht betekent dat de behoefte aan bouwgrondstoffen verminderd. Enerzijds doordat het tonnage van EPS veel minder is en anderzijds doordat onderliggende lagen minder fundering nodig hebben doordat de druk op de fundering minder is. Bij het gebruik van cellenbeton treedt een vergelijkbare milieuwinst op.

Voor EPS gelden geen eisen inzake het Bbk, omdat het geen steenachtig materiaal betreft.

De minimumstandaard in LAP3 voor EPS staat beschreven in sectorplan 8B. Voor EPS is de minimumstandaard recycling indien het EPS niet afkomstig is van verpakkingen afkomstig is en tevens geen Hexabroomcyclododecaan (HBCDD) bevat. Bij de verwijdering dienen de aanwezige HBCDD's vernietigd te worden. Als de HBCDD's verwijderd zijn mag het residu worden gerecycled.

Het gebruik van EPS bij Rijkswaterstaat is relatief beperkt maar neemt wel toe. EPS wordt toegepast sinds het toepassen van flugzand niet meer is toegestaan door de intrede van het Bouwstoffenbesluit in 1999. Het van vulkanische oorsprong afkomstige flugzand had teveel uitloging van fluoride.

Tabel B.7 geeft een analyse weer van de circulariteit van EPS en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.7 Analyse circulariteit EPS

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij EPS	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Demontabel	Circulair en hoogwaardig hergebruik	In demontabele werken	Hergebruik van losse platen	Beperkt
Zuivere stroom	Circulair mits schoon ingezameld anders niet-circulair	Snijafval en reststukken van hergebruik en vrijgekomen bij selectief slopen.	Chemische recycling bij aanwezigheid van HBCDD of directe recycling wanneer geen HBCDD aanwezig is	Beperkt

De aanwezigheid van EPS in andere bouwgrondstoffen is geen groot risico voor de circulariteit van die andere bouwgrondstoffen anders dan dat het de zuiverheid van een andere materiaalstroom verlaagt. EPS is als monostroom op zich goed te recyclen, maar er is (nog) geen ervaring met het recyclen van EPS dat tientallen jaren in een fundering heeft gelegen.

Tabel B.8 geeft de recyclingtechnieken weer die voor EPS beschikbaar zijn.

Tabel B.8 Recyclingtechnieken voor EPS

Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
Directe recycling in isolatiematerialen voor woningen of in nieuw geperst EPS ⁵⁴	Ja	TRL9
Recycling van zuiver EPS zonder HBCDD	Ja	TRL9
Chemisch recyclen EPS met verwijdering van HBCDD ⁵⁵	Ja, eind 2018, maar een demonstratieplant	TRL6

⁵⁴ Airpop® (EPS), 100% recyclebaar en duurzaam – Stybenex - 2015

⁵⁵ <http://www.nrkrecycling.nl/nieuws/nieuws-detail?newsitemid=1102249993>

B.1.5 Geotextiel

Geotextiel is een verzamelnaam voor allerlei materialen die in civiele constructies gebruikt worden met als belangrijkste doel om stoffen van elkaar te scheiden of stevigheid te scheppen. Geotextiel kan bestaan uit vliezen, weefsels of composieten. Afhankelijk van de eisen van de toepassing kunnen allerlei stoffen gekozen worden als basis voor een voor geotextiel. Belangrijke voorbeelden zijn:

- polyester;
- polypropyleen (PP);
- polyamide (PA);
- hoge-dichtheid polyethyleen (HDPE);
- lage-dichtheid polyethyleen (LDPE).

Folies zijn formeel geen geotextiel maar tonen materiaaltechnisch grote overeenkomsten met geotextiel.

Geotextiel en folies spelen een belangrijke rol bij het circulair maken van bouwgrondstoffen. Ze maken het mogelijk kwaliteitsverlies door onbedoeld mengen bij het verwijderen van bouwgrondstoffen te beperken. Ook bestaan verschillende constructies waarbij door het toepassen geotextiel het benodigde volume aan bouwgrondstoffen beperkt blijft.

Voor geotextiel gelden geen eisen inzake het Bbk, omdat het geen steenachtig materiaal betreft.

De minimumstandaard in LAP3 voor geotextiel staat beschreven in sectorplan 11 en is voor thermoplasten (PE, PP, PVC, PS, ABS, etc.) recycling zolang de eventuele poorttarieven niet meer dan 205 euro per ton bedragen. Voor thermoharders is de minimumstandaard nuttige toepassing als brandstof. Thermoharders zullen voor geotextiel niet snel gebruikt worden.

Bij Rijkswaterstaat wordt tegenwoordig veel geotextiel gebruikt. Het totale volume van deze bouwgrondstof is beperkt omdat het geotextiel dun is. Voor recycling van geotextiel is voornamelijk aandacht. Er wordt geadviseerd om zo min mogelijk verschillende soorten geotextiel toepassen. Hoe lager de diversiteit hoe groter de kansen op voldoende schaalgrootte voor recycling.

Tabel B.9 geeft een analyse weer van de circulariteit van geotextiel en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.9 Analyse circulariteit geotextiel

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij geotextiel	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Demontabel	Circulair	In demontabele werken	Na wassen recycling. Voor hergebruik bestaat teveel onzekerheid over de restkwaliteit.	Groot, maar relatief kleine volumes
Zuivere stroom	Recycling	Uit werken te scheiden als aparte afvalstroom	Recycling na reinigen. Commercieel (nog) niet aantrekkelijk	Zeer beperkt

De aanwezigheid van geotextiel in andere bouwgrondstoffen is geen risico voor de circulariteit van die andere bouwgrondstoffen anders dan dat het de zuiverheid van een andere materiaalstroom verlaagt.

Click to enter "Classification"



Voor geotextiel bestaan geen specifieke recyclingtechnieken. Geotextiel betreft echter diverse soorten kunststoffen. Voor de meeste kunststoffen zijn recyclingtechnieken beschikbaar mits de volumes en kwaliteit van het ingezamelde geotextiel voldoende is. Er bestaan recyclingtechnieken voor in ieder geval PE, PP, PET, PVC, PS en MPO.

B.1.6 Graniet

Graniet is een zuur stollingsgesteente dat op grotere diepte langzaam is afgekoeld en daardoor grotere kristallen heeft dan bijvoorbeeld basalt. Graniet is gevoeliger voor verwerking dan basalt. Graniet wordt toegepast als breuksteen, zetsteen, bestrating (kinderkoppen en stoepanden) en voor natuurstenen elementen in civiele constructies.

Graniet voldoet aan de eisen van het Bbk. Voor het toepassen van nieuw geproduceerde graniet wordt getoetst aan de *BRL 9312 betreffende het KOMO® productcertificaat voor waterbouwsteen voor toepassing in GWW-werken*.

De minimumstandaard in LAP3 voor graniet staat beschreven in sectorplan 29 en is recycling. Bij hergebruik hoeft graniet niet opnieuw getoetst te worden aan het Bbk.

Bij Rijkswaterstaat werd graniet in het verleden gebruikt als zetsteen. Diverse dijkvakken van de voormalige Zuiderzeedijk en de Eemsdijk zijn met zetstenen van graniet bekleedt.

Tabel B.10 geeft een analyse weer van de circulariteit van graniet en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.10 Analyse circulariteit graniet

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij graniet	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Demontabel	Circulair	In demontabele werken zoals dijkkeringen	Hergebruik van losse zetstenen of breuksteen.	Groot
Zuivere stroom	Circulair	Graniet dat bijvoorbeeld als stortsteen is toegepast	Recycling als steenslag in bijvoorbeeld STAB	Groot
In een composiet	Recycling maar niet volledig circulair	Steenslag van graniet dat in bijvoorbeeld STAB of beton is toegepast	Recycling van asfaltbeton of beton	Vrij beperkt

De aanwezigheid van graniet in andere bouwgrondstoffen is geen risico voor de circulariteit van die andere bouwgrondstoffen anders dan dat het de zuiverheid van een andere materiaalstroom verlaagt.

Tabel B.11 geeft de recyclingtechnieken weer die voor graniet beschikbaar zijn.

Tabel B.11 Recyclingtechnieken voor graniet

Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
Hergebruik graniet als steenslag na verkleining in een breker	Ja	TRL9
Recycling graniet in menggranulaat via puinbrekers	Ja	TRL9

B.1.7 Grind

Grind is een grove fractie van steenachtig materiaal dat in voormalige rivierbeddingen en delta's wordt gewonnen. Het steenachtig materiaal heeft in de rivier bloot gestaan aan veel erosief gedrag en bestaat daardoor uit afgeronde stenen die relatief ongevoelig zijn voor slijtage. De afmetingen van korrels in grind zitten lopend van fijne tot grove grind van 2 tot 63 mm. Grind kan direct als bouwstof voor verharding worden toegepast, maar is ook een toeslagstof voor klassiek beton.

Grind voldoet aan de eisen van het Bbk. Voor toepassen van nieuw geproduceerd grind wordt getoetst aan de *BRL 9321 voor de milieuhygiënische kwaliteit van industriezand en (gebroken)industrie grind*.

De minimumstandaard in LAP3 voor grind staat beschreven in sectorplan 29 en is recycling, mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk.

Bij Rijkswaterstaat wordt grind nauwelijks als zodanig gebruikt. Het is en was natuurlijk wel een belangrijke grondstof voor beton. In asfalt werd in verleden ook veel grind toegepast, dat is door de komst van STAB (Steenslag Asfalt Beton) aanzienlijk afgenomen.

Tabel B.12 geeft een analyse weer van de circulariteit van grind en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.12 Analyse circulariteit grind

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij grind	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Demontabel	Circulair	Grindverhardingen	Na wassen en zeven wordt grind opnieuw gebruikt	Zeer beperkt
Zuivere stroom	Recycling	Zeer beperkt in onder andere filterlagen	Hergebruik	Zeer beperkt
In een composiet	Recycling	In beton In grindasfaltbeton (GAB)	Recycling <ul style="list-style-type: none"> in menggranulaat via beton, in beton via grindvervangend betongranulaat in regeneratie-asfalt via freesasfalt 	Groot

De aanwezigheid van grind in andere bouwgrondstoffen is geen risico voor de circulariteit van die andere bouwgrondstoffen anders dan dat het de zuiverheid van een andere materiaalstroom verlaagt.

Tabel B.13 geeft de recyclingtechnieken weer die voor grind beschikbaar zijn.

Tabel B.13 Recyclingtechnieken voor grind

Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
Hergebruik grind	Ja	TRL9
Hergebruik grind als steenslag na verkleining in een breker	Ja	TRL9
Recycling grind in menggranulaat via puinbrekers	Ja	TRL9

B.1.8 Hout

Hout is een bouwstof die van bomen wordt gemaakt. Hout is mits geproduceerd uit duurzaam beheerde bossen een circulaire bouwstof als het verlies aan nutriënten in de bodem wordt verwaarloosd.

Voor hout gelden geen eisen inzake het Bbk, omdat het geen steenachtig materiaal betreft.

De minimumstandaard in LAP3 voor hout staat beschreven in sectorplan 36 en

- Is een nuttige toepassing voor A en/of B-hout. Nuttige toepassing kan zowel recycling betekenen als energierugwinning met voldoende rendement;
- Is een nuttige toepassing als brandstof bij C-hout dat niet gewolmaniseerd is;
- is storten bij C-hout, dat gewolmaniseerd is⁵⁶.

Bij Rijkswaterstaat wordt en werd hout vooral in de vorm van planken en balken toegepast in een brede range van werken. Voorbeelden zijn constructiehout in gebouwen, gordingen langs kanalen en in sluizen, palen in havens en langs stranden en paaltjes in bermen. Daarnaast worden wilgentenen toegepast in onder andere zinkstukken en rijshout. Het gebruik van zinkstukken en rijshout is weliswaar afgenomen, maar vindt nog steeds plaats.

Het hout in veel toepassingen zal bij vervanging verweerd zijn of zelfs verteerd (zinkmatten) in de toepassing.

In het verleden is bij Rijkswaterstaat veel gecreosoteerd hout gebruikt. Dit hout bleef veel langer goed in de toepassing, maar gecreosoteerd hout bevat hoge concentraties aan PAK's. Dit hout mag niet worden gerecycled, maar moet nuttig worden toegepast voor energierugwinning.

Tabel B.14 geeft een analyse weer van de circulariteit van hout en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.14 Analyse circulariteit hout

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij hout	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Demontabel	Circulair omdat hout hernieuwbaar is en van nature in toepassingen degenereert	De meeste toepassingen zijn demontabel	<ul style="list-style-type: none"> • Recycling voor onbehandeld zaaghout • Recycling voor verweerd vers hout groenverwerking • Nuttige toepassing voor behandeld of geverfd hout 	Beperkt
Zuivere stroom	Recycling	Houtsnippers op (duin)paden	Deze gaan door vertering op in de bodem	Zeer beperkt

De aanwezigheid van hout in andere bouwstoffen is met uitzondering van C-hout geen risico voor de circulariteit van die andere bouwgrondstoffen anders dan dat het de zuiverheid van een andere materiaalstroom verlaagt. C-hout zal gescheiden moeten worden verwijderd omdat haar aanwezigheid in A- en B-hout recycling onmogelijk maakt.

⁵⁶ Behandeld met CCA (chroom, koper en arseen) en/of CC (chroom en koper)

Tabel B.15 geeft de recyclingtechnieken weer die voor hout beschikbaar zijn.

Tabel B.15 Recyclingtechnieken voor hout

Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
Hergebruik houten elementen in andere werken. Bijvoorbeeld palen en paaltjes	Ja	TRL9
Recycling via afvalhout in bijvoorbeeld de productie van spaanplaat of MDF.	Nee, maar wel in buurlanden	TRL9

B.1.9 Landzand

Landzand is zand dat gewonnen wordt op het land of zandwinputten op het land. Zand is een sedimentair materiaal dat in Nederland oorspronkelijk door rivieren is afgezet. De korrelgrootte varieert van fijn tot grof zand en ligt tussen de 63 micrometer en 2 millimeter. Landzand is in vergelijking met zeezand hoogwaardig omdat het gemiddeld grover en hoekiger is. Deze eigenschappen zijn positief voor allerlei civieltechnische toepassingen.

Landzand voldoet aan de eisen van het Bbk. Voor het toepassen van nieuw geproduceerd landzand wordt getoetst aan de *BRL 9321 voor de milieuhygiënische kwaliteit van industriezand en (gebroken)industrie grind*.

De minimumstandaard in LAP3 voor landzand staat beschreven in sectorplan 29 en is recycling, mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk.

Bij Rijkswaterstaat werd en wordt landzand in grote volumes gebruikt. Bij projecten tegenwoordig is het de doelstelling om binnen een project de balans voor grondstoffen zoveel mogelijk te sluiten en daarmee zo min mogelijk landzand te gebruiken.

Tabel B.16 geeft een analyse weer van de circulariteit van landzand en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.16 Analyse circulariteit landzand

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij landzand	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Zuivere stroom	Circulair indien het gescheiden uit een werk terugneembaar is	In allerlei toepassingen bijvoorbeeld in een cunet	Hergebruik	Groot
In een composiet	Recycling	In beton In asfaltbeton	Recycling <ul style="list-style-type: none"> in menggranulaat via beton, in beton via grindvervangend betongranulaat in regeneratie-asfalt via freesasfalt 	Groot

De aanwezigheid van landzand in andere bouwgrondstoffen is geen risico voor de circulariteit van die andere bouwgrondstoffen anders dan dat het de zuiverheid van een andere materiaalstroom verlaagt.

Tabel B.17 geeft de recyclingtechnieken weer die voor landzand beschikbaar zijn.

Tabel B.17 Recyclingtechnieken voor landzand

Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
Hergebruik landzand	Ja	TRL9
Hergebruik landzand in betonproductie	Ja	TRL9
Hergebruik landzand in asfaltproductie	Ja	TRL9
Natte extractieve reiniging van verontreinigd landzand	Ja	TRL9
Thermische reiniging van verontreinigd landzand	Ja	TRL9

B.1.10 IJzer

Zuiver ijzer wordt eigenlijk nauwelijks toegepast. Zuiver ijzer heeft dan ook geen goede eigenschappen als constructiemateriaal. Er zijn de volgende twee belangrijke categorieën van constructiematerialen die uit voornamelijk ijzer bestaan:

- Staal dat minder dan 1,9% koolstof bevat;
- Gietijzer dat meer dan 2,5% koolstof bevat.

Vroeger bestonden infrastructurele constructies voor een veel groter gedeelte uit staal dan tegenwoordig. Tegenwoordig is een deel van deze constructies vervangen door gewapend beton, maar ook in het gewapende beton speelt staal via betonijzer nog altijd een zeer belangrijke rol.

De koolstof is aanwezig in ruw ijzer door het productieproces met cokes in een hoogoven. Afhankelijk van de gewenste samenstelling zal de koolstof worden verwijderd uit het ijzer. Tegelijkertijd worden de gewenste legeringselementen toegevoegd om van ijzer een hoogwaardig materiaal te maken dat aan de gewenste eisen voldoet.

In zowel staal als gietijzer worden legeringselementen toegevoegd afhankelijk van de gewenste eigenschappen voor het staal of gietijzer. De belangrijkste legeringselementen zijn chroom, mangaan, molybdeen, nikkel, silicium en molybdeen. IJzer wordt al sinds de ijzertijd veel gerecycled. De uitdaging voor de circulaire economie zit hem niet zo zeer in de recycling van ijzer, maar in de recycling van de legeringselementen.

De volgende metalen die edeler zijn dan ijzer blijven bij metallurgische recycling opgelost in het gerecyclede ijzer⁵⁷:

- | | |
|------------|--------------|
| ● Cadmium, | ● Molybdeen, |
| ● Chroom, | ● Nikkel, |
| ● Goud, | ● Platina, |
| ● Kobalt, | ● Tin, |
| ● Koper, | ● Vanadium |
| ● Lood, | ● Zilver. |
| ● Mangaan, | |

In de gerecyclede staalsmelt zullen deze metalen al aanwezig zijn indien deze in het ijzerschroot aanwezig waren. Afhankelijk van de aanvangsaanwezigheid van deze metalen kunnen de mogelijkheden om legeringen te maken beperkt worden. Als staal meerdere cycli wordt gerecycled stijgen de concentraties van deze legeringselementen en zullen steeds minder verschillende staaltypes (legeringen) geproduceerd kunnen worden uit het staal. Het is dus zaak indien mogelijk dezelfde staaltypes samen te recyclen.

De technologie om met een handheld scanner de exacte samenstelling van staal te bepalen is al beschikbaar en wordt voor grotere stalen objecten ook al gebruikt bij recycling.

De minimumstandaard in LAP3 voor ijzer staat beschreven in sectorplan 12 en is recycling. Het beleid maakt geen onderscheid in de hoogwaardigheid van hergebruik.

⁵⁷ Principles of Extractive Metallurgy- McGraw Hill - 1988

Indien staal vrijkomt bij werken van Rijkswaterstaat is het aan de (sloop)aannemer om de keuze te maken voor het verwijderen en eventueel sorteren van verschillende staalsoorten. Recycling van schaarse legeringselementen wordt daarmee overgelaten aan de markt binnen de ruimte die een sloopbestek krijgt voor een sloopproces.

Tabel B.18 geeft een analyse weer van de circulariteit van ijzer en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.18 Analyse circulariteit ijzer

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij staal	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Demontabel	Circulair	Staalconstructies, damwanden, leidingen gietijzer voor putten,	Hergebruik is mogelijk, maar hangt af van de vraag naar het specifieke object en de mate van verwerking	Beperkt
Zuivere stroom	Circulair	Staalconstructies, damwanden, leidingen gietijzer voor putten,	Recycling	Groot
In een composiet	Circulair	In betonijzer	Recycling via een puinbreker	Vrij groot

De aanwezigheid van ijzer in andere bouwgrondstoffen is behalve voor beton geen groot risico voor de circulariteit van die andere bouwgrondstoffen anders dan dat het de zuiverheid van een andere materiaalstroom verlaagt. IJzer in beton kan betonrot veroorzaken, als het ijzer in het oppervlak van betonnen objecten aanwezig is en blootgesteld wordt aan (regen)water. Het is daarom van belang dat ijzer volledig verwijderd wordt van eventuele toeslagstoffen voor beton.

Tabel B.19 geeft de recyclingtechnieken weer die voor ijzer beschikbaar zijn.

Tabel B.19 Recyclingtechnieken voor ijzer

Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
In het Linz-Donawitz proces waarbij ruwijzer van een hoogoven wordt omgezet in staal.	Ja	TRL9
In een vlamboogoven kan schroot worden omgezet in nieuw staal.	Nee, niet meer wel in buurlanden	TRL9

B.1.11 Zeezand

Zeezand is zand dat op zee gewonnen wordt. Zand is een sedimentair materiaal dat in Nederland oorspronkelijk door rivieren is afgezet en uiteindelijk in de delta beland. De zee transporteert het zand vervolgens mee met zeestromingen. De korrelgrootte varieert van fijn tot grof zand en ligt tussen de 63 micrometer en 2 millimeter. Zeezand is in vergelijking met landzand minder hoogwaardig omdat het gemiddeld fijner en ronder is. Het wordt daarom vaker als ophoog- en/of vulmateriaal gebruikt. Daarnaast bevat zeezand veel zouten waaronder chloride. Dit maakt toepassing op het land en in zoet water lastig voor zeezand. Het zeezand moet ontzout worden door een intensieve spoeling met zoet water alvorens het toegepast kan worden. Dit maakt toepassing van zeezand in gebieden die zout of brak zijn eenvoudiger.

Zeezand voldoet aan de eisen van het Bbk. Voor het toepassen van nieuw geproduceerd zeezand wordt getoetst aan de *BRL 9313 voor zand uit dynamische wingebieden*.

De minimumstandaard in LAP3 voor zeezand staat beschreven in sectorplan 29 en is recycling, mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk.

Landelijk was in 1974 sprake van de winning van 2,8 miljoen m³ zeezand⁵⁸. Dit volume groeide gestaag tot 13 miljoen m³ per jaar in de jaren 90. Na 2000 werd dit zelfs meer dan 35 miljoen m³. Daarna werd dit nog meer. In de Tweede Maasvlakte is in totaal 600 miljoen m³ toegepast. Welke van deze volumes bij Rijkswaterstaat horen is niet exact bekend, maar het zijn substantiële volumes.

Tabel B.20 geeft een analyse weer van de circulariteit van zeezand en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.20 Analyse circulariteit zeezand

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij zeezand	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Zuivere stroom	Circulair	Toepassing als ophoog- en/of opvulmateriaal	Recycling in een vergelijkbare toepassing	Zeer Groot

De recyclingmogelijkheden voor zeezand worden beperkt door de enorme volumes en mogelijke aanwezigheid van chloride. De aanwezigheid van zeezand in andere bouwgrondstoffen kan een risico zijn als het aandeel substantieel is en chloride nog in het zeezand aanwezig is.

⁵⁸ Cobouw 12 juni 2004

B.2 Secundaire bouwgrondstoffen uit recyclingprocessen

Deze paragraaf geeft voor secundaire bouwgrondstoffen uit recyclingprocessen (zoals gespecificeerd in paragraaf 3.1) een analyse weer voor de circulariteit.

B.2.1 AVI-bodemas

AVI-bodemas bestaat uit de inerte verbrandingsresten van de verbranding van afvalstoffen die op het verbrandingsrooster blijven liggen en via een waterslot vrijkomen. Bij de opwerking van AVI-bodemas worden metalen teruggewonnen en wordt de milieuhygiënische kwaliteit verbeterd, alvorens het toe te passen aan een bouwstof. De overheid spreekt over AVI-bodemas. De afvalbranche gebruikt de term AEC-bodemas. Het betreft hetzelfde materiaal van afvalverbrandingsinstallaties (AVI's) of te wel afvalenergiecentrales (AEC's).

AVI-bodemas werd tot 2013 alleen toegepast als Isolerende Beschermende en Controle (IBC)-bouwstof met behulp van de *BRL2307-2 voor AEC-bodemas voor ongebonden toepassing in grond- en wegebouwkundige projecten*. In deze rapportage wordt dit de 'oude' AVI-bodemas genoemd. Sindsdien is mede door de afspraken in de Green Deal AEC-bodemas⁵⁹ veel veranderd. Vanaf 2017 moest minimaal 50% van het AVI-bodemas opgewerkt worden tot vrij toepasbare bouwstof en mocht maximaal 15% van het (fijne) opwerkingsresidu gestort worden. De resterende 35% van de AV-bodemas mocht nog in IBC-constructies worden toegepast. Vanaf 2020 mag alleen nog maar 'nieuwe' AVI-bodemas als vrij toepasbare bouwstof worden toegepast. Hierbij wordt wel het storten van maximaal 15% fijne residufractie toegelaten.

De minimumstandaard in LAP3 voor AVI-bodemas staat beschreven in sectorplan 20.

Bij Rijkswaterstaat wordt AVI-bodemas vooral als funderingsmateriaal gebruikt, maar ook voor geluidswallen. In de periode 1986 -1993 is in 3 werken bij Rijkswaterstaat 283 kton toegepast⁶⁰. In de periode 1993-1998 is in 4 werken 1.309 kton toegepast. In de periode 1999 tot en met 2003 is in 18 werken 2.638 kton toegepast. Op het moment is circa 13 miljoen⁶¹ ton AVI-bodemas aanwezig in werken van Rijkswaterstaat.

Sinds het in werking treden van het Bouwstoffenbesluit 1999 moest AVI-bodemas worden toegepast als IBC-bouwstof waarbij de bouwstof ten minste 50 centimeter hoger dan de gemiddeld hoogste grondwaterstand moet liggen. Het 'oude' AVI-bodemas is alleen met IBC-maatregelen milieuverantwoord toepasbaar. AVI-bodemas heeft in deze toepassing een paar nadelen. Voor antimoon, molybdeen en koper is de uitloging te hoog om als bouwstof toe te kunnen passen in het kader van het Bbk. Daarnaast treedt bij AVI-bodemas, waarvan alleen ferro- en non-ferrometalen zijn verwijderd, vaak verkitting op. Deze monolietvorming kan problemen geven met zetting en scheuren, en ook een negatief effect hebben op de hydrologie van een werk. Daarnaast is de pH van AVI-bodemas erg hoog en vormt dit een risico wanneer het in contact komt met grondwater en/of oppervlaktewater.

Door de Green Deal AEC-bodemas⁶² moest vanaf 1 januari 2017 tenminste 50% van het AVI-bodemas vrij toepasbaar zijn in het kader van het Bbk. Vanaf 2020 is het toepassen van AVI-bodemas als IBC-bouwstof niet meer toepasbaar. Het vrij toepasbaar maken van AVI-bodemas wordt gedaan door een efficiëntere terugwinning van metalen en het uitwassen van de fijne fractie waardoor de kwaliteit zowel milieuhygiënisch als civieltechnisch verbeterd. Dit betekent dat de recyclebaarheid van 'oude' AVI-bodemas, dat nog niet vrij toepasbaar was, beduidend minder is dan dat van het 'nieuwe' vrij toepasbare AVI-bodemas.

⁵⁹ Green Deal Verduurzaming nuttige toepassing AEC-bodemas - 2012

⁶⁰ Inventarisatie en analyse informatie bestaande werken AVI-bodemas – Tauw - 2005

⁶¹ Persoonlijke mededeling Wim van Grinsven

⁶² AEC-bodemas is een andere benaming voor AVI-bodemas

Tabel B.21 geeft een analyse weer van de circulariteit van AVI-bodemas en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.21 Analyse circulariteit AVI-bodemas

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij AVI-bodemas	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Zuivere stroom	'Nieuwe' AVI-bodemas is niet circulair, maar recyclebaar in een laagwaardige toepassing 'Oude' AVI-bodemas is vooralsnog niet-recyclebaar door onvoldoende civieltechnische en milieuhygiënische kwaliteit	Toegepast als fundering onder wegen en vulmateriaal taluds en geluidswallen	<ul style="list-style-type: none"> Recycling voor vrij toepasbaar 'nieuwe' AVI-bodemas Nog niet-recyclebaar voor IBC-bouwstof 	Groot

De gangbare functie van AVI-bodemas in een werk is zodanig dat zonder aanleiding deze niet snel verandert. Een fundering van bijvoorbeeld een weg, geluidswal of talud vervult meestal decennia lang dezelfde functie. Echter, als een weg moet worden verbreed, bestaat het risico dat door verschillen in zetting het noodzakelijk is het 'oude' AVI-bodemas te verwijderen. In dat geval is sprake van een substantieel financieel risico, omdat er (nog) geen specifieke verwerkingscapaciteit is voor het incidentele verkitte 'oude' AVI-bodemas. De 'oude' AVI-bodemas kan niet zonder meer worden hergebruikt, omdat het niet vrij toepasbaar is. Het 'oude' AVI-bodemas vereist reiniging met reinigingstechnieken (zie tabel B.22). Het verkitte AVI-bodemas zal gefreesd en/of gebroken moeten worden om in deze technieken te worden gereinigd. Er is echter geen ervaring met de reiniging van 'oude' AVI-bodemas in deze nieuwe installaties.

Indien blijkt dat het oude AVI-bodemas niet te reinigen is, resteert storten als enige optie voor verwerking.

De 13 Mton 'oude' AVI-bodemas in werken van Rijkswaterstaat geven een risico van een substantiële kostenpost als het reinigen van het 'oude' AVI-bodemas niet mogelijk blijkt te zijn of deze duur uitpakt. Echter, nu het AVI-bodemas al in de toepassingen aanwezig is, is de meest duurzame oplossing de toepassingen zo lang mogelijk blijven gebruiken.

Het 'nieuwe' AVI-bodemas is veel eenvoudiger toe te passen zijn en is daarmee waarschijnlijk ook eenvoudiger te recyclen. Bij het 'nieuwe' AVI-bodemas is nauwelijks nog sprake van verkitting de meest reactieve verwijderd is⁶³. Of 'nieuwe' AVI inderdaad beter te recyclen is moet blijken als de eerste werken met 'nieuwe' AVI-bodemas worden gesloopt. Duidelijkheid hierover kan daarom nog wel 20 jaar duren.

⁶³ Persoonlijke mededeling van Dick Eerland namens Heros

Tabel B.22 geeft de recyclingtechnieken weer die voor AVI-bodemas beschikbaar zijn.

Tabel B.22 Recyclingtechnieken voor AVI-bodemas

Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
Advanced Dry Technology (ADR)	Ja	TRL9
BodemAsWasInstallatie (BAWI)	Ja	TRL9
Traditionele opwerking en veroudering AVI-bodemas	Ja	TRL9

B.2.2 AVI-vliegas

AVI-vliegas bestaat uit de inerte verbrandingsresten uit de verbranding van afvalstoffen die via de rookgassen de verbrandingsketel verlaten en in de rookgasreiniging worden afgescheiden. Het AVI-vliegas wordt opgevangen in de elektrostaatscheider en/of het doekenfilter.

AVI-vliegas voldoet niet aan de eisen van het Bbk.

De minimumstandaard in LAP3 voor AVI-vliegas staat beschreven in sectorplan 21 en is storten al dan niet na koude immobilisatie op een daartoe geschikte stortplaats. Dit geldt ook voor AVI-vliegas dat vrij komt uit werken.

Tot de inwerkingtreding van het Landelijk Afvalbeheerplan 2 op 24 december 2009 mocht AVI-vliegas worden toegepast als vulstof in asfalt mits het voor 100% nuttig werd toegepast. Aan asfalt werd circa 1,2 % AVI-vliegas toegevoegd⁶⁴.

AVI-vliegas dat voor 2010 in slijtlagen als vulstof is toegepast heeft milieuhygiënische risico's. Die slijtlagen zullen echter inmiddels grotendeels vervangen zijn en mocht het freesasfalt van deze lagen worden gerecycled dan worden de ongewenste componenten uit AVI-vliegas geïmmobiliseerd in de matrix van de nieuwe asfalttoepassingen. Omdat inzicht ontbreekt waar deze materiaalstroom is toegepast, valt er voor RWS eigenlijk niet te sturen op verwijdering van dit materiaal uit de keten.

Hergebruik van bouwgrondstoffen waarin AVI-vliegas als toeslagstof is toegepast kunnen beter uit de keten worden verwijderd ten einde de bouwgrondstoffen zonder de aanwezigheid van AVI-vliegas hoogwaardiger te kunnen toepassen.

Tabel B.23 geeft een analyse weer van de circulariteit van AVI-vliegas en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.23 Analyse circulariteit AVI-vliegas

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij AVI-vliegas	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Zuivere stroom	Niet circulair	Incidenteel in het verleden toegepast voor verharding	Storten	Zeer beperkt
In een composiet	Niet circulair	Voorheen toegepast in slijtlagen van asfalt	Recycling in asfalt of AGRAC wanneer geen PAK aanwezig is	Vrij beperkt

De aanwezigheid van AVI-vliegas in andere bouwgrondstoffen is een groot risico voor de circulariteit van die andere bouwgrondstoffen omdat het de milieuhygiënische kwaliteit negatief beïnvloedt.

AVI-vliegas werd toegepast in gebonden toepassingen als vulstof (bijvoorbeeld asfalt). De recycling van deze toepassingen loopt via deze gebonden toepassingen en er zijn derhalve geen specifieke recyclingtechnieken beschikbaar. Mits recycling van bouwgrondstoffen met kleine concentraties AVI-vliegas opnieuw gebonden wordt toegepast zijn de milieuhygiënische risico's beperkt. Voor AVI-vliegas dat in het verleden als ongebonden bouwstof is toegepast, is het niet wenselijk deze te recyclen. Het AVI-vliegas kan het beste volgens het sectorplan 21 van het LAP3 worden verwerkt.

⁶⁴ www.lap2.nl/publish/library/166/mer-lap_achtergonddocument25_avi_vliegas.pdf

B.2.3 ECO filler

ECO filler is een inerte fractie die resulteert uit het verbranden van teerhoudend asfalt en teerhoudend bitumineus dakafval. ECO Filler is de zeer fijne inerte fractie die wordt teruggewonnen uit zowel de rookgassen als koellucht van het volledig verbranden van teerhoudend asfalt, met TAG verontreinigd bouw- en sloopafval en/of teerhoudend bitumineus dakafval.

ECO filler voldoet aan de eisen van het Bbk als dit wordt toegepast als vulstof in beton en mortel. Voor het toepassen het toepassen ECO filler wordt getoetst aan de *BRL 1804 voor vulstoffen voor toepassing in beton en mortel*.

De grondstoffen voor ECO filler zijn teerhoudend asfalt en dakbitumen, en worden behandeld in respectievelijk sectorplan 34 en 33 van LAP 3. In het productieproces worden de PAK's vernietigd en daardoor kan de minerale fractie worden gerecycled. In LAP 3 is sectorplan is sector 29 voor overige steenachtige materialen van toepassing op bouwstoffen met ECO filler die vrijkomen uit een werk. Hier is recycling de minimumstandaard, mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk.

Bij Rijkswaterstaat werd en wordt mogelijk beton of mortel gebruikt waarin ECO filler is toegepast. Dit toepassen wordt niet geregistreerd en is daarmee niet goed bekend.

Tabel B.24 geeft een analyse weer van de circulariteit van ECO filler en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.24 Analyse circulariteit ECO filler

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij ECO filler	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
In een composiet	Recycling	Toepassing in beton en asfalt	Hergebruik in asfalt, beton, AGRAC of menggranulaat	Waarschijnlijk aanwezig

De belangrijkste toepassing in gebonden bouwstoffen zorgt ervoor dat het eventuele risico voor de aanwezigheid van ECO filler naar verwachting zeer beperkt is.

ECO filler wordt alleen in composieten als beton en mortel toegepast. Daarom loop recycling ook via die bouwgrondstoffen en zijn er geen eigen recyclingtechnieken noodzakelijk.

B.2.4 ECO granulaat

ECO granulaat is een inerte fractie die resulteert uit het verbranden van teerhoudend asfalt en teerhoudend bitumineus dakafval. ECO granulaat betreft twee grove fracties die na het breken van de volledige minerale fractie worden gezeefd. Het betreft de volgende twee fracties: 2/8 en 8/16 mm.

De producten waarin ECO granulaat wordt toegepast moeten voldoen aan de eisen van het Bbk.

De grondstoffen voor ECO granulaat zijn teerhoudend asfalt en dakbitumen en worden behandeld in sectorplan 34 en 33 van LAP 3. In het productieproces worden de PAK's vernietigd en kan de minerale fractie worden gerecycled. In LAP 3 is sectorplan 29 voor overige steenachtige materialen van toepassing voor bouwstoffen waarin ECO granulaat is toegepast. Hier is recycling de minimumstandaard, mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk.

Tabel B.25 geeft een analyse weer van de circulariteit van ECO granulaat en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.25 Analyse circulariteit ECO granulaat

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij ECO granulaat	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
In een composiet	Recycling	Toepassing in beton en asfalt	Hergebruik in asfalt, beton, AGRAC of menggranulaat	Waarschijnlijk aanwezig

De aanwezigheid van ECO granulaat in gebonden bouwstoffen heeft naar verwachting geen of een zeer beperkte invloed op de circulariteit van de gebonden toepassingen.

Tabel B.26 geeft de recyclingtechnieken weer die voor ECO granulaat beschikbaar zijn.

Tabel B.26 Recyclingtechnieken voor ECO granulaat

Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
Puinbreker	Ja	TRL9

B.2.5 ECO zand

ECO zand is een inerte fractie die resulteert uit het verbranden van teerhoudend asfalt en teerhoudend bitumineus dakafval. Na het breken van de volledige minerale fractie wordt deze gezeefd in fractie 0/2 mm voor het ECO zand.

ECO zand voldoet aan de eisen van het Bbk. Voor toepassen van ECO zand wordt getoetst aan de *BRL 2502 Korrelvormige materialen met een volumieke massa van ten minste 2000 kg/m³*. Het ECO zand wordt per partijkeuring gekeurd voor toepassing in een werk.

De grondstoffen voor ECO zand zijn teerhoudend asfalt en dakbitumen, en worden behandeld in respectievelijk sectorplan 34 en 33 van LAP3. In het productieproces worden de PAK's vernietigd en kan de minerale fractie worden gerecycled. In LAP3 is sectorplan 29 voor overige steenachtige materialen van toepassing indien bouwstoffen met ECO zand vrijkomen uit een werk. Hier is recycling de minimumstandaard, mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk.

Bij Rijkswaterstaat is ECO zand nooit ongebonden toegepast, en het toepassen als ongebonden materiaal is voor de onderbouw van constructies ook niet meer toegestaan. Recent is in een gezamenlijk project met de gemeente Almere in het gemeentelijke deel van het project wel ECO zand toegepast.

Tabel B.27 geeft een analyse weer van de circulariteit van ECO zand en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.27 Analyse circulariteit ECO zand

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij ECO zand	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
In een composiet	Recycling	Goed geschikt voor dit type recycling	Hergebruik in asfalt, beton, AGRAC of menggranulaat	Onbekend

De aanwezigheid van ECO zand in gebonden bouwstoffen heeft naar verwachting geen of een beperkte invloed op de circulariteit van de gebonden toepassingen.

Tabel B.28 geeft de recyclingtechnieken weer die voor ECO zand beschikbaar zijn.

Tabel B.28 Recyclingtechnieken voor ECO zand

Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
De recyclingtechniek voor ECO zand zal afhangen van de kwaliteit en gelijk moeten zijn/worden aan Klasse industrie	Ja	TRL9

B.2.6 Immobilisaat

Immobilisaat is een mengsel van een of meerdere (afval)stoffen waar een bindmiddel en soms ook andere additieven zijn toegevoegd. Het doel van het bindmiddel en de eventuele additieven is de verontreinigingen uit één of meerdere afvalstoffen fysisch en/of chemisch te binden. Vaak wordt bij immobilisaat gebruik gemaakt van het bindmiddel cement.

Volgens de BRL 9322 voor *mengsel van cement gebonden minerale reststoffen*, geldt bijvoorbeeld als eis dat minstens 80% van de grondstoffen voor het immobilisaat bestaat verontreinigde grond (eventueel met aanhangend steenachtig bouw- en sloopafval), baggerspecie of een andere minerale reststof. Dit betekent dat maximaal 20% andere stoffen wordt toegevoegd. De meest voorkomende toepassing voor immobilisaat is toepassing als funderingslaag onder wegen, parkeerplaatsen en bedrijfsterreinen. In de bestanddelen van immobilisaat mag slechts een beperkt percentage organisch materiaal zitten. Uit onderzoek van Intron⁶⁵ blijkt dat immobilisaat bij cementpercentages van 4 en 8% als bouwstof zowel civieltechnisch als milieuhygiënisch is te recyclen. Dit is recyclen kan in de onderzochte gevallen milieuhygiënisch zelfs plaatsvinden nadat het immobilisaat gebroken is. Het onderzoek gaat echter niet in op de grens van geïmmobiliseerde verontreiniging waarbij dit milieuhygiënisch nog mogelijk is.

Immobilisaat wordt zodanig geproduceerd dat het voldoet aan de eisen van het Bbk. Voor het toepassen van immobilisaat wordt getoetst aan de *BRL 9322 voor mengsels van minerale gebonden reststoffen*.

De minimumstandaard in LAP3 voor immobilisaat hangt af van de aanwezigheid van zeer zorgwekkende stoffen (ZZS). Indien geen ZZS aanwezig zijn, wordt de minimumstandaard beschreven in sectorplan 29 en is de minimumstandaard recycling, mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk. Indien ZZS aanwezig zijn hangt de minimumstandaard af van de optredende risico's bij recycling.

Bij Rijkswaterstaat mag immobilisaat niet onder het wegdek worden toegepast. In andere onderdelen van werk worden geïmmobiliseerde blokken toegepast. De mate waarin dit plaatsvindt, is niet goed bekend.

Tabel B.29 geeft een analyse weer van de circulariteit van immobilisaat en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.29 Analyse circulariteit immobilisaat

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij immobilisaat	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Demontabel	Circulair, maar laagwaardige toepassing	In demontabele blokken	Hergebruik	Zeer beperkt
In een composiet	Recycling	Gebroken immobilisaat in asfalt of beton toegepast	Recycling	Onbekend

De aanwezigheid van immobilisaat in andere bouwgrondstoffen is een potentieel risico voor de circulariteit van die andere bouwgrondstoffen als het immobilisaat gebroken wordt. Er is onderzoek beschikbaar waaruit blijkt dat het mogelijk is immobilisaat te breken en dat vervolgens aan de eisen van het Bbk wordt voldaan. Dit kan echter niet gegeneraliseerd worden omdat de mate en aard waarin verontreinigingen aanwezig zijn verschilt en dit zal invloed hebben op de milieuhygiënische kwaliteit.

⁶⁵ Intron – Lange termijn gedrag en recycling van cementgebonden immobilisaat - 2006

Tabel B.30 geeft de recyclingtechnieken weer die voor immobilisaat beschikbaar zijn. De tabel geeft tevens aan of de techniek in Nederland commercieel beschikbaar is en het Technology Readiness Level (TRL).

Tabel B.30 Recyclingtechnieken voor immobilisaat

Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
Breken tot steenslag of menggranulaat Hierbij is het verstandig vooraf te toetsen of de immobilisatie voldoende is om de test met de kolomproef succesvol te doorstaan.	Ja	TRL9

B.2.7 Nat extractief gereinigde grond

Nat extractief gereinigde grond is grond die gereinigd is door een combinatie van natte reinigingstechnieken. Verontreinigingen zijn oververtegenwoordigd in de fijne en/of organische fractie. Door middel van deeltjesgroottescheiding in bijvoorbeeld een spiraal wordt de fijne fractie verwijderd. Met behulp van flotatie kan het organisch materiaal worden verwijderd.

Nat extractief gereinigde grond kan voldoen aan de eisen van het Bbk. Voor de reiniging en het toepassen van de nat extractief gereinigde grond wordt getoetst aan de *BRL SIKB 7500 Procesmatige ex situ reiniging en immobilisatie van grond en baggerspecie*.

De minimumstandaard in LAP3 voor nat extractief gereinigde grond hangt af van de aanwezigheid van zeer zorgwekkende stoffen (ZZS). Indien geen ZZS aanwezig zijn, wordt de minimumstandaard beschreven in sectorplan 29 en is de minimumstandaard recycling, mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk. Indien ZZS aanwezig zijn, hangt de minimumstandaard af van de optredende risico's bij recycling.

Tabel B.31 geeft een analyse weer van de circulariteit van nat extractief gereinigde grond en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.31 Analyse circulariteit nat extractief gereinigde grond

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij nat extractief gereinigde grond	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Zuivere stroom	Circulair, maar laagwaardige toepassing	Toegepast als ophoogmateriaal	Hergebruik als ophoogmateriaal	Onbekend, omdat nat extractief gereinigde grond als grond wordt gemeld

Tabel B.32 geeft de recyclingstechnieken weer die voor nat extractief gereinigde grond beschikbaar zijn. De tabel geeft tevens aan of de techniek in Nederland commercieel beschikbaar is en het Technology Readiness Level (TRL).

Tabel B.32 Recyclingstechnieken voor nat extractief gereinigde grond

Beschikbare recyclingstechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
De recyclingstechniek voor nat extractief gereinigde grond zal afhangen van de kwaliteit en gelijk moeten zijn/worden aan klasse industrie	Ja	TRL9

De aanwezigheid van nat extractief gereinigde grond bij de bouwgrondstoffen die vrijkomen uit een werk kunnen een risico zijn. Dit is in het bijzonder het geval bij de schonere klassen voor grond.

B.2.8 Thermisch Gereinigde Grond

Thermisch Gereinigde Grond (TGG) is grond die gereinigd is door deze te verhitten tot een temperatuur van circa 400 graden Celsius. Het doel van deze temperatuur is de verontreinigende componenten te verwijderen doordat de dampspanning meer dan 1 atmosfeer bedraagt. Daarom kan grond alleen maar thermisch gereinigd worden voor verontreinigingen met relatief lage dampunten. Dit zijn organische verontreinigingen, kwik(-verbindingen) en cyanide. Zware metalen anders dan kwik kunnen niet worden verwijderd. Hoewel in grond aanwezig organisch materiaal bij deze temperaturen enigszins zal worden gedegradieerd, is geen sprake van verbranding van de organische fractie. Hiervoor zouden de temperaturen veel hoger moeten zijn.

Daarnaast treedt bij thermische grondreiniging het effect op dat al het bodemleven wordt geneutraliseerd. Grond uit een bodem is een samenhang van zand, klei, organisch materiaal, bodemschimmels en een brede range aan ongewervelden. Bij het verhogen van de temperatuur tot 400 graden gaat het bodemleven van de grond dood. Dit zorgt ervoor dat het TGG zich anders zal gaan gedragen. De bodemchemie zal veranderen en de meeste planten zullen (aanvankelijk) minder goed groeien. Voor sommige toepassingen van TGG heeft deze neutralisatie van het bodemleven geen effect, maar voor andere toepassingen heeft dit wel effect. Zonder leeflaag met snelle plantengroei zal TGG gevoeliger zijn voor erosie. Bovenstaand effect wordt niet meegenomen in het Bbk.

TGG kan voldoen aan de eisen van het Bbk. Voor de reiniging en het toepassen van de TGG wordt getoetst aan de *BRL SIKB 7500 Procesmatige ex situ reiniging en immobilisatie van grond en baggerspecie*.

TGG behoudt de status van grond. Daarom is voor TGG de minimumstandaard uit LAP3 voor TGG van sectorplan 39 van toepassing en is recycling, mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk.

Bij Rijkswaterstaat heeft TGG in het verleden in grote partijen toegepast in haar werken. Bijvoorbeeld in twee projecten voor Ruimte voor de Rivieren waar 475.000 m³ werd toegepast in het project Noordwaard, 275.000 m³ in de Overdiepse Polder en 275.000 m³ in de Perkpolder.

Recentelijk werden problemen geconstateerd bij projecten waar TGG was toegepast. In één geval was sprake van uitloogproblemen, doordat in aangrenzend oppervlaktewater te hoge concentraties chloride en sulfaat werden geconstateerd en de pH te hoog werd. In een ander geval in een project in de Perkpolder verkitting geconstateerd.

Het toepassen van TGG is door deze voorvallen stilgelegd in afwachting van onderzoek naar de oorzaken en mogelijke consequenties voor toekomstig gebruik.

Tabel B.33 geeft een analyse weer van de circulariteit van TGG en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.33 Analyse circulariteit TGG

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij TGG	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Zuivere stroom	Circulair, maar laagwaardige toepassing	Toepassing in wegebouw en als ophoogmateriaal	Hergebruik	Groot

De aanwezigheid van TGG bij de bouwgrondstoffen die vrijkomen uit een werk kunnen een risico zijn. Dit is in het bijzonder het geval bij de schonere klassen voor grond.

Tabel B.34 geeft de recyclingtechnieken weer die voor TGG beschikbaar zijn.

Tabel B.34 Recyclingtechnieken voor TGG

Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
De recyclingtechniek voor TGG zal afhangen van de kwaliteit en gelijk moeten zijn/worden aan klasse industrie	Ja	TRL9

B.3 Secundaire bouwgrondstoffen uit productieprocessen voor grondstoffen

Deze paragraaf geeft voor secundaire bouwgrondstoffen uit productieprocessen (zoals gespecificeerd in paragraaf 3.1) een analyse weer voor de circulariteit.

B.3.1 E-bodemassen

E-bodemassen bestaan uit de assen die op de bodem van een verbrandingsketel voor een (poeder) koolgestookte elektriciteitscentrale achterblijven.

E-bodemassen kunnen voldoen aan de eisen van het Bbk. E-bodemassen worden getoetst aan de *BRL 9302 voor E-bodemassen in ongebonden toepassing*.

De minimumstandaard in LAP3 voor E-bodemassen staat beschreven in sectorplan 23 en is recycling mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk. Maar wanneer E-bodemassen uit een werk vrij komt valt het onder sectorplan 29 en is recycling de minimumstandaard mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk.

Het is niet bekend of E-bodemassen bij Rijkswaterstaat ongebonden is toegepast. Het is wel waarschijnlijk dat beton en/of asfalt met daarin E-bodemassen is toegepast bij Rijkswaterstaat.

Tabel B.35 geeft een analyse weer van de circulariteit van E-bodemassen en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.35 Analyse circulariteit E-bodemassen

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij E-bodemassen	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Zuivere stroom	Recycling	Toepassing als ongebonden fundering	Recycling als de kwaliteit voldoende is	Zeer beperkt
In een composiet	<ul style="list-style-type: none"> Circulair bij opnieuw toepassing in beton of asfalt Recycling bij toepassen in AGRAC 	Toepassing als toeslagstof in beton en/of asfalt	<ul style="list-style-type: none"> Recycling in menggranulaat, asfalt Recycling in AGRAC 	Beperkt

De aanwezigheid van E-bodemassen in andere bouwgrondstoffen is geen groot risico voor de circulariteit van die andere bouwgrondstoffen anders dan dat het de zuiverheid van een andere materiaalstroom verlaagt.

Tabel B.36 geeft de recyclingtechnieken weer die voor E-bodemassen beschikbaar zijn.

Tabel B.36 Recyclingtechnieken voor E-bodemassen

Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
Hergebruik in beton of asfalt	Ja	TRL9

B.3.2 Staalslakken

Er zijn twee belangrijke type staalslakken. Dit zijn ELO-staalslakken en LD-staalslakken. In de toepassing werd bij Rijkswaterstaat geen onderscheid gemaakt tussen deze twee typen staalslakken.

ELO-staalslakken zijn slakken uit het staalproductieproces waarbij schroot met behulp van een vlamboog en toeslagstoffen wordt omgezet in staal. Deze slakken kwamen voorheen vrij bij het failliete Nedstaal, maar in het nabije buitenland zijn vergelijkbare installaties nog aanwezig.

LD-staalslakken zijn slakken uit het Linz-Donawitzproces. Dit is het proces waar uit ruw ijzer staal wordt gemaakt door het toevoegen van zuurstof en schroot. Deze slakken komen onder andere vrij bij Tata Steel in Velsen.

LD-staalslakken kunnen voldoen aan de eisen van het Bbk. Voor het toepassen van LD-staalslakken wordt getoetst aan de *BRL 9310 voor LD-staalslak(mengsel) voor toepassing in de wegenbouw*. Ook ELO-staalslakken kunnen voldoen aan de eisen van het Bbk. Voor het toepassen van ELO-staalslakken wordt getoetst aan de *BRL 9328 voor ELO-staalslak voor toepassing in de wegenbouw en kust- en oeverwerken*. Voor beide type staalslakken kan ook de *BRL 9345 voor slakken en slakmengsels voor toepassing in GWW-werken* gehanteerd worden. Bij Rijkswaterstaat mogen staalslakken alleen worden toegepast bij zout of brak water en langs de grote rivieren.

De minimumstandaard in LAP3 voor LD- en ELO-staalslakken staat beschreven in sectorplan 3 en is recycling, mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk, zolang de eventuele poorttarieven niet meer dan 205 euro per ton bedragen. Maar wanneer ELO-staalslakken uit een werk vrij komen vallen ze onder sectorplan 29 en is recycling de minimumstandaard, mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk.

Bij Rijkswaterstaat is in de periode 1993 – 2003 minimaal 2.300.430 ton aan staalslakken toegepast. De variatie tussen de jaren was heel groot. In 1999 werd bijvoorbeeld 889 kton toegepast. In de periode 1989 tot en met 2003 werd in 7 van de 15 jaren helemaal geen staalslak toegepast. De toegepaste volumes in de periode voor 1989 en na 2003 zijn niet bekend. Omdat staalslakken vooral in zout water worden toegepast is het de verwachting dat in de periode voor 1989 veel grotere volumes toegepast zijn in de deltawerken.

Tabel B.37 geeft een analyse weer van de circulariteit van voor LD- en ELO-staalslakken en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.37 Analyse circulariteit voor LD- en ELO-staalslakken

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij voor LD- en ELO-staalslakken	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Zuivere stroom	<ul style="list-style-type: none"> • Circulair • Recycling • Recycling 	In stortsteen voor oeverbescherming, voor reparaties,	<ul style="list-style-type: none"> • Hergebruik als staalslakken • Recycling in hydraulisch menggranulaat • Recycling in cementproductie 	Groot

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij voor LD- en ELO-staalslakken	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
In een composiet	Recycling	<ul style="list-style-type: none"> In hydraulisch menggranulaat dat in funderingen wordt toegepast In hoogoven-cement 	<ul style="list-style-type: none"> Recycling in menggranulaat of via betongranulaat in beton 	Groot

De aanwezigheid van staalslakken in andere bouwgrondstoffen is een risico voor de circulariteit van andere bouwgrondstoffen, omdat het met name op de pH van een bouwgrondstof een negatief effect kan hebben.

Tabel B.38 geeft de recyclingtechnieken weer die voor staalslakken beschikbaar zijn.

Tabel B.38 Recyclingtechnieken voor staalslakken

Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
Hergebruik staalslakken	Ja	TRL9
Recycling in hydraulisch menggranulaat via een puinbreker	Ja	TRL9

B.3.3 Fosforslakken

Fosforslakken zijn een steenachtige reststof die vrijkomt in het fosforproductieproces waarbij fosfaaterts bij 1.500°C met behulp van een vlamboog en toeslagstoffen wordt omgezet in fosfor. De fosforslakken waren een reststof/bijproduct. De laatste Nederlandse producent van fosforslakken was Thermphos in Vlissingen dat in 2012 failliet ging. Momenteel zijn in de Europese Unie geen fosforfabrieken meer aanwezig.

Fosforslakken kunnen voldoen aan de eisen van het Bbk. Voor het toepassen van nieuw geproduceerde fosforslakken wordt getoetst aan de *BRL 9304 voor fosforslakmengsel voor toepassing in de wegenbouw* of de *BRL 9345 voor slakken en slakmengsels voor toepassing in GWW-werken*. Deze beoordelingsrichtlijnen toetsen niet op mogelijke radioactiviteit.

De minimumstandaard in LAP3 voor fosforslakken staat beschreven in sectorplan 3 en is recycling mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk zolang de eventuele poorttarieven niet meer dan 205 euro per ton bedragen. Maar wanneer fosforslakken uit een werk vrij komen vallen ze onder sectorplan 29 en is recycling de minimumstandaard, mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk.

Fosforslakken zijn licht radioactief. De mate van radioactiviteit hangt af van de gebruikte fosfaatertsen. Radioactievere fosfaatertsen zijn goedkoper dan fosfaatertsen met weinig radioactiviteit. Sinds de problematiek van de lichte radioactiviteit van fosfaatslakken aan het licht kwam is er regelgeving gekomen en is de selectie van ertsen zo afgestemd dat de radioactiviteit onder de kritische grenswaarde bleef van 1,0 kBq/kg. Boven deze grens geldt voor de aanwezige radioactiviteit een meldingsplicht. Onder deze grens zijn de fosforslakken gewoon toepasbaar als bouwstof.

De radioactiviteit van fosforslakken was in ieder geval in 1968 bekend, toen de arbeidsinspectie een onderzoek instelde naar de radioactiviteit van de fosforslakken. De problematiek heeft ervoor gezorgd dat Thermphos of haar voorloper Van Hoechst op enig moment is gaan sturen in de radioactiviteit. Wanneer dit sturen precies begonnen is, is niet bekend.

Bij Rijkswaterstaat werden fosforslakken in de periode 1989 tot en met 2003 jaarlijks gebruikt in volumes variërend van 8000 tot 273.000 ton. Het totale gebruik over deze periode bedroeg 972.000 ton. Het gebruik bij Rijkswaterstaat in de periode daarvoor en daarna is niet goed bekend, maar de verwachting is dat het volume bij Rijkswaterstaat afnam door concurrentie van het groeiende aanbod menggranulaat. In het verleden zijn in de Oosterschelde veel grotere volumes toegepast.

Het jaarlijks productievolume aan fosforslakken bedroeg circa 600.000 ton⁶⁶. Omstreeks 2002 werd 65% hiervan gebruikt voor wegfundering. Het resterende deel werd vooral gebruikt in de waterbouw als stortsteen, maar ook als FAB Fosforslak Asphalt Beton. Fosforslakken werden toegepast als categorie 1 bouwstof op het land. De uitloging van chloride, bromide en fluoride waren kritisch voor toepassing in zoet water, daardoor zullen in de waterbouw op zoet water in de periode na 1999 geen fosforslakken toegepast zijn.

Van fosforslakken die bij het faillissement in 2012 nog aanwezig waren resteert nu alleen nog een relatief klein volume waarvan het de verwachting is dat deze worden toegepast bij de sanering van het voormalige Thermphos terrein⁶⁷.

⁶⁶ *Wegen met fosforslak – CE Delft - 2002*

⁶⁷ *Persoonlijke mededeling Eric Onstenk van Pelt & Hooykaas. Pelt & Hooykaas was jarenlang de enige leverancier van fosforslakken en heeft veel expertise inzake toepassen van fosforslakken*

Tabel B.39 geeft een analyse weer van de circulariteit van fosforslakken en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.39 Analyse circulariteit fosforslakken

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij fosforslakken	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Zuivere stroom	Circulair	<ul style="list-style-type: none"> Als uitneembare monostroom toegepast in fundering. Als stortsteen in de zilte waterbouw. 	Recycling als monostroom of via een breker	Groot
In een composiet	Recycling	Fosforslakken zijn toegepast in FAB (Fosforslak Asphalt Beton)	Dit asfalt zal waarschijnlijk via reguliere asfaltrecycling worden gerecycled.	Zeer beperkt

De aanwezigheid van fosforslakken in andere bouwgrondstoffen kan een serieus risico voor de circulariteit van die andere bouwgrondstoffen afhankelijk van de mate van radioactiviteit van de fosforslakken. De mate waarin de fosforslakken licht radioactief varieert en is onder andere afhankelijk van de gebruikte ertsen uit de betreffende productieperiode.

Tabel B.40 geeft de recyclingtechnieken weer die voor fosforslakken beschikbaar zijn.

Tabel B.40 Recyclingtechnieken voor fosforslakken

Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
Hergebruik fosforslak in vergelijkbare toepassing	Ja	TRL9
Recycling als steenslag in beton en/of asfalt	Ja	TRL9

Recycling in beton en/of asfalt heeft in het verleden weliswaar plaatsgevonden, maar de markt is nu heel klein geworden doordat de nieuwe aanvoer van fosforslakken ontbreekt. Aanvoer zal op korte termijn afhankelijk zijn van vrijkomende hoeveelheden. Dit is zeer waarschijnlijk onvoldoende voor een continue afzet richting asfalt en/of betonproductie.

B.3.4 Hoogovenslakken

Hoogovenslakken zijn het product van het hoogovenproces waarin ijzererts door cokes wordt verhit en gereduceerd tot een mengsel metallisch ijzer en koolstof (ruw ijzer). In dit proces worden slakvormende toeslagstoffen gebruikt om de kwaliteit van de slak zodanig te beïnvloeden dat deze de ongunstige elementen uit het ruwe ijzer opneemt. Op het staal drijft uiteindelijk een slak bestaande uit restanten van de slakvormers en minerale restanten van zowel het ijzererts als de cokes. Hoogovenslakken worden veel gebruikt bij de productie van hoogovencement.

Hoogovenslakken kunnen voldoen aan de eisen van het Bbk. Voor het toepassen van hoogovenslakken wordt getoetst aan de *BRL 9325 voor Gemalen gegraneerde hoogovenslak voor gebruik in beton, mortel en injectiemortel*. Verder wordt de *BRL 9340 gemalen gegraneerde hoogovenslak, poederkoolvliegias en portlandcement voor toepassing als bindmiddel in beton* gehanteerd. Ook kan de *BRL 9345 voor slakken en slakmengsels voor toepassing in GWW-werken* gehanteerd worden.

De minimumstandaard in LAP3 voor hoogovenslakken staat beschreven in sectorplan 3 en is recycling, mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk, zolang de eventuele poorttarieven niet meer dan 205 euro per ton bedragen. Maar wanneer hoogovenslakken uit een werk vrij komen vallen ze onder sectorplan 29 en is recycling de minimumstandaard, mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk.

Bij Rijkswaterstaat zijn hoogovenslakken in het verleden veel toegepast in de regio Beverwijk, maar ook bijvoorbeeld in de N3. Daarnaast zijn en worden hoogovenslakken veel toegepast in de waterbouw voor de bestendigheid van vooroevers. In het bijzonder op locaties waar de stroming erg sterk is heeft het gebruik van hoogovenslakken door de hogere dichtheid en de erosiebestendigheid de voorkeur bij de materiaalkeuze. Indirect vindt toepassing van hoogovenslak veel plaats via het gebruik van hoogovencement. In de periode van 1989 tot 2003 is 928.317 ton toegepast. In de meeste jaren kleine hoeveelheden tot 50.000 ton, maar in sommige jaren grote hoeveelheden tot 392.000 ton.

Tabel B.41 geeft een analyse weer van de circulariteit van hoogovenslakken en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.41 Analyse circulariteit hoogovenslakken

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij hoogovenslakken	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Demontabel	Circulair	Toepassing als stortsteen	Hergebruik als stortsteen	Groot
Zuivere stroom	<ul style="list-style-type: none"> • Circulair • Recycling • Recycling 	In stortsteen voor oeverbescherming en voor reparaties	<ul style="list-style-type: none"> • Hergebruik als hoogovenslakken • Recycling in hydraulisch menggranulaat • Recycling in cementproductie 	Groot
In een composiet	Recycling	In hoogoven-cement	Recycling in menggranulaat of via betongranulaat in beton	Groot

De aanwezigheid van hoogovenslakken in andere bouwgrondstoffen is een risico voor de circulariteit van die andere bouwgrondstoffen omdat het een sterk effect op de pH kan hebben en daarmee op de uitloogbaarheid.

Tabel B.42 geeft de recyclingtechnieken weer die voor hoogovenslakken beschikbaar zijn.

Tabel B.42 Recyclingtechnieken voor hoogovenslakken

Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
Hergebruik hoogovenslakken	Ja	TRL9
Recycling in hydraulisch menggranulaat via een puinbreker	Ja	TRL9

B.3.5 Koperslakken

Koperslakken zijn slakken uit de koperproductie. Koper wordt gewonnen uit sulfidische en oxidische ertsen. In Noordwest Europa maken kopersmelters alleen gebruik van geconcentreerde sulfidische ertsen. Koperproductie uit sulfidische ertsen wordt gedaan in twee stappen. In de eerste stap wordt het erts gesmolten en geoxideerd bij circa 1.200 graden. Het resultaat is twee vloeibare fasen waarbij het koper geconcentreerd is in de matte⁶⁸ en een primair koperslak ontstaat. Het koper wordt vervolgens verder onder toevoeging van kwarts geconcentreerd in het Bessemerproces door ijzer en andere verontreinigingen te verwijderen. Dit levert een tweede type koperslak.

Nederland heeft in de recente geschiedenis geen kopersmelters gehad, maar vanuit België en Duitsland werden en worden koperslakken geïmporteerd.

Als vormgegeven bouwstof zijn koperslakken toepasbaar in het Bbk. Echter, indien de koperslakken worden gebroken is het materiaal uitsluitend nog toepasbaar met IBC maatregelen. Tegenwoordig worden koperslakken nog afgezet als koperslakkeien en koperslaktegels onder *BRL 9343 Koperslak voor GWW-werken*.

De minimumstandaard in LAP3 voor koperslakken staat beschreven in sectorplan 3 en is recycling, mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk, zolang de eventuele poorttarieven niet meer dan 205 euro per ton bedragen. Maar wanneer koperslakken uit een werk vrij komen vallen ze onder sectorplan 29 en is recycling de minimumstandaard, mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk.

Bij Rijkswaterstaat zijn in het verleden bij Rijkswaterstaat veel koperslakken toegepast als bestortingsmateriaal. Langs de kust en langs rivieren. In 1995 werd toepassen van koperslakken verboden binnen Rijkswaterstaat. Bij de ruimte voor de rivieren project kwam bijvoorbeeld een substantiële hoeveel oevermateriaal vrij, met in kleine hoeveelheden diverse soorten slakken waaronder koperslakken. In het kader van dat project is besloten de 800.000 m³ als filterlaag toe te passen in het werk waar het al aanwezig was. Het totaal aanwezige volume van koperslakken zijn echter niet goed bekend.

Tabel B.43 geeft een analyse weer van de circulariteit van koperslakken en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.43 Analyse circulariteit koperslakken

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij koperslakken	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Demontabel	Circulair	Als koperkeien voor bekleding van bijvoorbeeld een dijk	Hergebruik buiten Rijkswaterstaat	Zeer beperkt
Zuivere stroom	Niet-circulair	Als stortsteen of wegfundering	Afvoeren naar een stortplaats wanneer het geconcentreerd materiaal betreft	Vrij beperkt

De aanwezigheid van koperslakken in andere bouwgrondstoffen is een risico voor de circulariteit van die andere bouwgrondstoffen. Koperslakken mogen niet worden gerecycled tenzij ze als vormgegeven bouwstof worden hergebruikt.

⁶⁸ Vloeibare sulfidische fase

B.3.6 Loodslakken

Loodslakken komen uit een proces waarbij bij circa 900 graden Celsius loodsulfide wordt eerst geoxideerd tot Loodoxide en vervolgens wordt gereduceerd tot metallisch lood. Nederland heeft in de recente geschiedenis geen loodsmelters gehad, maar vanuit België en Duitsland werden voorheen loodslakken geïmporteerd.

Toepassing van loodslakken was al voor het Bouwstoffenbesluit uit 1999 niet meer toegestaan.

Wanneer loodslakken uit een werk vrij komen vallen ze onder sectorplan 3 en is recycling de minimumstandaard, mits de kosten voor recycling minder dan 205 euro per ton bedragen. Voor recycling moet aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk worden voldaan. Op het moment zijn er geen partijen die de zwaar verontreinigde loodslakken kunnen recyclen. Derhalve worden loodslakken gestort.

Bij Rijkswaterstaat worden loodslakken niet meer toegepast. In het verleden werden loodslakken op grote schaal toegepast bijvoorbeeld bij de aanleg van dijken⁶⁹.

Tabel B.44 geeft een analyse weer van de circulariteit van loodslakken en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.44 Analyse circulariteit loodslakken

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij loodslakken	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Zuivere stroom	Niet-circulair	Als stortsteen of wegfundering	Afvoeren naar een stortplaats wanneer het geconcentreerd materiaal betreft	Beperkt

De aanwezigheid van loodslakken in andere bouwgrondstoffen is een groot risico voor de circulariteit van die andere bouwgrondstoffen. Loodslakken mogen niet worden gerecycled.

⁶⁹ *Herkennen van materialen gebruikt in wegenbouw en voor verharding in kader van verwijderingsstructuur voor non-ferro residu's - OVAM - 2008*

B.3.7 Mijnsteen

Mijnsteen is een verzamelnaam voor allerlei steenfracties die vrijkomen bij mijnbouw.

In Nederland wordt met mijnsteen geduid op de fracties die vrijkomen of vrijkwamen bij ondergrondse steenkoolproductie. Mijnsteen komt vrij bij het maken van schachten en bij het winnen van steenkool uit de steenkoollagen. De ganggesteenten kunnen bestaan uit allerlei typen gesteente die in bovenliggende lagen aanwezig zijn. In de regel betreffen dit voornamelijk of volledig sedimentaire gesteente. De mijnsteen die vrij komt bij de daadwerkelijke winning van steenkool uit steenkoolvoerende lagen bestaat altijd uit sedimentaire gesteenten waarbij de gesteenten nauwelijks geherkristalliseerd zijn en daarom voornamelijk bestaan uit zandsteen, kleisteen en soms leisteen.

In langdurige aanwezigheid van water desintegreren veel typen mijnsteen tot een kleiige massa.

Veel traditionele typen mijnsteen uit de mijnbouw voor steenkool zijn sinds het in werking treden van het Bouwstoffenbesluit in Nederland niet meer toepasbaar. De uitloging van antimoon, seleen en fluoride was te hoog om aan de eisen te voldoen. Dit type mijnsteen wordt in deze rapportage 'oude' mijnsteen genoemd. Sommige typen mijnsteen worden nog steeds toegepast in de GWW. De nog toegepaste typen mijnsteen voldoen wel aan het Bbk. Dit betreft onder andere gebrande mijnsteen waarbij het organisch materiaal en de ijzersulfides eruit worden gebrand. Dit verbetert het uitloggedrag en daarmee de milieuhygiënische kwaliteit.

Voor het toepassen van mijnsteen wordt getoetst aan de *BRL 9301 Mijnsteen voor GWW-werken*. Dit betekent dat de mogelijkheden voor recycling van mijnsteen dat voor 1999 toegepast is sterk afhankelijk is van de milieuhygiënische kwaliteit. Veel materiaal van voor 1999 zal niet geschikt zijn voor recycling. Bij gemeenten in de regio Parkstad mag het aanwezige mijnsteen beschouwd worden als bodem en hoeft het niet verwijderd te worden zodat het mijnsteen zich niet verspreid.

De minimumstandaard in LAP3 voor mijnsteen staat beschreven in sectorplan 3, en is recycling, mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk, zolang de eventuele poorttarieven niet meer dan 205 euro per ton bedragen. Maar wanneer mijnsteen uit een werk vrijkomt, valt het onder sectorplan 29 en is recycling de minimumstandaard, mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk.

'Oude'mijnsteen werd bij Rijkswaterstaat in het verleden veel als bouwstof voor oeverbescherming en op bodems van havens toegepast. Ook werd 'oude' mijnsteen toegepast op middenbermen om onkruidvorming te vermijden. Tegenwoordig wordt mijnsteen nog maar zeer beperkt toegepast.

Tabel B.45 geeft een analyse weer van de circulariteit van mijnsteen en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.45 Analyse circulariteit mijnsteen

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij mijnsteen	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Zuivere stroom	<ul style="list-style-type: none"> Recycling voor toepasbare kwaliteiten Niet-circulair voor niet-toepasbare kwaliteiten 	Toegepast als onder andere oeverbestorting, middenberm of havenbodem	Recycling indien milieuhygiënisch mogelijk anders afvoeren	Vrij groot

De aanwezigheid van mijnsteen in andere bouwgrondstoffen is een groot risico voor de circulariteit van die andere bouwgrondstoffen. Dit geldt in het bijzonder voor 'oude' mijnsteen dat voor 1999 is toegepast. Bij deze mijnsteen zitten veel partijen die niet aan de eisen uit het Bbk kunnen voldoen. Deze mijnsteen is daardoor niet recyclebaar. Overigens gaat mijnsteen langzaam op in de bodem door vertering. Hierdoor zal een substantieel deel van dit mijnsteen niet meer als zodanig aanwezig zijn en ook ongeschikt als bouwstof.

Voor 'oude' mijnsteen zijn geen recyclingtechnieken beschikbaar. In het verleden werd mijnsteen gebrand door steenhopen in de brand te steken. Dit verbetert de civieltechnische en milieuhygiënische kwaliteit, maar een dergelijke aanpak kan heden ten dage niet meer in de open atmosfeer.

B.3.8 Zinkassen

Bij zinkproductie wordt eerst het zinksulfide omzet in zinkoxide door het met zuurstof te roosten (oxideren). Vervolgens zijn er twee routes die allebei gebruikt worden in Europa.

In de eerste route is een thermische en wordt het geroosterde erts met cokes gemengd en verhit in moffels tot de cokes het zinkoxide reduceren en verdampen. Vervolgens wordt de zinkdamp gecondenseerd. In de Kempen werd onder andere in Budel-Dorpplein tot 1973 zink via deze route geproduceerd⁷⁰. Uit deze route ontstaan twee reststoffen, namelijk de zinkassen (sintels) en gebroken moffels. De thermische route resulteert in twee reststoffen die in het verleden zijn toepast bij de fundering van wegen in de Kempen, aan beide zijden van de grens met België⁷¹.

De tweede route is een elektrolytische route en deze werd bij Budelco en later bij haar opvolger Nyrstar toegepast. Het zwaveldioxide uit de rookgassen wordt omgezet in zwavelzuur. Dit zwavelzuur wordt vervolgens gebruikt om het zink uit het gerooste zinkerts te logen. Via een elektrolytisch proces wordt vervolgens het zink gezuiverd. Deze route heeft jarosietlakken als restproduct en deze slakken kwamen vrij totdat in 1998 overgestapt werd op ijzerarme ertsen. De jarosietlakken werden niet als bouwstof toegepast maar in bekkens opgeslagen. Tegenwoordig worden ijzerarme ertsen gebruikt voor de zinkproductie. Dit proces heeft nog steeds beperkte hoeveelheden residuen, maar de concentraties non-ferrometalen zijn zo hoog dat deze residuen als grondstof dienen voor de productie van deze non-ferrometalen.

Wanneer zinkassen uit een werk vrij komen vallen ze onder sectorplan 3 en is recycling de minimumstandaard, mits de kosten voor recycling minder dan 205 euro per ton bedragen. Voor recycling moet aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk worden voldaan. Op het moment zijn er geen partijen die de zwaar verontreinigde zinkassen kunnen recyclen. Derhalve worden zinkassen gestort.

Zinkassen zijn in het verleden in met mate de regio Kempen veel gebruikt op lokale wegen.

Tabel B.46 geeft een analyse weer van de circulariteit van zinkassen en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.46 Analyse circulariteit zinkassen

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij zinkassen	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
Zuivere stroom	Niet-circulair	Als stortsteen of wegfundering	Afvoeren naar een stortplaats wanneer het geconcentreerd materiaal betreft	Beperkt

De aanwezigheid van zinkassen in andere bouwgrondstoffen is een groot risico voor de circulariteit van die andere bouwgrondstoffen. Zinkassen worden in de praktijk niet gerecycled.

⁷⁰ <http://www.zinkindekempen.nl/>

⁷¹ Werkgroep zinkassen Eindrapport – Benekempen - 2008

B.4 Toeslagstoffen in bouwgrondstoffen

Deze paragraaf geeft voor toeslagstoffen in bouwgrondstoffen uit productieprocessen (zoals gespecificeerd in paragraaf 3.1) een analyse weer voor de circulariteit.

B.4.1 Betonijzer

Betonijzer is staal dat wordt gebruikt als wapening van beton. Wapening is voor beton in veel constructies noodzakelijk om ervoor te zorgen dat beton ook tegen trekkrachten bestand is. Wapening van beton werd traditioneel vrijwel uitsluitend met betonijzer gedaan. Tegenwoordig worden voor speciale toepassingen ook andere materialen voor wapening gebruikt. Deze materialen zijn dan bijvoorbeeld lichter of minder gevoelig voor corrosie (betonrot).

Voor betonijzer gelden geen eisen inzake het Bbk, omdat het geen steenachtig materiaal betreft.

De minimumstandaard in LAP3 voor betonijzer staat beschreven in sectorplan 28 en is recycling.

Tabel B.47 geeft een analyse weer van de circulariteit van betonijzer en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.47 Analyse circulariteit betonijzer

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij betonijzer	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
In een composiet	Circulair	Het meeste betonijzer zit in beton	Recycling in nieuw staal	Beperkt

De aanwezigheid van betonijzer in betongranulaat is een risico voor de circulariteit van die betongranulaat. Bij recycling van beton moet (beton)ijzer grondig worden verwijderd omdat aanwezigheid van ijzer in het gerecyclede product betonrot kan veroorzaken. Hiervoor zijn echter efficiënte scheidingstechnieken beschikbaar.

Tabel B.48 geeft de recyclingtechnieken weer die voor betonijzer beschikbaar zijn.

Tabel B.48 Recyclingtechnieken voor betonijzer

Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
Recycling via staalproductie bij een hoogoven	Ja	TRL9
Recycling via vlamboogoven.	Niet meer wel in buurlanden	TRL9

B.4.2 Bitumen

Bitumen is een bindmiddel dat geproduceerd wordt uit aardolie. Bitumen bestaat uit de zwaarste fracties in aardolie die niet geschikt zijn voor het produceren van kunststoffen, kerosine, benzine, diesel en andere aardoliederivaten. Hoewel bitumen een vaste stof lijkt is het een zeer viskeuze vloeistof. Bitumen kent in de GWW twee belangrijke toepassingen. Bitumen is het bindmiddel in asfalt en bitumen en wordt toegepast als bindmiddel bij bijvoorbeeld dijkkeringen om bijvoorbeeld betonblokken vast te leggen. Beide toepassingen worden in werken van Rijkswaterstaat regelmatig toegepast.

Voor het bitumen zelf gelden geen eisen inzake het Bbk, omdat het geen steenachtig materiaal betreft.

De minimumstandaard in LAP3 voor bitumen dat toegepast is in asfalt staat beschreven in sectorplan 29 en is recycling, mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk.

Tabel B.49 geeft een analyse weer van de circulariteit van bitumen en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.49 Analyse circulariteit bitumen

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij bitumen	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
In een composiet	Hoogwaardig	Bitumen is bij RWS voornamelijk toegepast in asfalt	Recycling in asfalt	Groot
	Laagwaardig		Recycling in AGRAC	Groot

De aanwezigheid van bitumen in andere bouwgrondstoffen is een risico voor de circulariteit van die andere bouwgrondstoffen. Met name in steenachtige bouwstoffen kan het gehalte minerale olie te hoog worden. Dit kan problemen veroorzaken bij het toetsen aan het Bbk.

Tabel B.50 geeft de recyclingtechnieken weer die voor bitumen beschikbaar zijn.

Tabel B.50 Recyclingtechnieken voor bitumen

Beschikbare recyclingtechniek	Commercieel beschikbaar in Nederland	Technology Readiness Level
Hergebruik freesasfalt in regeneratieasfalt	Ja	TRL9
Recycling freesasfalt in AGRAC	Ja	TRL9
Recycling dakbitumen in asfalt	Ja	TRL9

Recycling van dakbitumen in asfalt is weliswaar technisch en milieuhygiënisch mogelijk, maar de marktacceptatie ligt nog moeilijk. Bij Rijkswaterstaat is het gebruik vooralsnog niet toegelaten.

B.4.3 Cement

Cement is een bindmiddel dat verhard onder invloed van een chemische reactie. Het calciumhydroxide reageert met puzzolane stoffen als silicaten en aluminaten tot geopolymeren. Het bindmiddel kent in de GWW veel toepassingen. Cement is het bindmiddel in mortel voor metselwerk. Cement is het bindmiddel van beton. Cement in mortel wordt gebruikt bij het stellen van betonelementen zoals stoepbanden.

Oorspronkelijk bestond cement uit voornamelijk primaire minerale grondstoffen en werd het geproduceerd met fossiele brandstoffen. Tegenwoordig is een groot deel van de minerale grondstoffen en brandstoffen vervangen door secundaire grond- en brandstoffen. Deze secundaire geldt voornamelijk in veel mindere mate voor het kalksteen dat voor het calcium moet zorgen.

Cement kan voldoen aan de eisen van het Bbk. Voor het toepassen van cement wordt getoetst aan de *BRL 2501 Cement*.

De minimumstandaard in LAP3 voor cement staat beschreven in sectorplan 29 en is recycling, mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk.

Bij Rijkswaterstaat werd en wordt cement veel toegepast in met name beton, maar ook in metselwerk.

Tabel B.51 geeft een analyse weer van de circulariteit van cement en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.51 Analyse circulariteit cement

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij cement	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
In een composiet	Laagwaardige recycling, maar niet circulair	Toegepast in met name beton, metselwerk en immobilisaat	<ul style="list-style-type: none"> Recycling in beton Recycling in menggranulaat 	Groot

De aanwezigheid van cement in andere bouwgrondstoffen is geen groot risico voor de circulariteit van die andere bouwgrondstoffen anders dan dat het de zuiverheid van een andere materiaalstroom verlaagt.

Cement wordt eigenlijk bijna altijd als composiet toegepast. De recycling vindt dan ook plaats via de routes van de bouwstoffen waarin cement is toegepast. Cement in beton via betonrecycling en cement in metselwerk via de recycling van metselwerk. Mocht cement als zuivere bouwstof zijn toegepast dan is de recyclingroute gelijk aan die voor metselwerk.

Cement wordt wel als steenachtig materiaal gerecycled, maar cement wordt maar zeer beperkt gerecycled voor specifieke eigenschappen als hydraulisch bindmiddel. Als cement via beton(granulaat) wordt gerecycled gaat het grootste deel van de hydraulische eigenschappen van het bindmiddel verloren. Hierdoor is cement op het moment nog niet circulair. Dit terwijl de productie van cement van alle steenachtige bouwgrondstoffen veruit de meeste energie vergt.

B.4.4 Composietvezels

Een composiet is een materiaal dat uit meerdere verschillende materialen bestaat. In materialen zoals beton en kunststof worden vezels toegevoegd om de sterkte van het materiaal te verbeteren. Houtvezelbeton werd al in de eerste helft van de 20^{ste} eeuw toegepast. Tegenwoordig worden allerlei type vezels toegepast in allerlei materialen (beton, kunststoffen, asfalt, etc.). In beton worden bijvoorbeeld de volgende vezels toegepast:

- Staalvezels voor grotere trek- en splijtsterkte en beperking van krimpscheuren
- Glasvezels voor vergroting van trek- en splijtsterkte;
- Macro kunststofvezels voor vergroting trek- en splijtsterkte en beperking van krimpscheuren
- Micro kunststofvezel voor grote brandwerendheid.

Composietvezels zorgen ervoor dat materialen sterker zijn, daardoor is minder materiaal nodig. Verder vergroten ze vaak de levensduur. Daar staat tegenover dat ze soms in een tweede levenscyclus de hoogwaardigheid van hergebruik hinderen. In beton is staal namelijk niet gewenst in de buurt van het oppervlak in verband met het risico op betonrot.

Voor composietvezels gelden geen eisen inzake het Bbk, omdat het geen steenachtig materiaal betreft.

De minimumstandaard in LAP3 voor composietvezels hangt van de toepassing waarin ze zijn toegepast. De minimumstandaarden houden eigenlijk geen rekening met de eventuele aanwezigheid composietmaterialen. De minimumstandaard heeft betrekking op het gehele materiaal.

Bij Rijkswaterstaat zijn composietvezels nog maar beperkt gebruik. In asfalt betreft het alleen enkele proefvlakken. In betonconstructies die veel sterkte vereisen zouden ook composietvezels aanwezig kunnen. Momenteel is het gebruik dus nog beperkt.

Tabel B.52 geeft een analyse weer van de circulariteit van composietvezels en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.52 Analyse circulariteit composietvezels

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij composietvezels	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
In een composiet	Recycling, maar laagwaardig en vaak alleen nuttige toepassing	Aanwezig in sommige soorten beton, asfalt	Lastig her te gebruiken te meer daar het maar een fractie van de bouwstof betreft waarin het is toegepast.	Nog zeer beperkt

De aanwezigheid van composietvezels in andere bouwgrondstoffen kan de kwaliteit van hergebruik negatief beïnvloeden, maar dit hangt sterk van het type composietvezel en het type materiaal waarin ze zijn toegepast.

Composietvezels worden in zeer beperkte hoeveelheden gebruikt en er zijn dus ook (nog) geen recyclingtechnieken voor ontwikkeld.

B.4.5 E-vliegas

E-vliegas bestaat uit de assen die uit het ongereinigde rookgas van een (poeder)koolgestookte elektriciteitscentrale worden verwijderd. E-vliegas is de afgelopen jaren een belangrijke toeslagstof in de cement- en betonindustrie geworden. Het vervangt primaire grondstoffen en bespaart energie en verduurzaamt daarmee cement en beton.

E-vliegas kan voldoen aan de eisen van het Bbk. Voor het toepassen van E-vliegas wordt getoetst aan de *BRL 9336 voor E-vliegas in ongebonden toepassing* gehanteerd. Verder wordt de *BRL 1804 voor vulstoffen voor toepassing in beton en mortel* gehanteerd. Ook kan de *BRL 9345 voor slakken en slakmengsels voor toepassing in GWW-werken* gehanteerd worden.

De minimumstandaard in LAP3 voor E-vliegas staat beschreven in sectorplan 29 en is recycling, mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk.

Bij Rijkswaterstaat is E-vliegas nauwelijks ongebonden toegepast. In de periode 1989 – 2003 is het slechts in één jaar toegepast met een volume van 22.940 en het is onduidelijk of dit niet alsnog in beton is toegepast. Als component van beton en cement is E-vliegas ongetwijfeld veel meer toegepast. Dit is echter niet traceerbaar. Met name na 2000 toen de verduurzaming van cement en beton belangrijk werden is er een omslag opgetreden, waarbij voorheen de afzet van E-vliegas lastig was en deze nu volledig ingezet kan worden bij de productie van cement en beton.

Tabel B.53 geeft een analyse weer van de circulariteit van E-vliegas en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.53 Analyse circulariteit E-vliegas

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij E-vliegas	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
In een composiet	Recycling	Toegepast in met name beton, metselwerk en immobilisaat	<ul style="list-style-type: none"> Recycling in beton Recycling in menggranulaat 	Vrij groot

De aanwezigheid van E-vliegas in andere bouwgrondstoffen is geen groot risico voor de circulariteit van die andere materialen anders dan dat het de zuiverheid van een andere materiaalstroom verlaagt.

E-vliegas wordt tegenwoordig eigenlijk bijna altijd toegepast in cement of beton. De recycling vindt dan ook plaats via de routes van de bouwstoffen waarin cement is toegepast. Cement in beton via betonrecycling en cement in metselwerk via de recycling van metselwerk. Mocht cement als zuivere bouwstof zijn toegepast dan is de recyclingroute gelijk aan die voor metselwerk

B.4.6 Lignine

Hout bestaat voor circa een kwart uit lignine. Lignine is ook een reststof uit de papierproductie. Momenteel wordt lignine nog voornamelijk verbrand als energiebron voor de papierproductie.

Lignine kan ook als toeslagstof bij bitumen productie worden gebruikt. De eigenschappen van lignine komen in grote mate overeen met andere componenten die aanwezig zijn in bitumen. Het is daarmee geen vulstof, maar een grondstof voor wegebouwbitumen. De kwaliteit van het bitumen zoals die door raffinaderijen wordt aangeleverd is de afgelopen decennia steeds verder teruggelopen. Het lignine is niet alleen in staat het fossiele bitumen te vervangen, maar ook de kwaliteit van het wegebouwbitumen te verbeteren.

De verwachtingen zijn dat asfalt met lignine op dezelfde wijze te recyclen is als traditionele wegebouw bitumen, maar hier is nog geen onderzoek naar gedaan⁷².

Voor lignine gelden geen eisen inzake het Bbk, omdat het geen steenachtig materiaal betreft.

Zodra lignine deel uit maakt van asfalt is de minimumstandaard in LAP3 voor asfalt van toepassing. Voor lignine staat deze beschreven in sectorplan 29 en is recycling, mits voldaan wordt aan de milieuhygiënische eisen uit het Bbk.

Bij Rijkswaterstaat is lignine nog nooit toegepast als toeslagstof in bitumen. Dit kan bij positieve ervaring bij proeven op termijn wel plaatsvinden. Hiertoe dient het bitumenmengsel met lignine wel eerst gevalideerd te worden.

Tabel B.54 geeft een analyse weer van de circulariteit van vezels en de relevantie voor Rijkswaterstaat.

Tabel B.54 Analyse circulariteit lignine

Aanwezigheid materiaal in werk of gescheiden afvalstroom	Mate circulariteit	Situatie bij lignine	Type hergebruik / recycling	Relevantie voor RWS
In een composiet	Waarschijnlijk circulair	Toegepast als grondstof voor bitumen	Via recycling van asfalt	Nog niet van toepassing

De aanwezigheid van lignine in andere bouwgrondstoffen is waarschijnlijk geen groot risico voor de circulariteit van die andere materialen anders dan dat het de zuiverheid van een andere materiaalstroom verlaagt, maar of bitumen met lignine daadwerkelijk gelijkwaardig te recyclen is, is nog niet onderzocht.

⁷² *Persoonlijke mededeling Ted Slaghek van TNO*