

2017

Een verkenning van de milieu-impact van circulair bouwen in de woning- en utiliteitsbouw



Drs. S.E. de Vos, Drs. E.E. Keijzer,

Drs. G.G.C. Mulder, H. Bonte,

Dr. A.G.T.M. Bastein

TNO

06/04/2017

Earth, Life & Social SciencesPrincetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrechtwww.tno.nl

T +31 88 866 42 56

F +31 88 866 44 75

TNO-rapport**TNO 2017 R10402 (vs 2)****Een verkenning van de milieu-impact
van circulair bouwen in de woning- en
utiliteitsbouw**

Datum	6 april 2017
Auteur(s)	Drs. S.E. de Vos-Effting, Drs. G.G.C.Mulder, Drs. E.E. Keijzer, H. Bonte, Dr. A.G.T.M. Bastein
Aantal pagina's	59 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	4
Opdrachtgever	Ministerie BZK
Projectnaam	Kansen Circulaire Economie in de bouw
Projectnummer	060.24319

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2017 TNO

Samenvatting

Inleiding

In het Rijksbrede Programma Circulaire Economie (september 2016) schetst het kabinet de ambitie om onze economie om te buigen naar een duurzaam gedreven, volledig circulaire economie in 2050. Het geeft ook een eerste aanzet voor de invulling van die ambitie door strategische doelstellingen te formuleren. Het Grondstoffenakkoord (januari 2017) dat door veel partijen is ondertekend laat zien dat er volop commitment is om bij te dragen aan de versnelling van deze transitie. Dit Grondstoffenakkoord vormt de opmaat voor het opstellen van transitieagenda's, waaronder voor Bouw. De hier gepresenteerde verkennende studie kan een waardevolle bijdrage leveren als input voor de transitieagenda Bouw. In deze verkenning wordt een selectie gemaakt van een aantal materialen en bouwelementen met een hoge milieu-impact en wordt een eerste kwantificering gemaakt van de mate waarin circulaire maatregelen een bijdrage kunnen leveren aan reductie van de milieubelasting afgebakend tot woning- en utiliteitsbouw. Deze inschatting kan aanleiding zijn om prioriteiten te stellen bij het opstellen van de transitieagenda bouw.

Aanpak

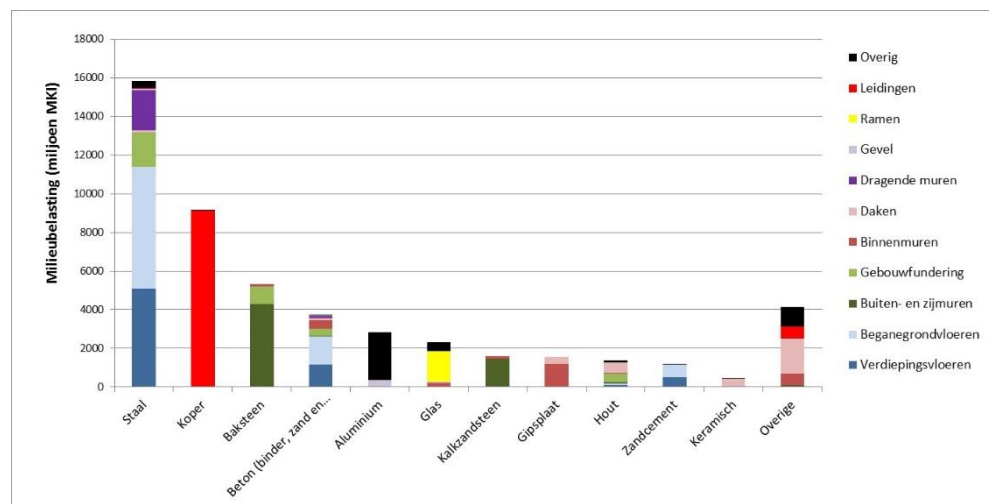
In deze verkenning richten we ons niet op het totale werkveld van een circulaire bouweconomie, maar op een wezenlijk onderdeel daarvan: de zo hoogwaardig mogelijke inzet van bouw- en sloopafval, en optimaal materiaalgebruik bij nieuwbouw (gebouwen), en de milieuconsequenties daarvan. Daarnaast is een beknopte inventarisatie gedaan van kansen en belemmeringen uit de bouwsector t.a.v. circulaire economie. Op basis van de milieubelasting van materialen in de Nederlandse gebouwen voorraad is een aantal materialen/bouwelement combinaties geselecteerd met een hoge milieu-impact. Hiervoor is een aantal circulaire economie scenario's opgesteld. Vervolgens is gekwantificeerd welke reductie milieubelasting deze scenario's opleveren. De scenario's zijn gericht op nieuwe transities die toepasbaar zijn in de nieuwbouwopgave op relatief korte termijn en op significante schaal.

De set circulaire scenario's zijn niet bedoeld om volledig te zijn, noch om een zo exact mogelijk beeld van de toekomst te schetsen. De analyse van het circulair potentieel laat zien dat het mogelijk is om op systematische wijze de bijdrage aan milieu-impact-reductie van circulaire innovaties te kwantificeren.

Verlagen van de milieubelasting

Uit onze analyse (zie Figuur 1) blijkt dat de volgende bouwmaterialen de hoogste milieu-impact hebben:

- Met staal gewapende betonnen bouwelementen
- Bakstenen en muurelementen waar ook kalkzandsteen in is verwerkt
- Non-ferro-metalen koper en aluminium



Figuur 1 Milieubelasting van de productie van materialen (cradle to gate) zoals aanwezig in de Nederlandse bouwvoorraad, uitgedrukt in Miljoen MKI, onderverdeeld naar bouwelement.

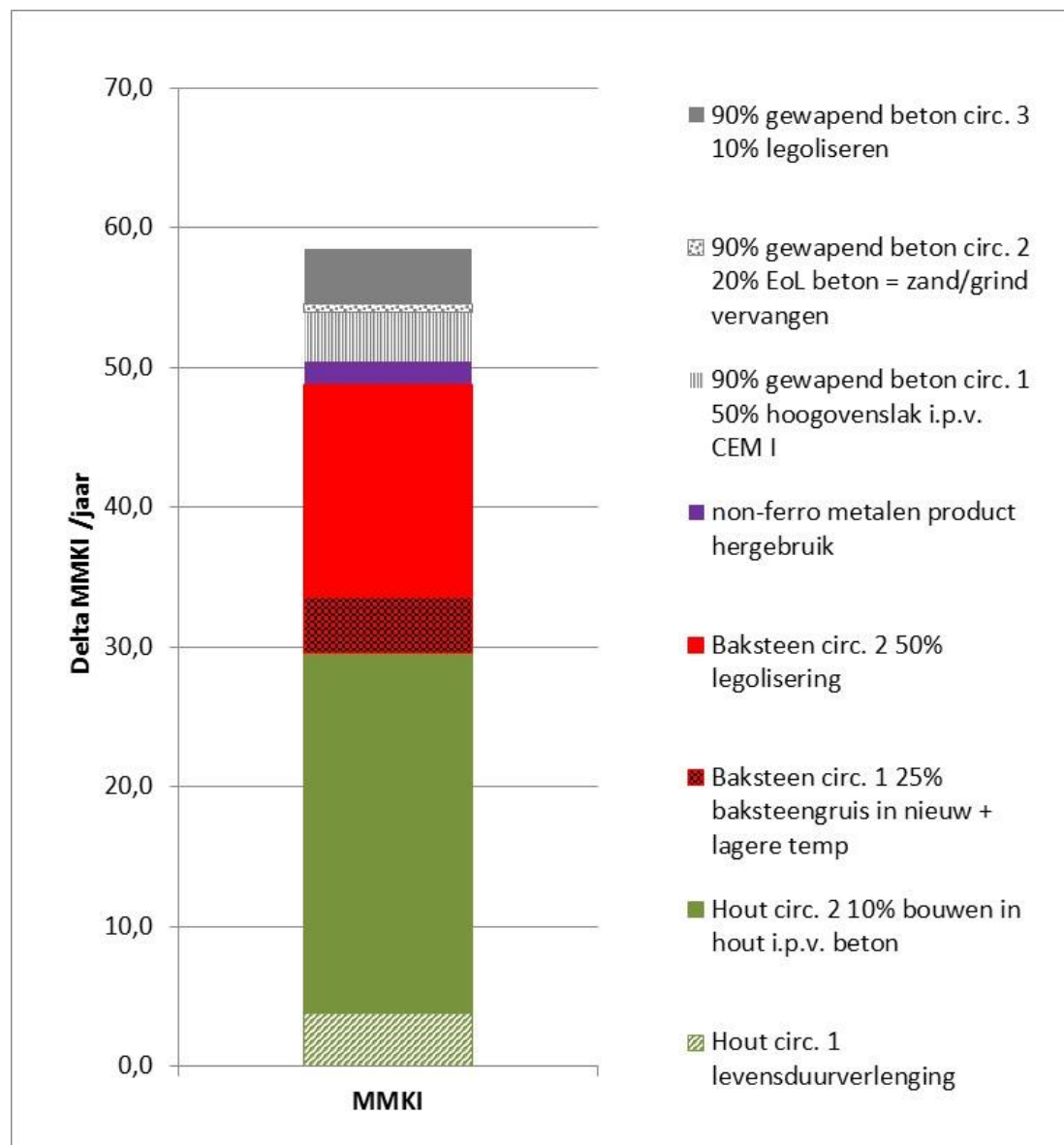
Als Circulaire economie als doelstelling heeft om de milieubelasting te verlagen, is het minder effectief om naar materialen met een relatief kleine milieu-impact te kijken. Hoe hoger de impact, hoe groter ook de kans dat circulair economische initiatieven een significante reductie van die milieu-impact geven.

Voor de genoemde materiaal-product elementen zijn circulaire scenario's opgesteld die gericht zijn op hoogwaardiger recycling of op levensduurverlenging door producthergebruik (zie Tabel 1). Ook voor hout is een aantal scenario's uitgewerkt. De rol van hout is tweeledig: enerzijds kan verondersteld worden dat de huidige inzet van hout (inzet als biomassa bij energieopwekking) eventueel hoogwaardiger kan worden, anderzijds kan hout een belangrijke rol spelen als substituut voor materialen met een hogere milieu-impact (beton).

Tabel 1 Samenvatting van de circulaire scenario's voor de geselecteerde materiaal product combinaties.

Materiaal	Scenario	Toelichting	
Gewapend beton	ref.	Recycling staal, beton in menggranulaat (zonder bonus)	Staal wordt gerecycled (bonus voor vermeer staal productie. Beton wordt nuttig toegepast als funderingsmateriaal (geen bonus voor uitsparing primair materiaal)
	circ. 1	50% hoogovenslak i.p.v. CEM I	In nieuw beton wordt de helft van alle Portland cement (CEMI) vervangen door hoogovenslak (CEM III)
	circ. 2	20% EoL beton = zand/grind vervangen	In nieuw beton vervangt betongranulaat 20% zand en grind (gelijke transport afstand)
	circ. 3	10% legoliseren	In nieuwbouw wordt 10% van alle betonelementen 'gelegoliseerd': demontabel en her te gebruiken
Koper	ref.	recycling	
	circ.	10% hergebruik elektradraden U-bouw	Bij sloop van U-bouw wordt 10% van de elektradraden hergebruikt in woningbouw
Aluminium + glas	ref.	recycling	Aluminium en glas uit vliesgevels worden gerecycled.
	circ.	10% vliesgevel hergebruik	10% van de vliesgevels uit U-bouw worden (renovatie/ sloop) worden hergebruikt in andere toepassingen
Baksteen	ref.	baksteen puin in wegfundering	Baksteenafval wordt als in menggranulaat nuttig toegepast (geen uitsparing van primaire grondstoffen)
	circ. 1	25% baksteengruis in nieuw + lagere temp	Baksteengruis wordt bijgemengd in de grondstoffen voor nieuwe baksteen
	circ. 2	50% legolisering	In nieuwbouw wordt 10% van alle baksteen 'gelegoliseerd': demontabel en her te gebruiken
Hout	ref.	hout, verbranding (geen bonus E-opwekking)	Afvalhout wordt gescheiden ingezameld en verbrand
	circ. 1	levensduurverlenging	Afvalhout wordt gescheiden ingezameld en verwerkt tot nieuwe houten producten
	circ. 2	10% bouwen in hout i.p.v. beton	Bij 10% van alle nieuwbouw wordt de dragende constructie in hout uitgevoerd in plaats van in beton

Voor elke geselecteerd materiaal-product element is eerst het verschil in milieubelasting bepaald van een circulair scenario t.o.v. de voor dat materiaal opgestelde referentie. De circulaire scenario's uit deze studie geven bij elkaar opgeteld een reductie van de milieubelasting van 59 Mega Milieukosten/ jaar. Legolisering op andere binnenmuurelementen (diverse samenstelling van materialen) zou tot een additionele reductie van circa 6MMKI kunnen leiden bovenop de 59 MMKI uit Figuur 16. Deze reductie bedraagt bijna 10% vergeleken met de jaarlijkse milieu-impact voor alle bouwmaterialen bij elkaar. Ter vergelijking: de huidige recycling van bouw en sloopafval reduceert de milieubelasting van bouwmaterialen met ongeveer 40%. Het is natuurlijk niet uitgesloten dat er meer circulaire scenario's op basis van innovatief materiaalhergebruik zijn op te stellen. De hier getoonde scenario's geven een eerste beeld en laten bovendien zien welke bouwelementen en -materialen potentieel het meeste kunnen bijdragen aan de reductie van de milieu-impact van de bouwsector.



Figuur 2 Reductie van de milieubelasting door de gecombineerde circulaire scenario's voor de geselecteerde top 4 materiaal product combinaties.

Conclusies en aanbevelingen

Het uitgangspunt van deze verkenning was om ten behoeve van een transitie naar een circulaire bouweconomie (en de daartoe op te stellen transitieagenda) een selectie te maken van die materialen en bouwelementen die de hoogste milieu-impact hebben en waarvoor verondersteld kan worden dat er een circulair potentieel aanwezig is om die milieu-impact te verlagen. Deze selectie zou vervolgens kunnen leiden tot het stellen van prioriteiten bij het opstellen van de transitieagenda. De volgende materialen lijken op basis van de analyse in deze studie relevant voor een transitieagenda voor de bouw:

- Gewapend beton
- Bakstenen
- Hout

De rol van hout is tweeledig: enerzijds kan verondersteld worden dat de huidige inzet van hout (inzet als biomassa bij energie-opwekking) eventueel hoogwaardiger kan worden, anderzijds kan hout een belangrijke rol spelen als substituut voor materialen met een hogere milieu-impact (beton).

De analyse van het circulair potentieel laat zien dat het mogelijk is om op systematische wijze de bijdrage aan milieu-impact-reductie van circulaire innovaties te kwantificeren. Hiervoor is inzicht nodig in de totale hoeveelheid materialen betrokken bij de transitie, in de milieu-impact van betrokken materialen en de eventuele consequenties van vermeden gebruik. De analyse laat daarmee zien dat het mogelijk is elke concrete innovatie die bij het opstellen van een transitieagenda in het kader van het Rijksbrede programma Circulaire Economie wordt gesuggereerd van een kwantitatief kader te voorzien.

Suggesties voor aanvullingen op deze eerste verkenning

Deze studie betreft een eerste verkenning naar mogelijkheden om middels circulaire economie de milieubelasting van de bouw te reduceren – en leidt tot een aantal aanbevelingen:

- Er is behoefte aan een verbetering en vervolgens consolidatie van de waarderingsgrondslag t.b.v. circulair economisch perspectief
- Verbreed deze verkenning ook naar vermindering/ voorkomen van nieuwbouw
- Zet in op integrale toetsing van milieu- of emissie-impact van circulaire maatregelen (inclusief impact op energiegebruik van gebouwen)
- Verbreed de scope naar infrastructuur
- Breid deze aanpak uit naar economische consequenties van circulaire maatregelen
- Zet BIM-ontwikkelingen actief in voor analyse van impact en economische consequenties
- Zet een continue technologie-radar op voor de bouwsector
- Voorzie het Rijksbrede programma Circulaire Economie van een kwantitatief kader

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
1 Inleiding	8
1.1 Achtergrond	8
1.2 Aanpak.....	8
1.3 Leeswijzer.....	9
2 Welke bouwmaterialen hebben de grootste milieubelasting?	10
2.1 De hoeveelheid materialen in de Nederlandse bouwvoorraad	10
2.2 De specifieke milieu-impact van bouwmaterialen	12
2.3 Totale milieubelasting van bouwmaterialen	13
2.4 Prioriteren van materialen/bouwelementen	14
2.5 Milieu-impact van recycling	15
3 De milieu impact van circulaire economie	16
3.1 Inleiding	16
3.2 Levensduurverlenging van gebouwen.....	17
3.3 Gewapend betonnen bouwelementen.....	18
3.4 Bakstenen.....	21
3.5 Non-ferro-metalen koper en aluminium	22
3.6 Hout	25
4 Totale milieu-impact van circulaire scenario's voor de gebouwde omgeving	28
4.1 Aanpak en uitgangspunten	28
4.2 Integraal overzicht van de milieu-impact van de circulaire scenario's	28
5 Conclusies en aanbevelingen	34
5.1 Conclusies en aanbevelingen op basis van de verkenning.....	34
5.2 Suggesties voor transitieagenda's en verder onderzoek	37
Verwijzingen	40
6 Ondertekening	41
Bijlage A: Wegingsfactoren voor de Milieukostenindicator	42
Bijlage B: Beschrijving van het vraag-aanbod model voor bouwmaterialen	43
Bijlage C: Overzicht van circulaire opties per bouw materiaal/element combinatie	52
Bijlage D: lijst van geïnterviewde partijen en interviewprotocol	58

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In het Rijksbrede Programma Circulaire Economie (september 2016) schetst het kabinet de ambitie om onze economie om te buigen naar een duurzaam gedreven, volledig circulaire economie in 2050. Het geeft ook een eerste aanzet voor de invulling van die ambitie door strategische doelstellingen te formuleren rond vijf zogeheten prioriteiten, te weten: Biomassa en voedsel, Kunststoffen, de Maakindustrie, Bouw en Consumentengoederen (en huishoudelijk afval). Het Grondstoffenakkoord (januari 2017) dat door veel partijen uit de geledingen van werkgevers, werknemers, milieu- en natuurorganisaties, overheden, financiers, kennis- en onderwijsinstellingen en andere maatschappelijke organisaties is ondertekend laat zien dat er volop commitment is van partijen om bij te dragen aan de versnelling van deze transitie. Dit Grondstoffenakkoord vormt de opmaat voor het opstellen van transitieagenda's voor de eerder genoemde vijf prioritaire sectoren, waaronder Bouw. In de loop van 2017 zullen deze transitieagenda's vorm krijgen. De hier gepresenteerde verkennende studie kan een waardevolle bijdrage leveren als input voor de transitieagenda Bouw.

In deze verkenning wordt een selectie gemaakt van een aantal materialen en bouwelementen met een hoge milieu-impact en wordt een eerste kwantificering gemaakt van de mate waarin circulaire maatregelen een bijdrage kunnen leveren aan reductie van de milieubelasting. Deze inschatting kan aanleiding zijn om prioriteiten te stellen bij het opstellen van de transitieagenda. Daarnaast is een beknopte inventarisatie gedaan van kansen en belemmeringen uit de bouwsector t.a.v. circulaire economie.

1.2 Aanpak

Het circulair economisch gedachtegoed beoogt de integrale milieu-impact van onze consumptie te reduceren door goederen en materialen optimaal te benutten door bijvoorbeeld intensiever gebruik (o.a. door in te zetten op gedeeld gebruik), levensduurverlenging (o.a. als gevolg van intensiever onderhoud en reparatie) en recycling. Deze perspectieven zullen alle de aandacht verdienen tijdens het opzetten van de transitieagenda voor de Bouw.

In deze verkenning richten we ons niet op het totale werkveld van een circulaire bouweconomie, maar op een wezenlijk onderdeel daarvan: de zo hoogwaardig mogelijke inzet van bouw- en sloopafval, en optimaal materiaalgebruik bij nieuwbouw (gebouwen), en de milieuconsequenties daarvan.

Deze verkenning bestaat uit een aantal stappen, te weten:

- (1) Het in kaart brengen van de voorraad materialen in het huidige gebouwenbestand en het analyseren van de milieu-impact van deze materialen.
- (2) Het inventariseren van nieuwe mogelijkheden om Bouw en Sloop Afval (BSA) in te zetten (op een wijze die t.o.v. de huidige inzet bijdraagt aan een lagere milieu-impact) en de behoefte aan materiaal t.b.v. nieuwbouw te verminderen; hierbij gaat de aandacht uit naar maatregelen die op korte termijn technisch haalbaar zijn en op significante schaal kunnen worden toegepast.

- (3) Het analyseren van de milieu-impact van deze mogelijkheden en het prioriteren van die mogelijkheden, mede op basis van een beperkt aantal interviews.
- (4) Opstellen van aanbevelingen voor transitieagenda's en verder onderzoek op basis van de ervaringen in deze verkenning.

1.3 Leeswijzer

De rapportage structuur volgt in grote lijnen de aanpak van de studie.

In hoofdstuk 2 wordt omschreven welke materialen in de bouw worden toegepast, in welke hoeveelheden en wat daarvan de milieu-impact is. Op basis daarvan wordt een selectie van prioritaire materialen voorgesteld.

Hoofdstuk 3 omschrijft per bouw materiaal een aantal circulaire scenario's die kunnen bijdragen aan het verminderen van de milieu-impact van die materialen.

In hoofdstuk 4 wordt de integrale milieu-impact van deze scenario's (mede op basis van de specifiek ingezette hoeveelheden materialen) geanalyseerd.

Hoofdstuk 5 komt op basis van deze analyses en observaties met conclusies en enkele aanbevelingen voor onderzoekers en beleidsmakers.

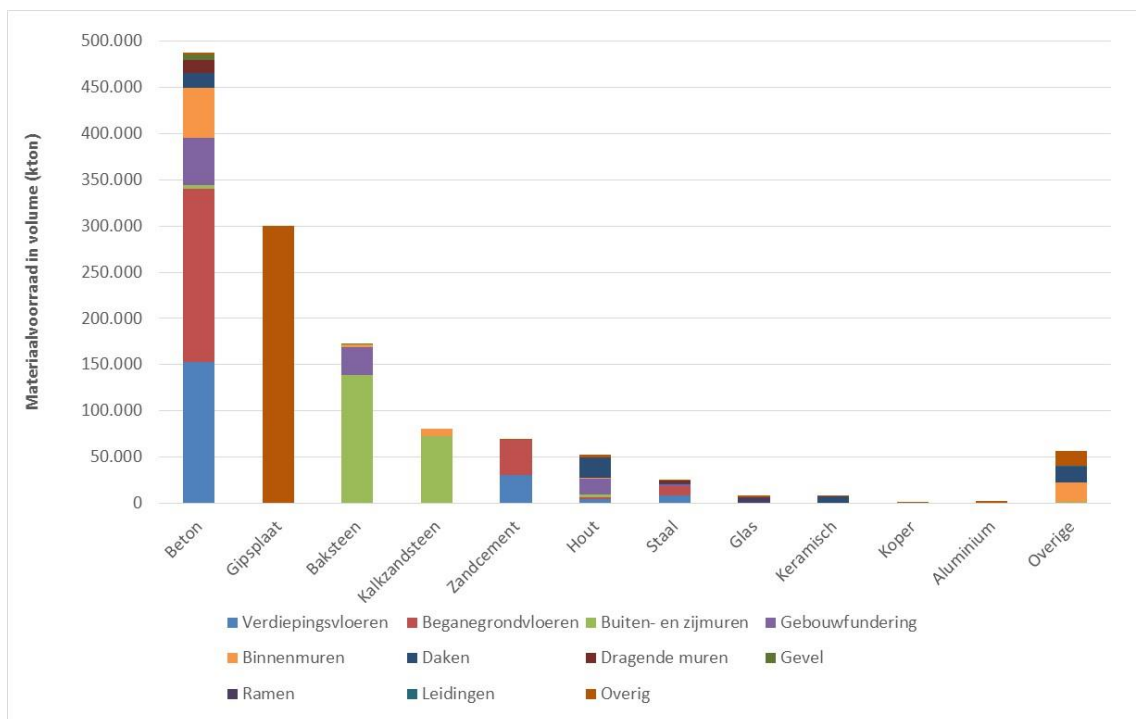
2 Welke bouwmaterialen hebben de grootste milieubelasting?

Om in de transitieagenda Bouw te kunnen prioriteren is het wezenlijk van belang om de absolute milieu-impact van de in Nederland toegepaste bouwmaterialen te kennen. Deze impact hangt af van de specifieke milieu-impact voor elk relevant bouw materiaal en van de hoeveelheid materiaal dat vrijkomt bij sloop en dat gebruikt wordt in huizenbouw of renovatie. In dit hoofdstuk gaan we in op die twee aspecten waardoor een geprioriteerde lijst materialen ontstaat waarvoor in een volgend hoofdstuk de impact van bepaalde circulaire activiteiten wordt bepaald.

2.1 De hoeveelheid materialen in de Nederlandse bouwvoorraad

Om de milieu-impact van circulaire initiatieven in te kunnen schatten baseren we ons in deze verkenning op inzicht in de hoeveelheid materialen die nu aanwezig is in de bouwvoorraad en die in de komende decennia vrij gaat komen bij renovatie of sloop. Hiervoor is een database ontwikkeld¹ waarin gebruik wordt gemaakt van de Basis Administratie Gebouwen (BAG), EIB-scenario's omtrent te verwachten nieuwbouw, op historische extrapolatie gebaseerde aannames omtrent sloop en kennis omtrent bouw-typologieën in verschillende tijdperken (meer details in Bijlage B). Zo is bijvoorbeeld tot de jaren '30 de dragende constructie van gebouwen regelmatig in hout uitgevoerd. Daarna nam de productie van beton toe en die nam een vlucht in de periode van naoorlogse bouw (vanaf de jaren 50). Vanaf die tijd werd de dragende constructie voornamelijk in beton uitgevoerd. Deze database geeft het onderstaande beeld van de inzet van materialen in de huidige bouwvoorraad.

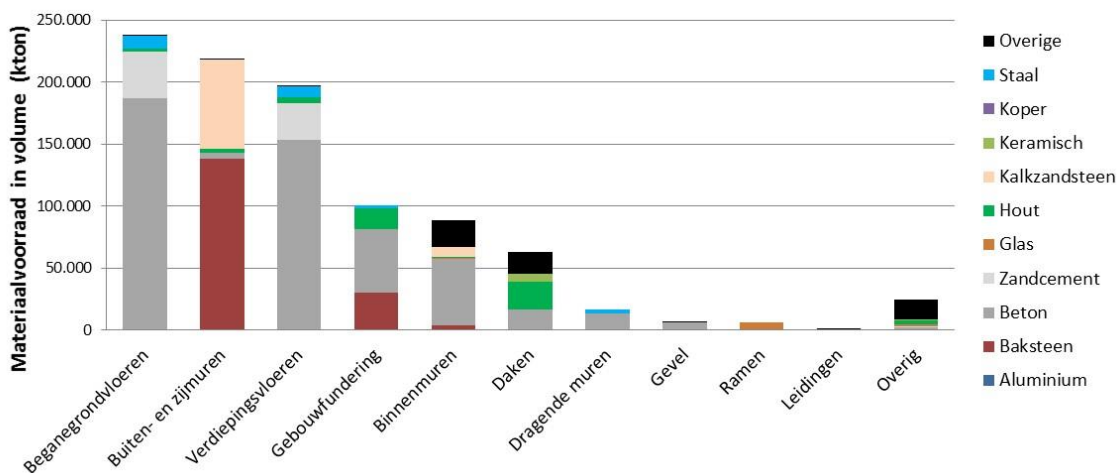
¹ Door TNO ontwikkeld in 2016



Figuur 3 Volume in Nederland ingezette bouwmaterialen in de gebouwvoorraad.

Met afstand het grootste volume in de bestaande gebouwvoorraad zit in het beton (inclusief binder, cement en zand), gevolgd door gipsplaat en baksteen.

Figuur 4 geeft een beeld van de wijze waarop deze materialen zijn toegepast.



Figuur 4 Volume van de bouwelementen in de Nederlandse bouwvoorraad.

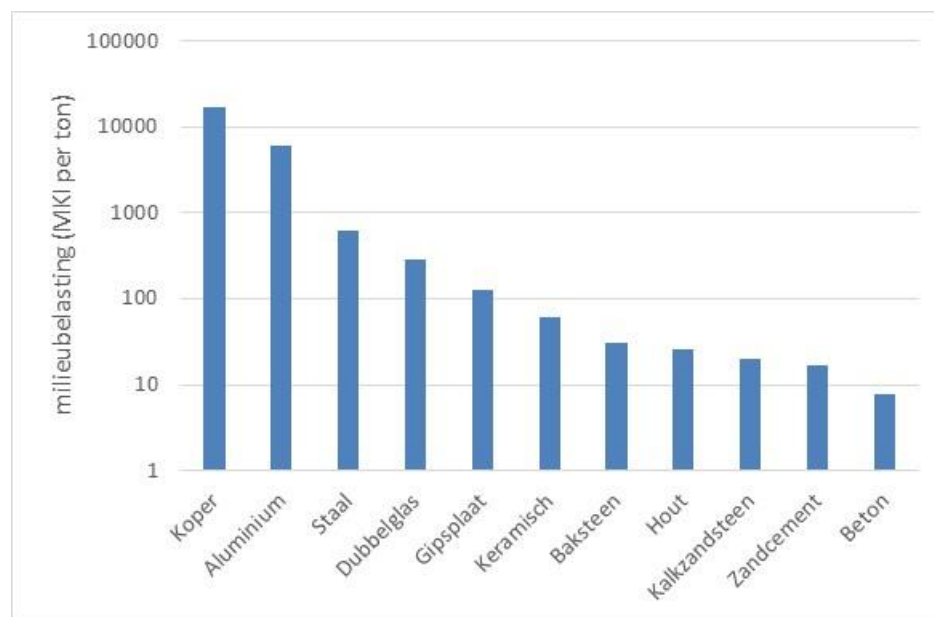
Het grootste volume zit in de vloeren in de woningen en daarin wordt met afstand beton (het grootste volume) het meeste toegepast.

2.2 De specifieke milieu-impact van bouwmaterialen

De milieubelasting van bouwmaterialen is vast te stellen met een milieugerichte levenscyclus benadering, waarbij de milieu-impact van de productie van de bouwmaterialen centraal staat. De milieubelasting wordt in deze analyse uitgedrukt in de Milieukostenindicator (MKI). Deze milieu-maat is gebruikelijk voor milieuprestaties van gebouwen en infrastructuur. De Milieukostenindicator wordt uitgedrukt in schaduwrijzen. Dit zijn de fictieve (preventie)kosten die gemaakt zouden moeten worden om negatieve milieu-impact te herstellen. Het is een geaggregeerde indicator waarbij bijvoorbeeld CO₂-emissies, luchtverontreiniging, en toxische effecten voor mens en ecologie meegenomen worden (zie Tabel 2 in Bijlage A).

BZK is voornemens om in 2018 een grenswaarde voor de milieuprestatie voor gebouwen op te nemen in het Bouwbesluit ². Deze grenswaarde wordt bepaald met de Bepalingsmethode Milieuprestatie gebouwen en GWW-werken. Hierbij wordt gebruik gemaakt van milieudata uit de Nationale Milieu Database (NMD) die ook gebaseerd is op de MKI-systematiek.

In Figuur 5 wordt voor de milieubelasting van de meest toegepaste materialen weergegeven. Het betreft de milieubelasting voor de winning en aanvoer van grondstoffen en de bewerking tot een bouwproduct.



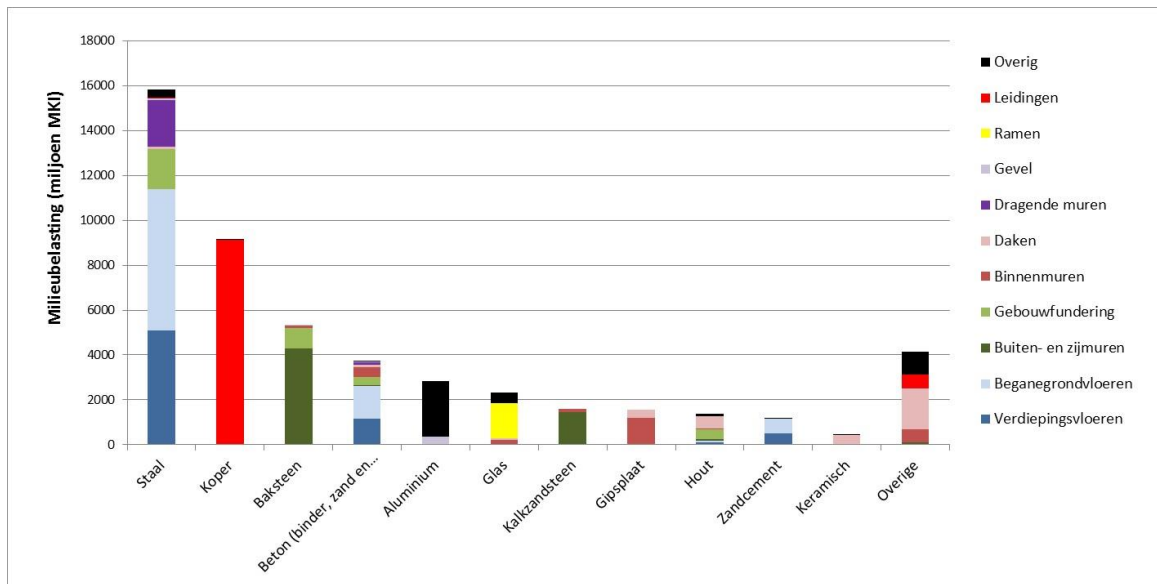
Figuur 5 Milieukosten-indicator (MKI) voor de productie (*cradle to gate*) van belangrijkste bouwmaterialen.

De metalen koper, aluminium en staal hebben met afstand een hogere milieu-impact voor de productie (van grondstofwinning tot en met de fabriekspoort) dan de typische minerale bouwmaterialen als baksteen en kalkzandsteen.

²<https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/bouwregelgeving/nieuws/2016/12/27/eisen-aan-duurzaamheid-nieuwe-huizen-en-kantoren>.

2.3 Totale milieubelasting van bouwmaterialen

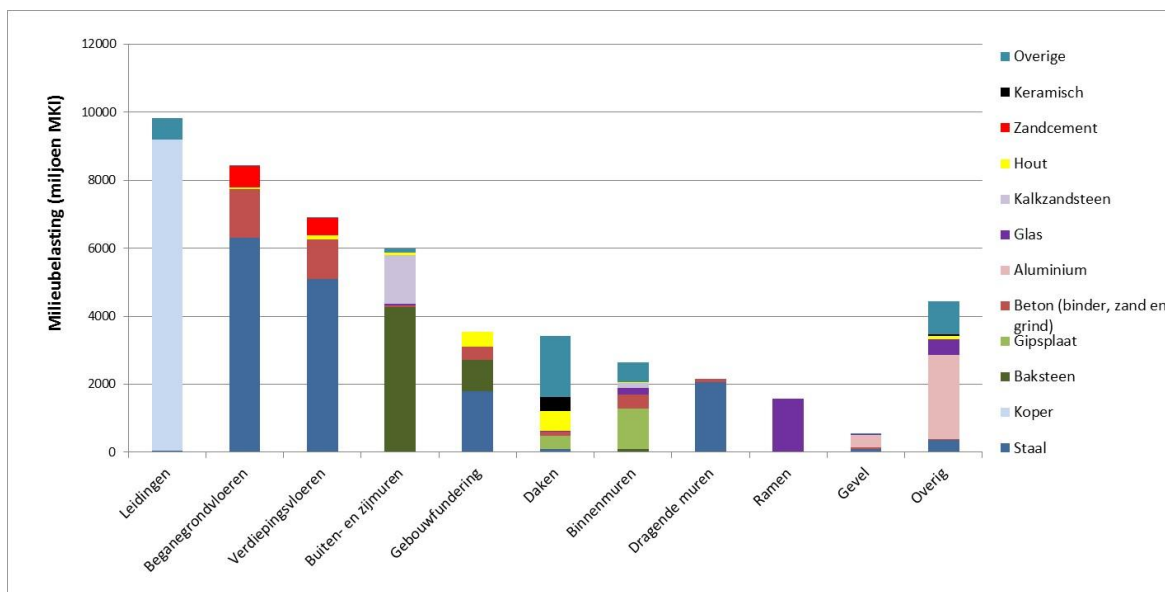
Door de gegevens over de totale hoeveelheid materialen in de Nederlandse gebouwvoorraad te combineren met de specifieke MKI per materiaal ontstaat een beeld van de totale milieu-impact van de huidige bouwmaterialen (Figuur 6). In deze figuur is naast de totale milieu-impact ook aangegeven voor welk bouwelement het bewuste materiaal is toegepast.



Figuur 6 Milieubelasting van de productie van materialen (*cradle to gate*) zoals aanwezig in de Nederlandse gebouwvoorraad, uitgedrukt in Miljoen MKI, onderverdeeld naar bouwelement.

Ondanks de relatief lage hoeveelheden van staal en koper is -vanwege de hoge specifieke milieubelasting- de bijdrage aan de totale milieu-impact hoog. De milieubelasting van beton betreft de minerale fractie (zonder wapening).

Staal wordt overwegend toegepast als wapeningsstaal in vloeren, fundering en muren. Deze bouwelementen bestaan naast wapeningsstaal ook uit beton. Een dergelijke combinatie toont al aan dat t.b.v. het inschatten van de impact van circulaire innovaties (zie volgende hoofdstuk) het illustratief is ook de totale milieu-impact van de verschillende bouwelementen weer te geven (Figuur 8).



Figuur 7 Milieu-impact per bouw-element van cradle to gate, zoals aanwezig in de Nederlandse bouwvoorraad.

Naast de overduidelijke milieu-impact van de vloeren (ten gevolge van de hoeveelheid bewapeningsstaal verwerkt in het beton) valt de impact van de (koperen) leidingen op.

De elementen die hier genoemd staan worden geen van alle tijdens de levensduur van een gebouw ingrijpend vervangen. Dit geldt wel voor de (hier niet opgenomen) impact van (klimaat- en verwarmings-)installaties, waarin veel staal is verwerkt. Dat zou kunnen betekenen dat de impact van de installaties gemeten over de levensduur van een gebouw groter is dan nu op basis van de materiaalvoorraad wordt ingeschat. Deze vervanging is in de huidige analyse niet meegenomen.

Isolatiematerialen (steenwol en glaswol) zijn nu niet expliciet meegenomen in deze analyse. Dit materiaal draagt voor ongeveer 16% bij aan de post 'overig'. Onder invloed van de energieprestatie-eisen is te verwachten dat er in nieuwbouw in toenemende mate meer isolatie zal worden toegepast. Naar schatting zal de hoeveelheid isolatiemateriaal bij nieuwbouw verdubbelen ten opzichte van die hoeveelheid in bestaande bouw. Overigens zal ook in die situatie isolatiemateriaal niet bij materialen horen die de grootste bijdrage aan de MKI leveren.

2.4 Prioriteren van materialen/bouwelementen

Uit het oogpunt van milieu-impact kan een aantal materiaalstromen dan wel bouwelementen worden geprioriteerd voor verdere analyse. Hoe hoger de impact, hoe groter ook de kans dat circulair economische initiatieven een significante reductie van die milieu-impact geven. Dit geldt uiteraard niet voor materialen (zoals koper) waarvan de recycling-infrastructuur al goed op orde is. Dergelijke overwegingen komen langs in het volgende hoofdstuk.

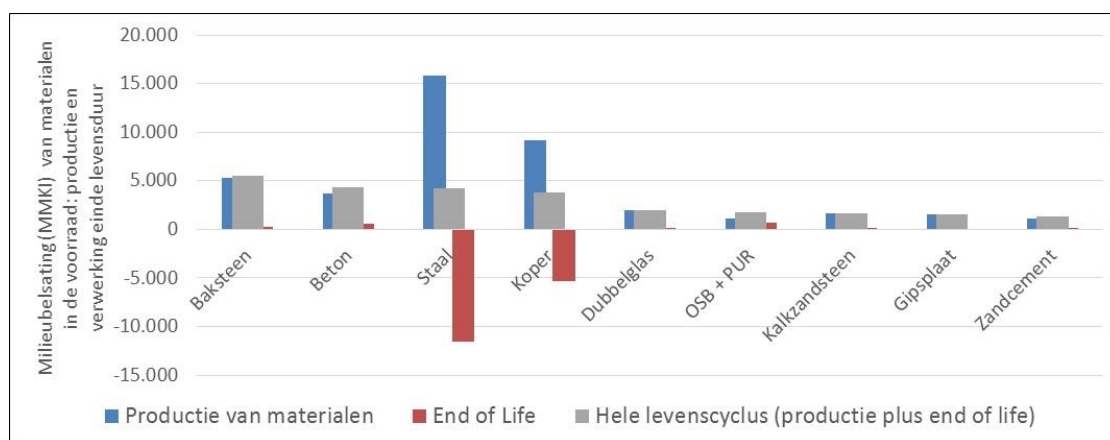
De geprioriteerde materialen en/of bouwelementen zijn:

- Met staal gewapende betonnen bouwelementen.
- Bakstenen en muurelementen waar ook kalkzandsteen in is verwerkt.

- Non-ferro metalen koper en aluminium: ondanks de waarschijnlijk reeds hoge recyclinggraad, dragen ze sterk bij aan de totale milieu-impact.
- Hout: mede omdat door de geringe milieubelasting van hout dit materiaal juist extra kan worden ingezet om de milieubelasting van de bouw te verlagen. In dat geval van stijgende toepassing wordt het belang van materiaalrecycling of hergebruik van hout aan het einde van de levensduur alleen maar belangrijker.

2.5 Milieu-impact van recycling

Het meeste bouw- en sloopafval wordt in Nederland gerecycled. In Figuur 8 wordt de milieubelasting voor zowel de productie als voor de verwerking aan het einde van de levensduur weergegeven voor de materialen in de Nederlandse gebouwvoorraad met de meeste milieu-impact. De milieubelasting van de productie komt overeen met de resultaten in Figuur 6. Voor een aantal bouwmaterialen is de milieubelasting van het transport en recycling proces aan het einde van de levensduur ongeveer net zo groot als de uitgespaarde primaire productie (zoals bijvoorbeeld voor glas en gips). Voor andere bouwmaterialen geeft de verwerking aan het einde van de levensduur een beperkte extra milieubelasting (zoals bijvoorbeeld voor beton). Voor staal en koper is opvallend dat recycling aan het einde van de levensduur relatief veel bijdraagt aan het verlagen van de milieubelasting.



Figuur 8 Milieu-impact van bouwmaterialen zoals aanwezig in de Nederlandse gebouwvoorraad door productie (cradle to gate) en verwerking aan het einde van de levenscyclus.

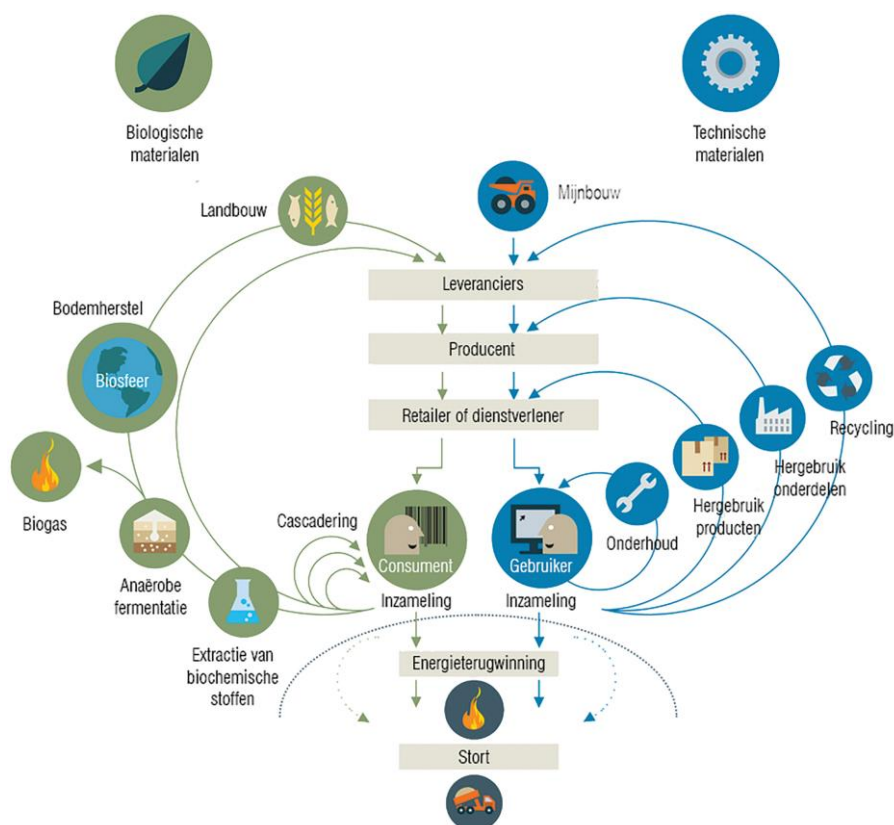
In totaal (voor alle materialen in de voorraad) reduceert verwerking aan het einde van de levensduur de milieubelasting van de materialen met 40%.

3 De milieu impact van circulaire economie

3.1 Inleiding

In hoofdstuk 2 is een selectie gemaakt van een aantal materialen en bouwelementen met een hoge milieu-impact. Een tweede doel van deze verkenning is om de mate in te schatten waarin circulaire maatregelen een bijdrage kunnen leveren aan reductie van de milieubelasting van deze geprioriteerde bouwmaterialen.

Het circulair economische gedachtegoed is nu al als geen ander van toepassing op onze gebouwde omgeving. De circulaire economie zoals schematisch neergezet door de Ellen MacArthur Foundation (zie Figuur 9) gaat uit van initiatieven en innovaties die waardebehoud nastreven en waardevernietiging van producten en materialen helpen tegengaan. Waardebehoud door levensduurverlenging staat vanzelfsprekend centraal in de gebouwde omgeving: gebouwen worden voor lange tijd neergezet en alle activiteiten gericht op onderhoud en reparatie ondersteunen dat waardebehoud.



Figuur 9 Schematische weergave van het concept Circulaire economie (bron: Ellen MacArthur Foundation).

De huidige bouwpraktijk (zowel nieuwbouw als verwerking van bouwafval) kent al talloze voorbeelden van circulaire economie.

Zo wordt buiten Nederland gebroken steen uit steengroeves toegepast als wegfunderingsmateriaal; in Nederland is dat overwegend gebroken steenachtig puin dat vrijkomt bij sloop. Bouw en sloop afval wordt gesorteerd en metalen uit de bouw worden gerecycled. Secundaire grondstoffen uit andere sectoren worden ingezet als bouw materiaal (zoals vlieg-as en hoogovenslak). Er wordt nauwelijks bouw- en sloopafval gestort en er is aandacht voor levensduurverlenging van gebouwen, zowel bij bestaande bouw (renovatie), als bij ontwerp van nieuwe gebouwen. De milieu-impact van deze bestaande situatie wordt niet verder uitgewerkt of gekwantificeerd in deze studie.

In deze verkenning zijn we voornamelijk geïnteresseerd in die circulaire innovaties die de directe inzet van materialen helpen verminderen, hetzij door nieuwe bouwmethoden, hetzij door hoogwaardige inzet van bouw- en sloopafval. Met dat oogmerk is een aantal opties geïnventariseerd die daartoe moeten leiden.

Daarbij is gekeken naar :

- De technische haalbaarheid op korte termijn.
- De potentie voor een significante penetratiegraad.
- De geschatte milieu-impact van deze opties.

In Bijlage C is een uitgebreide samenvatting gegeven van de opties die tijdens brainstormsessies zijn opgehaald. In dit hoofdstuk wordt een samenvatting gegeven van de verschillende opties en worden scenario's opgesteld voor de mate van penetratie en voor combinaties van deze opties. De scenario's uit deze verkenning zijn grotendeels overgenomen in de Ex-ante evaluatie van het rijksbrede programma (Bastein, 2017) voor de bouw.

3.1.1 *De bepaling van de milieu-impact*

De circulaire innovaties kunnen betrekking hebben op een alternatieve verwerking van het vrijgekomen afval bij sloop of renovatie of op een alternatief ontwerp of productiemethode bij nieuwbouw.

Voor elke vorm van recycling wordt een afweging gemaakt van de mate waarin (primair) materiaal uitgespaard wordt. De vermeden productie wordt gewaardeerd als een milieubonus; de milieubelasting van de productie van het vermeden materiaal wordt in mindering gebracht op de milieubelasting.

Voor elke vorm van hergebruik moet een afweging gemaakt worden tot welke levensduurverlenging het hergebruik leidt. De meeste hergebruikscenario's zouden in theorie meerdere malen herhaald kunnen worden. Het is echter ook onzeker of dat daadwerkelijk zal gebeuren, omdat de meeste bouwelementen een lange levensduur hebben en het hergebruik in de verre toekomst plaats zal vinden. Om die reden is voor alle hergebruikscenario's de levensduurverlenging beperkt tot 1 cyclus, gevolgd door de afvalverwerking die nu gangbaar is. Dat betekent dat de milieubelasting over de levenscyclus door hergebruik maximaal halveert; voor dezelfde functie is de helft minder materiaal nodig.

3.2 **Levensduurverlenging van gebouwen**

Levensduurverlenging van een gebouw is vanzelfsprekend de maatregel met de hoogste impact op de milieubelasting.

Daar is, met name natuurlijk vanuit economische motieven, te allen tijde volop aandacht voor: sloop vindt pas plaats als uiterste middel, bijvoorbeeld wanneer een gebouw niet meer functioneel te maken is door eisen aan locatie, brandveiligheid, maatvoering.

Vanwege het bestaande economisch belang van bestaande gebouwen, is het niet te veronderstellen dat er additionele levensduurverlenging van bestaande bouw zal optreden onder invloed van (beleid t.a.v.) de circulaire economie. Bij nieuwbouw wordt soms wel gestuurd op een lange levensduur door bijvoorbeeld flexibiliteit voor andere functies in te bouwen. Ontwerp voor een lange levensduur kan om een voorinvestering vragen (duurder is dan regulier ontwerpen). De toekomst laat zich moeilijk voorspellen en daarmee zijn de onzekerheden van dit soort investeringen relatief groot.

Omdat we dus aannemen dat slechts heel beperkt extra levensduurverlenging van gebouwen te verwachten is, wordt de milieu-impact van dit type scenario's in deze verkenning niet geanalyseerd.

3.3 Gewapend betonnen bouwelementen

Gewapend betonnen elementen bestaan uit wapeningsstaal en uit beton.

Wapeningsstaal bestaat volgens het MRPI-blad "wapeningsstaal" voor 70% uit secundair staal en voor 30% uit primair staal.

Beton bestaat uit een binder en vulstoffen. In Nederland is circa 40% van alle beton een betonmix met portlandcement (CEM I) als binder. 60% van het beton is beton waarbij de binder voor een deel gemaakt wordt uit secundaire bronnen, zoals hoogovenslak uit de staalproductie en vliegas uit kolencentrales.

Als vulstof wordt overwegend zand en grind gebruikt; slechts 4% van de totale hoeveelheid granulaat komt van secundaire grondstoffen zoals betongranulaat of menggranulaat (Bijleveld, Bergsma, & Lieshout, 2013).

In vergelijking met andere landen gebruikt Nederland al relatief veel binders op basis van secundaire grondstoffen. Portlandcement geeft een relatief grote milieubelasting in de productie en alternatieve binders hebben dan ook een gunstige invloed op de milieubelasting. Het gehalte secundaire binders wordt mede bepaald door de betontoepassing en de bijbehorende technische eisen (zoals levensduur in een zoute omgeving of uithardingstijd). De hoeveelheid binders op basis van secundaire grondstoffen kan vanwege de beperkte beschikbaarheid niet ongelimiteerd toenemen, waardoor er ruimte is voor alternatieve reststromen die opgewerkt zouden kunnen worden tot binder.

3.3.1 Circulaire scenario's

De milieu-impact van gewapend beton kan op diverse wijzen worden gereduceerd. Er zijn daarvoor drie scenario's opgesteld:

- Scenario 1: de productie van 50% van het beton dat nu nog op basis van CEM I (100% portlandklinker) wordt geproduceerd, wordt vervangen door een beton met een binder (mede) op basis van secundaire grondstoffen (vergelijkbaar met CEM III/A waarbij 35% uit portlandklinker bestaat en 65% uit alternatieve binders).
- Scenario 2: het vervangen van vulstoffen (zand en grind) door betongranulaat.

Dit scenario heeft veel aandacht omdat de verwachting is dat op termijn de behoefte aan wegfunderingsmateriaal, de huidige bestemming van secundair betongranulaat, gaat afnemen³.

Technisch zijn er voor de meeste betontoepassingen geen beperkingen om betongranulaat tot 20% toe te passen; daarom nemen wij voor dit scenario nu dit vervangingspercentage mee in de analyse.

- Scenario 3: legolisering van betonnen elementen, d.w.z. het ontwerp van nieuwe betonnen elementen gericht op eenvoudige demontage en hergebruik. Voor zover bekend zijn er nog geen aanbieders van dergelijke (beton)concepten op de markt. Daarom is bij de analyse van dit concept de implementatiegraad beperkt tot 10%.

3.3.2 *Milieu-impact van circulaire scenario's*

De milieubelasting van de gebruikelijke productie en einde levensduur verwerking van gewapend beton wordt vergeleken met de drie hierboven geschetste circulaire scenario's.

Wapeningsstaal wordt momenteel al gerecycled, en dat spaart de productie van (primaire) staal uit.

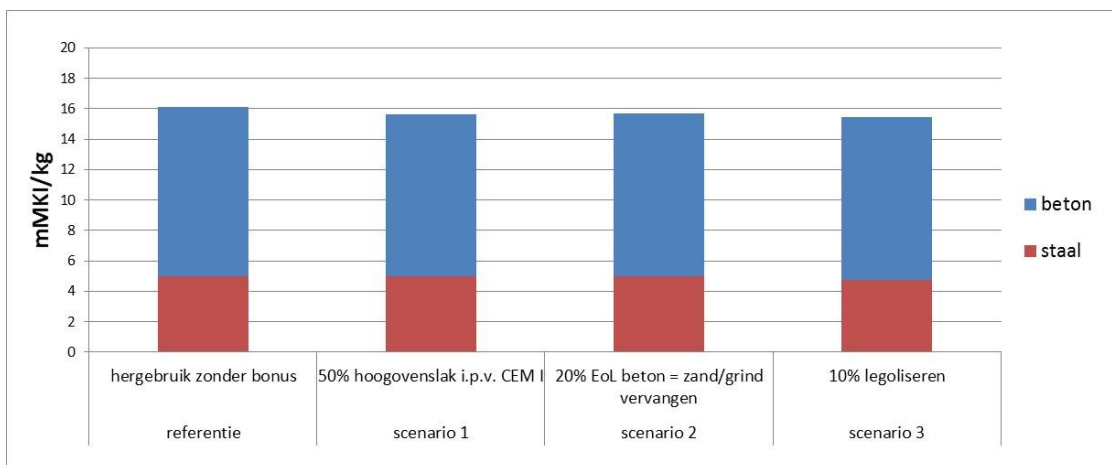
Beton wordt aan het einde van de levensduur gebroken tot betonpuin en dat wordt voor 95% als wegfunderingsmateriaal toegepast. Omdat in Nederland nu al geen primair materiaal wordt toegepast als funderingsmateriaal wordt aan deze vorm van hergebruik geen vermeden productie toegekend.

In Figuur 10 is te zien dat de milieubelasting van de referentie en de drie onderzochte circulaire scenario's dicht bij elkaar ligt.

In scenario 1 wordt 50% van het portlandcement (CEMI) vervangen door cement met hoogovenslak (CEMIII). De milieu impact van de productie van CEM III bedraagt op basis van Eco-invent 50% t.o.v de productie van CEMI. In de referentie (16,1 MKI/ton) wordt 5 MKI/ton veroorzaakt door het wapeningstaal, de rest (11,1 MKI/ ton) door het steenachtige deel van beton. Portland cement (CEM I) draagt hier 2 MKI/ ton aan bij. Als we de helft van het portland cement (1 MKI) vervangen door CEMIII met 50% milieu-impact t.o.v. CEMI, dan is het verschil 0,5 MKI/ton op het totaal.

Voor scenario 2 blijkt dat het verschil in milieubelasting 0,4 MKI/ton bedraagt, onder de aanname dat het transport van de primaire grondstoffen vergelijkbaar is met het transport van de secundaire grondstoffen. Als er meer transport nodig is voor de toepassing van betongranulaat dan voor de aanvoer van zand en grind, dan is de milieubelasting van dit circulaire scenario hoger dan de referentie.

³ Rijkswaterstaat, "Beleidsverkenning Circulaire economie in de Bouw -Een perspectief voor de markt en overheid", 18 december 2015



Figuur 10 Vergelijking van de milieubelasting van gewapend beton over de hele levenscyclus per kg gewapend beton.

Het derde scenario (Legalisering) leidt tot een halvering van de materiaalbehoefte voor dezelfde functie door intensief hergebruik. Daardoor leidt 10% legalisering tot circa 4% reductie van de milieubelasting (rekening houdend met kleine verliezen van materiaal, en verbruik van energie voor transport en demontage), ofwel 0,7 MKI/ton.

3.3.3 *Barrières voor toepassing van circulaire scenario's*

Voor Scenario 2 (het recyclen van beton in de vorm van betongranulaat als vervanging van grind en zand) kwam een aantal barrières voor toepassing naar voren uit gesprekken met direct betrokkenen:

- Er is nog steeds geen markt- of regelgevingsprikkels om de huidige manier van werken te veranderen (dit geldt ook voor andere hergebruik-opties voor bouwmaterialen);
- De reductie van milieubelasting is beperkt. De relatief beperkte milieu-impact hangt sterk af van transport van secundair en primair materiaal; om voordelen tastbaar te maken moet dit aspect grondig worden meegenomen, waarbij de variaties in vraag en aanbod (zowel in tijd als in plaats) de uitkomst moeilijk te voorspellen maken.

Scenario 3 (Legaliseren) draagt in deze analyse in geringe mate bij aan de reductie van de milieubelasting. Het principe van legaliseren is ook één van de scenario's die wordt toegepast om het toekomstig gebruik van baksteen te reduceren. Het is daarom op zijn plaats om enkele kanttekeningen te plaatsen bij de toepasbaarheid. Uit interviews met enkele betrokken partijen uit de bouwsector komen de volgende barrières voor toepassing naar voren:

- De levensduur van veel bouwdelen, met name die van beton en baksteen, is erg lang. Een probleem met legalisering is de verandering in mode en eisen over een lange periode. Indien die elementen daarom aangepast zouden moeten worden is de businesscase vaak weg.
- De ontwikkeling van een gelegaliseerd systeem is kostbaar. Deze kosten zijn moeilijk op één project te dragen. Omdat de bouw project gebaseerd is, zijn dergelijk innovaties lastig van de grond te krijgen.

Voor woningen leidt dit tot meerkosten die te hoog zijn ten opzichte van het voordeel dat ermee bereikt wordt. Bij tijdelijke gebouwen, zoals studentenhuisvesting, of huisvesting van asielzoekers is herbruikbaarheid interessanter en wordt dit concept in de praktijk toegepast.

3.4 Bakstenen

Bakstenen worden gemaakt van klei dat gewonnen wordt langs rivieren. Bij renovatie of sloop van een gebouw worden bakstenen vaak ingezameld in combinatie met ander steenachtig puin. Het grootste deel van dit materiaal (metselwerkgranulaat of menggranulaat) wordt toegepast onder wegen als funderingsmateriaal. Het percentage gebroken baksteen dat voor deze toepassing in het mengsel mag zitten is echter gelimiteerd, bij sloop van gebouwen met een groot aandeel baksteen is het aandeel baksteen in het steenachtig puin vaak te hoog. Enkele recyclers scheiden (een deel van) de baksteenfractie, zodat het steenachtig puin nog wel toegepast kan worden als funderingsmateriaal. Er is echter nog geen goede afzet voor het gebroken baksteen.

3.4.1 Circulaire scenario's

Om de milieu-impact van de inzet van bakstenen te reduceren zijn de volgende twee scenario's opgesteld:

- Scenario 1: Technisch is het mogelijk om de gebroken baksteen te vermalen en bij te mengen bij de klei voor de productie van nieuwe keramische producten. In dit scenario wordt 25% van het uit sloop vrijgekomen baksteengranulaat vermalen en vermengd met klei voor de productie van nieuwe keramiek producten. Deze aanname is gebaseerd op de volgende redenering:
 - o Bijmenging is technisch beperkt tot 10% tot 25%⁴.
 - o Onder de aanname dat er ongeveer net zoveel baksteenpuin vrij komt als dat er nieuwe baksteen nodig is, dan kan niet alle vrijgekomen baksteen bijgemengd worden. 100% verwerking middels bijmenging zou tot een aanzienlijk groter volume baksteen geven als dat nodig is.

Een aanzienlijk deel van het metselwerkpuin vindt nu al een nuttige toepassing. Menggranulaat wordt toegepast als wegfundering en in beperkte mate ook als vulstof in beton.

Bijmenging van gemalen baksteengranulaat vermijdt de winning van klei en er is aangenomen dat er 10% minder energie voor het productieproces nodig is.

- Scenario 2: herbruikbaarheid van baksteen verhogen door 'legoliseren'. Net als bij lego zouden bakstenen mechanisch kunnen worden gekoppeld en ontkoppeld doordat ze niet met mortel zijn verbonden. Voor de berekeningen voor dit scenario gaan we uit van een implementatiegraad van 50%, dat wil zeggen dat 50% van alle nieuwbouw gevels in dat geval in de toekomst wordt uitgevoerd op basis van legolisering. Er zijn al aanbieders op de Nederlandse markt die dit soort producten aanbieden en er zijn voor dit scenario weinig technische belemmeringen.

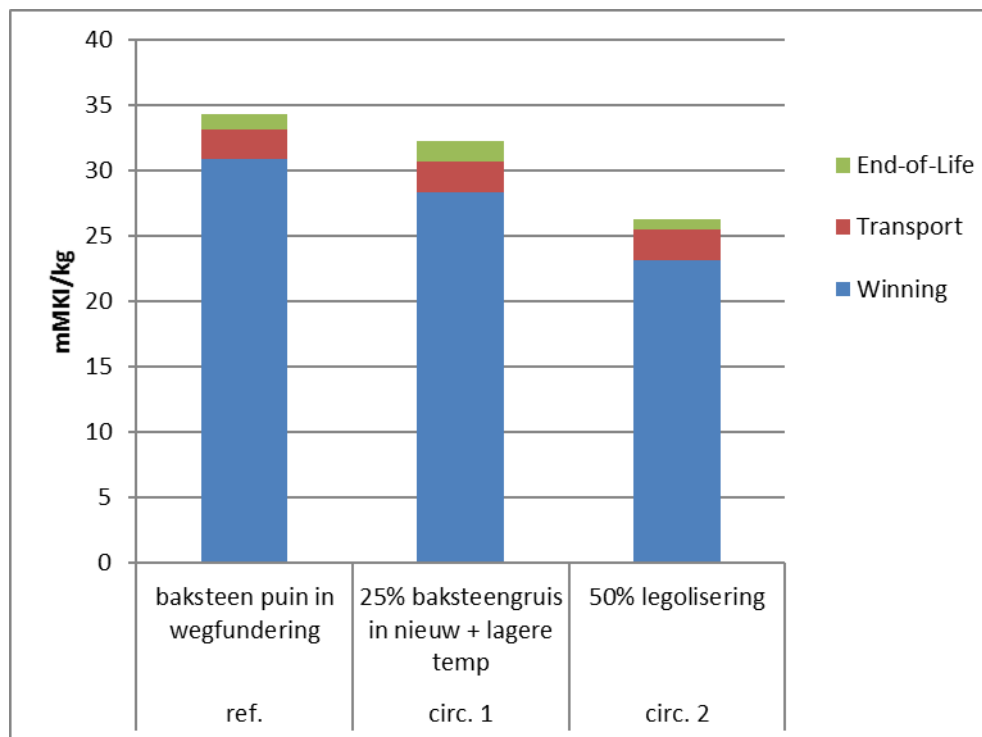
⁴ Informatie afkomstig van geraadpleegde TNO-experts

3.4.2 Milieu-impact van circulaire scenario's

In Figuur 11 wordt de milieubelasting van de referentie en de twee circulaire scenario's getoond.

Scenario 1 (bijmenging met baksteengranulaat) leidt tot 6% reductie van de milieubelasting van baksteen.

Scenario 2 (50% legolisering) resulteert in een verlaging van de milieubelasting met 23%.



Figuur 11 Vergelijking van de milieubelasting van bakstenen over de hele levenscyclus per kg baksteen.

Legolisering is ook mogelijk voor bouwelementen die in binnenmuren worden toegepast, uit bijvoorbeeld cellenbeton, kalkzandsteen of gips. De reductie van de milieubelasting door hergebruik is naar verwachting vergelijkbaar met de relatieve daling van de milieubelasting van baksteen. Daardoor halveert de milieubelasting bij het verlengen van het functionele gebruik met één cyclus⁵.

3.5 Non-ferro-metalen koper en aluminium

In vergelijking met andere bouwmaterialen is de milieubelasting voor de productie (winning van erts tot en met productie van het bouwproduct) van non-ferro-metalen groot.

⁵ Hier wordt de impact van hergebruik gewaardeerd met halvering van de milieubelasting; met één eenheid materiaal wordt de functie van 2 producten vervuld. Levensduurverlenging kan ook gewaardeerd worden door de aftrek van de milieubelasting van productie (cradle-gate) van een nieuw product. Hergebruik voorkomt immers de productie van een nieuw bouwelement. Verder kan het milieuvoordeel zelfs meer dan één keer optreden. Op dit moment is er nog onvoldoende eenduidigheid in de berekeningsmethode waarop levensduurverlenging gewaardeerd moeten worden bij het bepalen van de milieubelasting van bouwmaterialen.

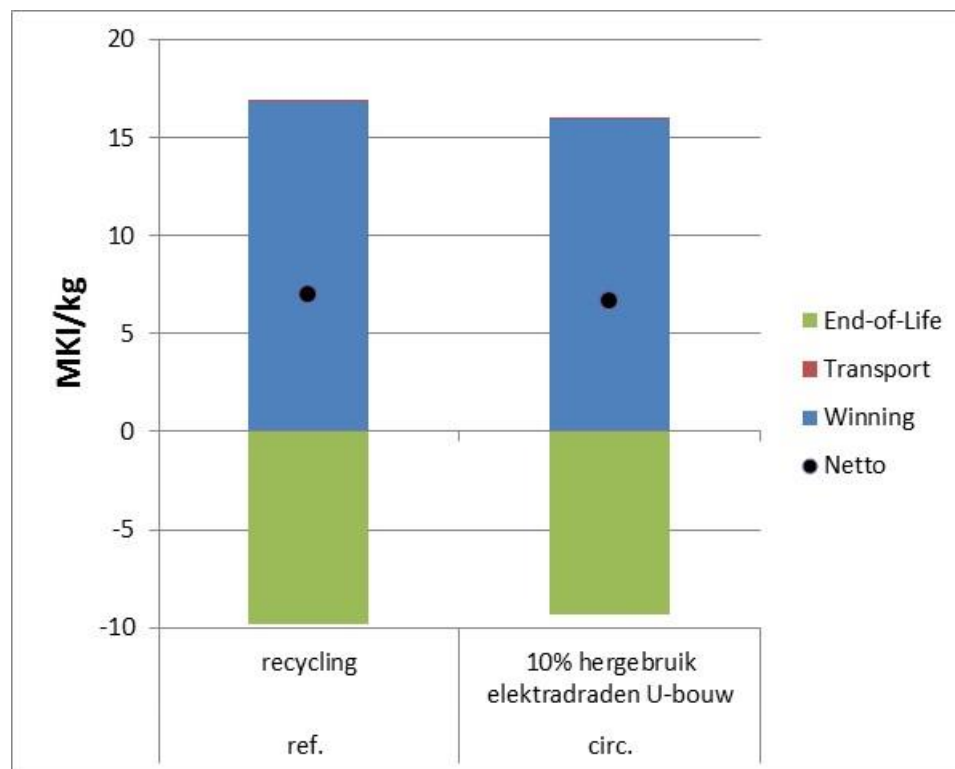
Deze metalen worden onder andere toegepast in gevelelementen, leidingen en andere installatiecomponenten. Bij sloop van een gebouw worden de metalen nu al separaat verwijderd en gerecycled, ingegeven door de positieve marktwaarde van deze materialen. Koperleidingen worden bijvoorbeeld gescheiden van al het andere bouwafval en vervolgens door kopersmelters gerecycled. Hergebruik van metalen producten als zodanig komt niet of heel beperkt voor, vanwege de problemen met maatvoering of kwaliteit (gebogen leidingen) van de koperen leidingen. Er is daarom weinig verbeteringspotentieel t.o.v. de bestaande praktijk door het opstellen van een circulaire scenario .

Dat ligt anders bij hergebruik van koperen elektriciteitsdraden uit de utiliteitsbouw in woningbouw. Dit scenario is ontleend aan de ervaringen van een Nederlandse sloopaannemer die bij sloop of renovatie van kantoorpanden de elektriciteitsdraden verwijdert, oprolt en doormeeet, en ze vervolgens verkoopt. Overigens is slechts een paar procent van alle koper in de bouwvoorraad aanwezig in de vorm van elektriciteitsdraden. Het meeste koper is aanwezig in de vorm van leidingen. Door elektriciteitsdraden een tweede leven te geven, halveert de milieubelasting ongeveer. De milieu-impact van dit circulaire scenario (Figuur 12) is berekend voor 10% hergebruik van elektriciteitsdraden uit de utiliteitsbouw, in de veronderstelling dat slechts een beperkt deel van de elektriciteitsdraden geschikt is voor hergebruik. 10% hergebruik geeft door de halvering van de milieubelasting ongeveer 5% minder milieubelasting.

Het tweede circulaire scenario waarvoor een analyse is gemaakt van de milieu-impact betreft hergebruik van gevels die bestaan uit aluminium profielen met raamelementen (vliesgevels). Dit soort gevels zijn relatief veel aanwezig in de utiliteitsbouw. Naar verwachting voldoen oude aluminium gevels met glas niet meer aan de huidige energieprestatie-eisen en ze kunnen dus niet opnieuw gebruikt worden voor dezelfde functie. In dit scenario is aangenomen dat de gevel een tweede leven krijgt in een andere functie, zoals bijvoorbeeld een serre in woningbouwen of als kas. De penetratie van een dergelijk scenario is vanzelfsprekend speculatief, maar ten behoeve van de berekeningen zijn wij nu uitgegaan van 10% hergebruik van vliesgevels.

3.5.1 *Impact van circulaire scenario's*

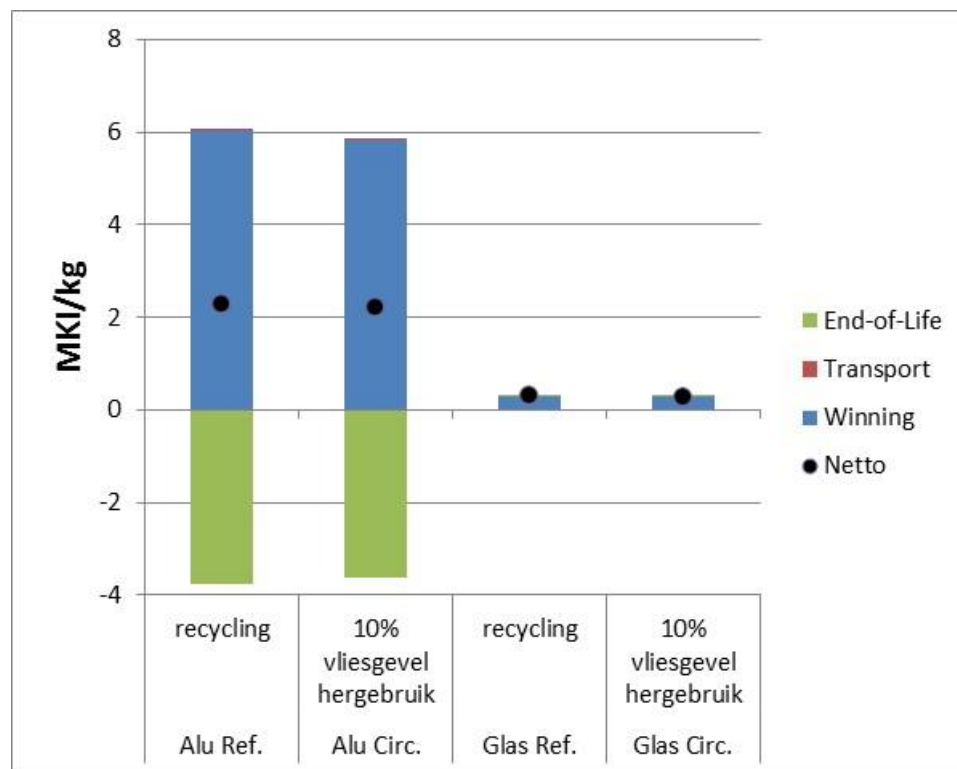
De milieubelasting (uitgedrukt in MKI) voor koper over de gehele cyclus is 16,8 EUR/kg. Het milieuvoordeel van recycling door uitsparing van primaire koperwinning is weergegeven in Figuur 12 als een negatieve milieubelasting (groene deel door recycling). Recycling van koper reduceert de milieubelasting van koper met ongeveer 60%. In het circulaire scenario krijgt 10% van de koperdraden uit de utiliteitsbouw een tweede leven. Net als bij alle andere hergebruiksscenario's is verondersteld dat dit éénmaal gebeurt en dat de milieubelasting door dit hergebruik halveert: bij 10% hergebruik daalt daardoor de milieubelasting van het totaal aan koperen elektriciteitsdraden met 5% naar 16,0 EUR/kg.



Figuur 12 Milieubelasting van koper in elektriciteitsdraden per kg koper.

Voor een analyse van het scenario waarbij aluminium vliesgevels intensiever worden hergebruikt, gaan we ervan uit dat in de bestaande situatie aluminium en glas al gerecycled worden. Recycling van aluminium geeft een grote reductie (zo'n 60%) van de milieubelasting t.o.v. het gebruik van 'virgin' materiaal. Dit heeft grotendeels te maken met het zeer energie-intensieve proces om aluminium-metaal te winnen uit erts. Recycling van glas geeft geen grote reductie van de milieubelasting t.o.v. het gebruik van nieuw materiaal, omdat het glas voor recycling, net als virgin glas, tot een hoge (smelt)temperatuur moet worden verhit en de winning van de primaire grondstoffen relatief weinig milieubelastend is.

In het circulaire scenario verdubbelt de levensduur (helpt minder materiaal nodig) voor de componenten van de aluminium vliesgevel, maar wordt verder slechts 50% bespaard op de inzet van primaire materialen doordat het ontwerp niet geoptimaliseerd is voor de nieuwe toepassing. Hierdoor daalt de milieubelasting t.o.v. de inzet van nieuwe materialen voor de veronderstelde toepassing in kassen of serres met 25%. Ten opzichte van de milieu-impact van de oorspronkelijk ingezette aluminium vliesgevel treedt een besparing op van 2,5% (veronderstelling was: 10% vliesgevels bestemd voor hergebruik). Overigens wordt in deze gevallen verondersteld dat aan het einde van de levensduur zowel het glas als het aluminium sowieso wordt gerecycled.



Figuur 13 Milieubelasting van aluminium en glas in vliesgevels per kg vliesgevel.

3.6 Hout

In vergelijking met Scandinavische landen wordt hout in Nederland relatief beperkt toegepast als constructief bouw materiaal. Het hout dat wordt toegepast in bijvoorbeeld spanten, trappen of betimmering kent een grote diversiteit. Bij sloop wordt hout vaak gescheiden ingezameld en het wordt dan verbrand met energierugwinning. Deze vorm van energieopwekking uit biomassa draagt bij aan doelstellingen op het gebied van duurzame energie.

3.6.1 Circulaire scenario's

Er zijn twee circulaire scenario's opgesteld en geanalyseerd op het gebied van hout:

- Scenario 1: Recycling van hout i.p.v. verbranding met energierugwinning. In dit scenario wordt afvalhout (zoals kozijnen) verlijmd, en worden er nieuwe vergelijkbare producten van gemaakt.
- Scenario 2: Vervangen van betonnen constructie elementen door hout. De milieu-impact van dit scenario is berekend voor 10% vervanging van betonnen elementen door dragende constructies uit hout. Dat deze aanname niet onrealistisch hoeft te zijn blijkt uit een vergelijking van het gebruik van bouwmaterialen in Nederland met die in enkele andere landen, zoals Denemarken en Zweden. Daar is een percentage hout van 12% tegenover de huidige 4% in Nederland⁶.

⁶ Aanname is afkomstig uit: TNO-rapport TNO 2017 R10165: Ex-ante evaluatie van het Rijksbrede Programma Circulaire Economie, T. Bastein, E. Rietveld, E. Keijzer, 2017.

Een vervanging van 10% betonnen bouwdelen door houtdelen valt binnen deze grenzen. Verder is voor de berekening aangenomen dat de levensduur van hout gelijk is aan die van beton.

3.6.2 Milieu -impact van circulaire scenario's

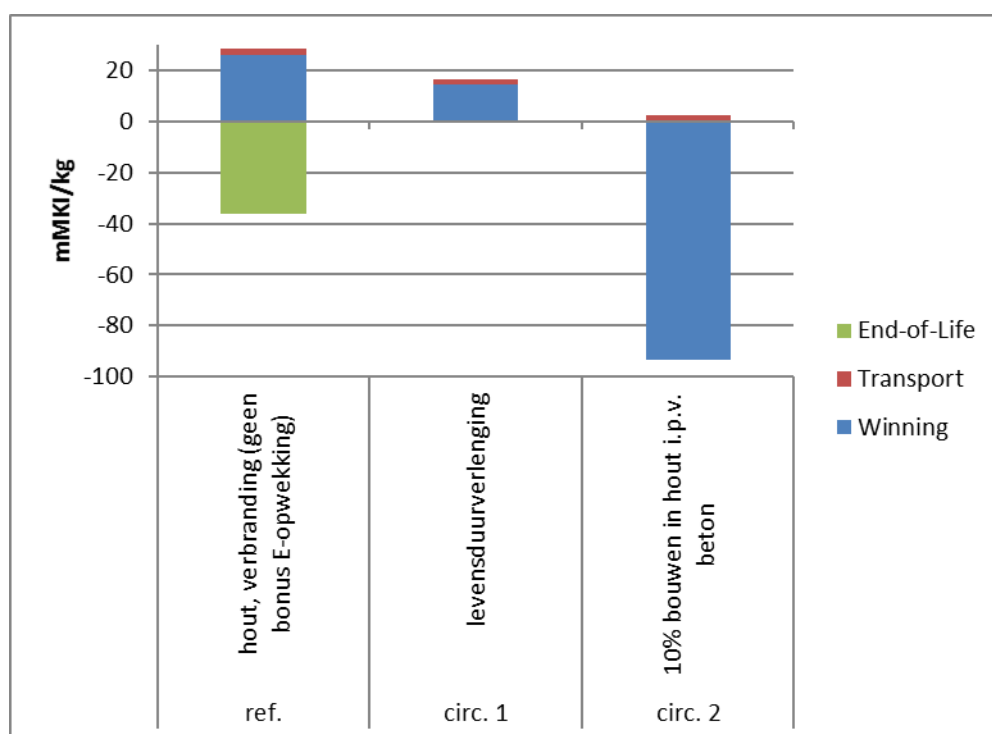
In Figuur 14 wordt de milieubelasting als gevolg van zowel de huidige praktijk van sloophout als de twee opgestelde scenario's weergegeven.

In de huidige, referentie-situatie wordt hout aan het einde van de levensduur verbrand waarbij energie wordt geproduceerd. Het vermeden gebruik van fossiele grondstoffen leidt tot een reductie van de milieubelasting ten opzichte van de milieubelasting als gevolg van de productie van hout.

Ook in de circulaire scenario's kan hout aan het einde van de levensduur worden omgezet in energie. Die 'bonus' is in Figuur 14 echter niet getoond.

In het eerste circulaire scenario krijgt hout als materiaal een tweede leven. De logistiek en het verwerkingsproces voor deze vorm van recycling dragen beperkt bij aan de milieubelasting van het houten product, waardoor als gevolg van een verdubbelde levensduur de milieubelasting bij benadering halveert.

In het tweede circulaire scenario vervangt hout constructieve betonnen elementen. De vermeden levenscyclus van beton is als milieubonus afgetrokken onder de kop 'winning van materialen'. Hout heeft (bij een gelijke levensduur) een veel lagere milieubelasting dan beton, waardoor dit scenario leidt tot een grote reductie van de milieubelasting.



Figuur 14 Vergelijking van de milieubelasting van hout over de hele levenscyclus per kg hout.

3.6.3 *Barrières voor toepassing van circulaire scenario's*

In gesprekken met betrokkenen uit de bouwsector, werden de volgende barrières geïdentificeerd m.b.t. bouwen in hout:

- Weinig ervaring: er zal nog veel tijd nodig zijn voordat de verschillende partijen (opdrachtgevers, architecten, aannemers) gewend raken aan het denken en werken in hout en daarmee ervaring opdoen. Hierbij is het ook van belang dat het wordt opgenomen in het curriculum van bouwopleidingen.
- De bouwregelgeving, die veel meer is ingericht op bouwen met beton, dient op onderdelen te worden aangepast voor bouwen in hout.

4 Totale milieu-impact van circulaire scenario's voor de gebouwde omgeving

4.1 Aanpak en uitgangspunten

De totale milieu-impact van circulair bouwen kan berekend worden op basis van de bouwopgave: hoeveel materialen er jaarlijks nodig zijn voor nieuwbouw en hoeveel bouw- en sloopafval er jaarlijks vrijkomt uit sloop en renovatie. Het volume nieuwbouwwoningen is geschat op basis van nieuwbouwgegevens uit de afgelopen decennia en de verwachtingen voor de komende jaren door het EIB (Koning & Schep, 2014). De verschillende scenario's die het EIB doorrekent, resulteren in een totaal aantal verwachte nieuwbouwwoningen tussen de 60.000 en 80.000 in 2020. Dit correspondeert ook met andere bronnen, die de verwachting uitspreken dat het nieuwbouwwolume terugkeert naar een pre-2008 niveau, oftewel 60.000 tot 100.000 nieuwbouwwoningen per jaar.

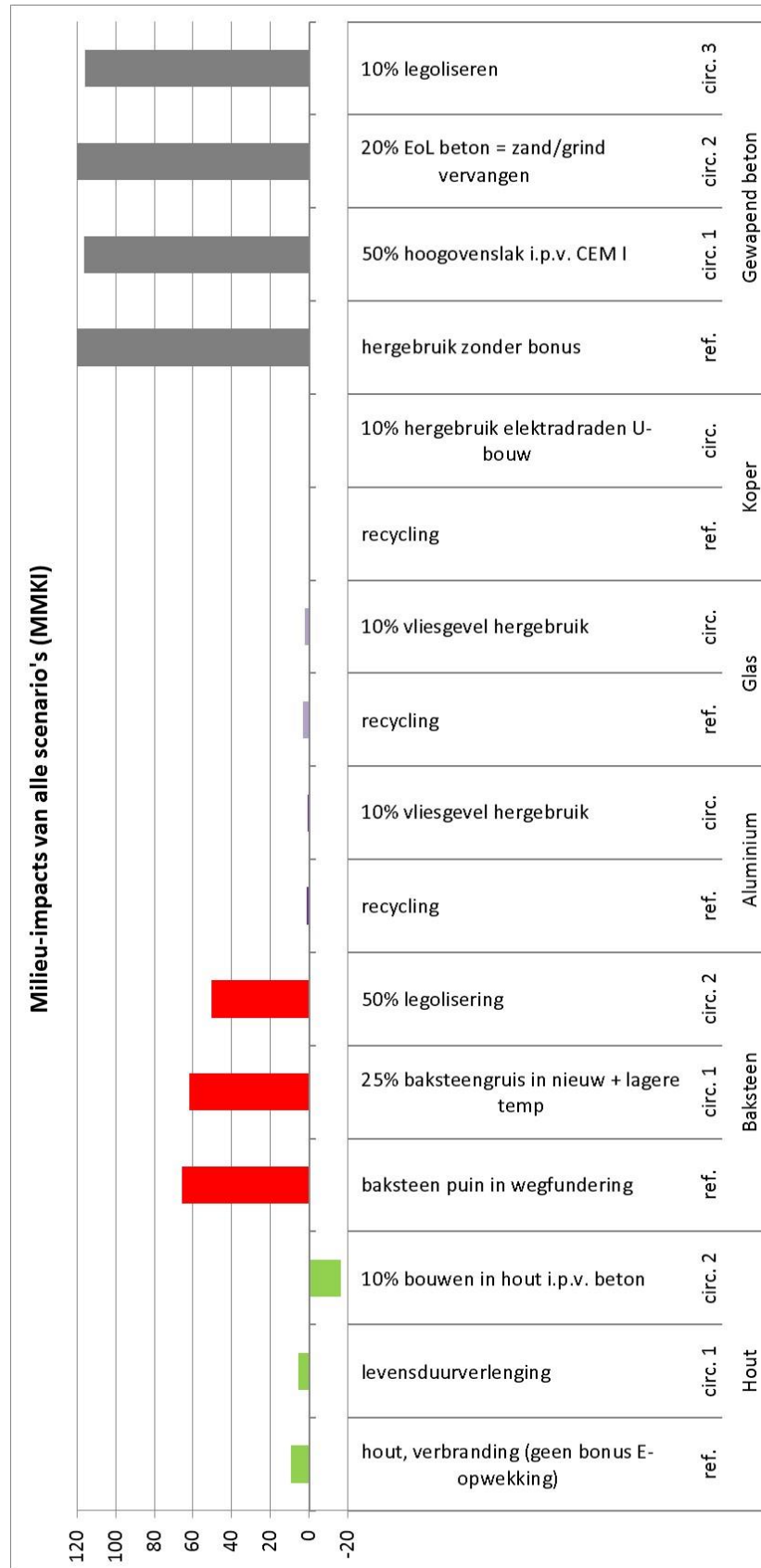
Het volume nieuwbouw voor utiliteitsgebouwen is afgeleid uit de Basis Administratie Gebouwen door voor verschillende gebruiksfuncties de veranderingen die tussen 2010 en 2014 optraden te bepalen. Deze veranderingen reflecteren het volume aan nieuwbouw. De benodigde materialen zijn afgeleid uit de gebouwprofielen voor de meest recente gebouwen in de bouwvoorraad, omdat deze het meest representatief zijn voor nieuwbouw.

De hoeveelheid Bouw en sloopafval (BSA) die jaarlijks geproduceerd wordt is relatief stabiel, maar de samenstelling ervan is niet bekend (Rijkswaterstaat, 2013). De voor deze studie benodigde hoeveelheid bouwafval uit gebouwen, opgesplitst naar materiaaltype is dan ook niet zomaar voor handen. Om het gebrek aan deze data te ondervangen is het volume recycling afgeleid van de nieuwbouwopgave. Tot slot is voor elk circulaire scenario een zekere penetratiegraad verondersteld. Deze penetratiegraad is bij de eerdere introductie van deze circulaire scenario's al toegelicht. De rationale van de inschatting varieert van technische gronden tot ruwe aannames op basis van de huidige marktsituatie. In de meeste gevallen is de milieu-impact van circulaire scenario's schaalbaar; dat betekent dat inzichten die aanleiding geven om hogere dan wel lagere penetratiegraad te veronderstellen eenvoudig kunnen worden gekwantificeerd.

4.2 Integraal overzicht van de milieu-impact van de circulaire scenario's

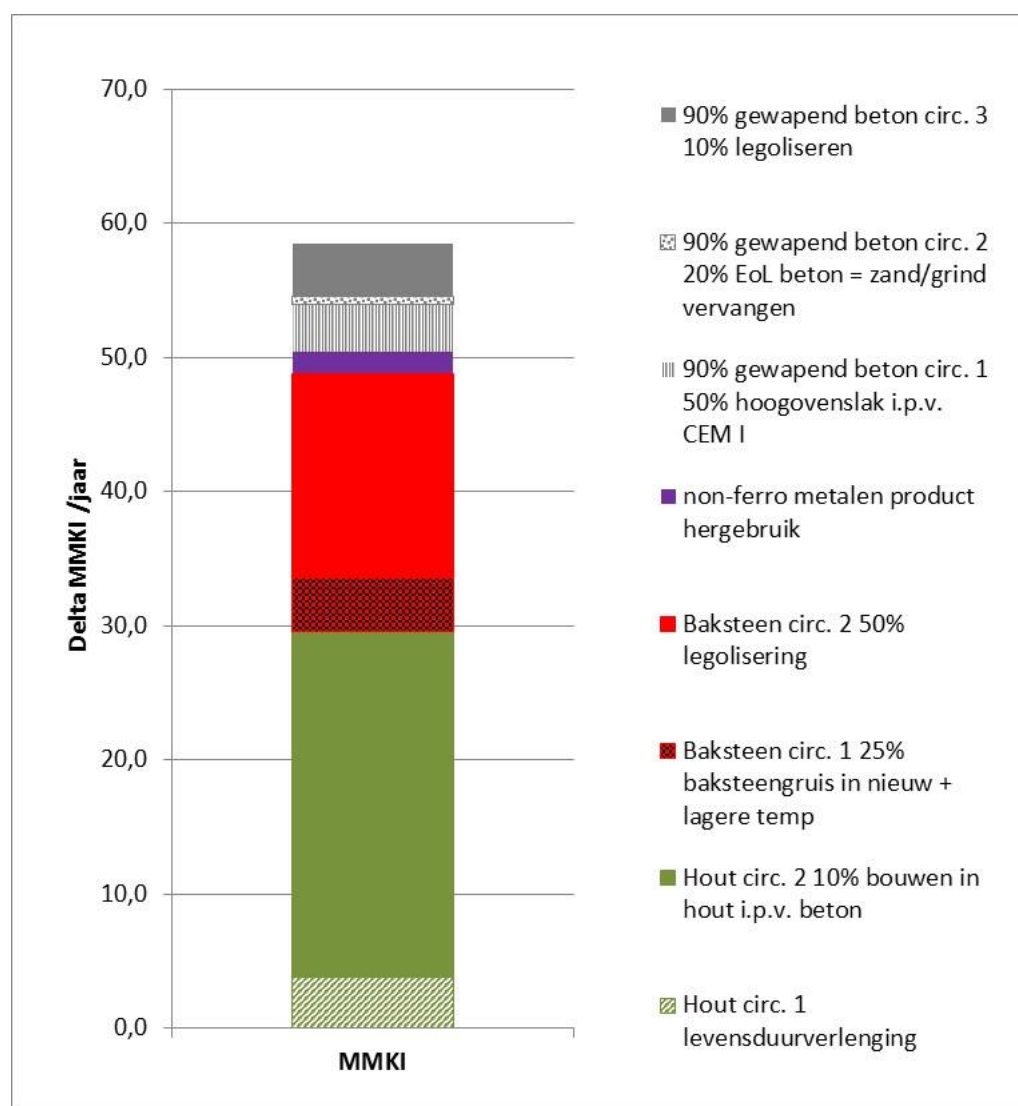
In deze paragraaf worden alle geanalyseerde scenario's naast elkaar gezet om een gewogen beeld te verkrijgen over de relatieve bijdrage van circulaire scenario's aan een verlaging van de milieubelasting van bouwmaterialen. Voor deze analyse zijn de gegevens nodig uit hoofdstuk 2 (totale volumes bouwmaterialen) en hoofdstuk 3 (impact van circulaire scenario's op milieu-impact van bouwmaterialen, per gewichtseenheid). Hierbij worden vanzelfsprekend de aannames voor de penetratiegraad van het scenario meegenomen. Voor bouwen in hout in plaats van beton is bijvoorbeeld aangenomen dat 10% van de betonnen elementen vervangen wordt door hout, terwijl voor bakstenen is aangenomen dat 50% van de nieuwbouw uitgevoerd wordt met herbruikbare bakstenen (legolisering).

De resultaten van deze analyse worden gegeven in Figuur 15. De milieu-impact voor beton is relevant, maar de onderzochte circulaire scenario's geven slechts een beperkte reductie in milieubelasting. Deze verschillen zijn kleiner dan veroorzaakt door de circulaire scenario's voor baksteen en hout. De scenario's voor de non-ferro metalen zijn beperkt tot relatief kleinschalige toepassingen zoals aluminium in vliesgevels en koper in elektriciteitsdraden. Door het geringe volume van deze producten in vergelijking met de andere bouwmaterialen is de bijdrage aan de vermindering van de milieubelasting van bouwmaterialen klein.



Figuur 15 Vergelijking van de milieupact van alle scenario's op basis van jaarlijkse materiaal behoefte voor nieuwbouw / verwerking van afvalmaterialen uit sloop en renovatie.

Een overzicht van de totale potentiële impact van de hier geschetste circulaire scenario's op de milieu-impact is gegeven in Figuur 16. Voor dit overzicht is eerst het verschil in milieubelasting bepaald van een circulaire scenario t.o.v. de voor dat materiaal opgestelde referentie. Omdat de scenario's zich vrijwel alle goed met elkaar laten combineren zijn vervolgens al deze verschillen bij elkaar opgeteld. Legoliseren van baksteen of beton kan bijvoorbeeld uitgevoerd worden met gerecycled materiaal. Voor het circulaire scenario van hout waarbij betonnen elementen worden vervangen door hout is aangenomen dat dit van toepassing is op 10% van de nieuwbouw. Om die reden is de milieu-impact voor alle betonsscenario's bepaald voor 90% van alle beton.



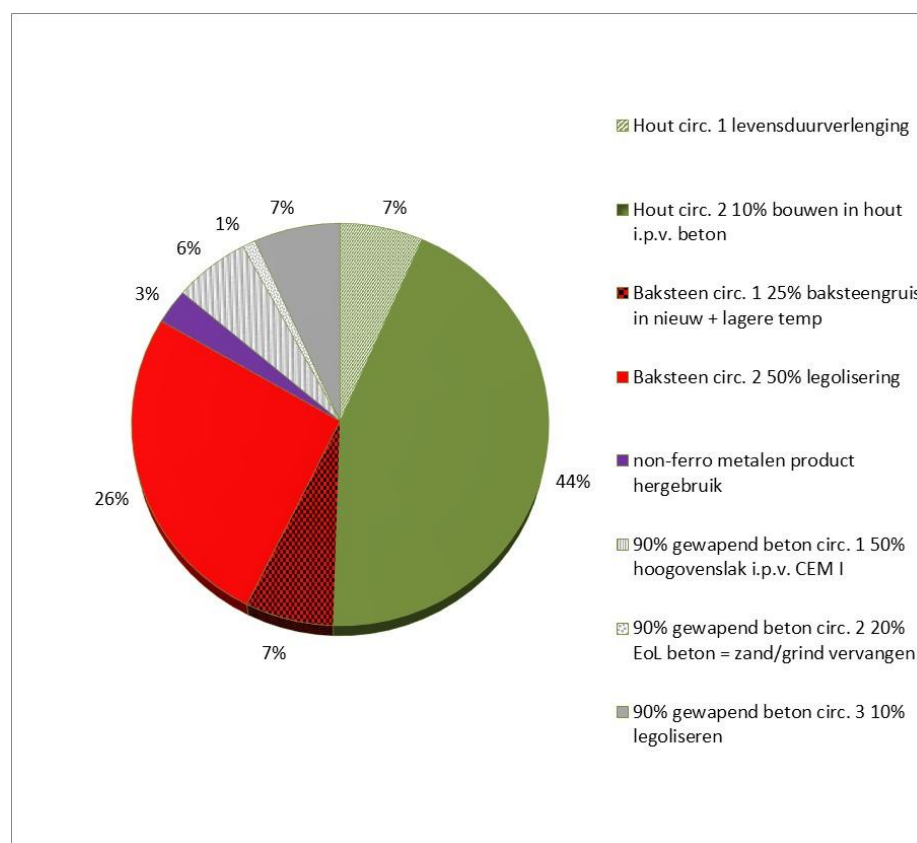
Figuur 16 Reductie van de milieubelasting door de gecombineerde circulaire scenario's voor de geselecteerde top 4 materiaal product combinaties.

De circulaire scenario's uit deze studie geven bij elkaar opgeteld een reductie van de milieubelasting van 59 Mega Milieukosten/ jaar.

Legalisering op andere binnenmuurelementen (diverse samenstelling van materialen) zou tot een additionele reductie van circa 6MMKI kunnen leiden bovenop de 59 MMKI uit Figuur 16. Deze reductie bedraagt bijna 10% vergeleken met de jaarlijkse milieu-impact voor alle bouwmaterialen bij elkaar. Ter vergelijking: de huidige recycling van bouw en sloopafval reduceert de milieubelasting van bouwmaterialen met ongeveer 40%.

Het is natuurlijk niet uitgesloten dat er meer circulaire scenario's op basis van innovatief materiaalhergebruik zijn op te stellen. De hier getoonde scenario's geven een eerste beeld en laten bovendien zien welke bouwelementen en -materialen potentieel het meeste kunnen bijdragen aan de reductie van de milieu-impact van de bouwsector.

Een andere manier om de bijdragen van de circulaire scenario's weer te geven is Figuur 17.



Figuur 17 Procentuele bijdrage van circulaire scenario's aan de totale reductie van milieu-impact.

De scenario's die de grootste reductie van de milieubelasting geven hebben betrekking op andere vormen van nieuwbouw: de grotere inzet van hout in plaats van beton (Hout, circ 2; bijdrage 44%) en de (50%) legalisering van bakstenen (bijdrage 26%).

De scenario's die weinig bijdragen aan reductie van de milieu-impact zijn:

- Hergebruik van metalen elementen en recycling van betonpuin in beton; recycling van metalen vindt nu al grootschalig plaats en maar een beperkt deel van de metalen producten leent zich voor hoogwaardiger hergebruik.
- Recycling van betonpuin als vulmiddel:
Voor recycling van betonpuin geldt dat verschil in transport de voornaamste oorzaak is van verschil in milieu-impact. Als er veel minder transport nodig is van beton(puin) in vergelijking tot transport van zand en grind, dan kan de milieu-impact wat lager zijn. Als zand en grind in de buurt voorradig zijn, en er meer transport nodig is voor de recycling van beton, dan heeft deze variant een hogere milieu-impact.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies en aanbevelingen op basis van de verkenning

5.1.1 *Prioritering van materialen voor een transitieagenda voor de bouw*

Het uitgangspunt van deze verkenning was om ten behoeve van een transitie naar een circulaire bouweconomie (en de daartoe op te stellen transitieagenda) een selectie te maken van die materialen en bouwelementen die de hoogste milieu-impact hebben en waarvoor verondersteld kan worden dat er een circulair potentieel aanwezig is om die milieu-impact te verlagen. Deze selectie zou vervolgens kunnen leiden tot het stellen van prioriteiten bij het opstellen van de transitieagenda.

Uit onze analyse blijkt dat de volgende bouwmaterialen de hoogste milieu-impact hebben:

- Met staal gewapende betonnen bouwelementen.
- Bakstenen en muurelementen waar ook kalkzandsteen in is verwerkt.
- Non-ferro-metalen koper en aluminium.

Naast een grote milieu-impact speelt ook het transitie-potentieel een rol in de uiteindelijke prioritering. Voor veel metalen (staal in bewapening, koper in leidingen) kan gesteld worden dat de marktomstandigheden en de beschikbare technologie zorgen voor een hoge graad van recycling. Ondanks de zeer belangrijke bijdrage aan de milieu-impact is de bijdrage van een programma gericht op meer hergebruik waarschijnlijk gering. In deze verkenning worden enkele goederenstromen (aluminium in vliesgevels en koper in elektriciteitsdraden) als illustratie meegenomen in de verdere analyse.

Gebaseerd op deze overwegingen lijken de volgende materialen relevant voor een transitieagenda voor de bouw:

- Gewapend beton
- Bakstenen
- Hout

De rol van hout is tweeledig: enerzijds kan verondersteld worden dat de huidige inzet van hout (inzet als biomassa bij energie-opwekking) eventueel hoogwaardiger kan worden, anderzijds kan hout een belangrijke rol spelen als substituuut voor materialen met een hogere milieu-impact (beton).

5.1.2 *Circulair potentieel van de geprioriteerde materialen*

In deze verkenning zijn voor de geprioriteerde materialen verschillende circulaire scenario's doorgerekend, waarbij aannames zijn gedaan voor de schaal en de mate waarin zo'n maatregel toegepast kan worden. De grootste potentiële bijdragen aan een vermindering van de milieu-impact zijn afkomstig van de inzet van hout i.p.v. beton en van de zogenaamde legolisering van bakstenen (d.w.z. de inzet van stapelbare systemen die het gebruik van mortel onnodig maakt en hergebruik na sloop eenvoudiger en hoogwaardiger kan maken).

Overigens is de set circulaire scenario's niet bedoeld om volledig te zijn, noch om een zo exact mogelijk beeld van de toekomst te schetsen.

De analyse van het circulair potentieel laat zien dat het mogelijk is om op systematische wijze de bijdrage aan milieu-impact-reductie van circulaire innovaties te kwantificeren.

Hiervoor is inzicht nodig in de totale hoeveelheid materialen betrokken bij de transitie, in de milieu-impact van betrokken materialen en de eventuele consequenties van vermeden gebruik.

De analyse laat daarmee zien dat het mogelijk is elke concrete innovatie die bij het opstellen van een transitieagenda in het kader van het Rijksbrede programma Circulaire Economie wordt gesuggereerd van een kwantitatief kader te voorzien.

5.1.3 *Wat is er nodig voor het welslagen van circulaire innovaties?*

Mede naar aanleiding van een aantal gesprekken met betrokkenen uit de waardeketen (projectontwikkeling, sloop en afvalverwerking, woningcorporatie, economisch onderzoeksbureau en een onderwijsinstelling; zie Bijlage D) is een korte schets gegeven van de barrières die een rol kunnen spelen bij de implementatie van de geschetste circulaire scenario's. Op hoofdlijnen komen deze barrières neer op:

- De typisch lange levensduur van gebouwen en de impact die dat heeft op de rentabiliteit van investeringen in (innovatieve) materialen en constructieprincipes; daarbij komt nog de veranderende behoefte in de tijd waardoor de zekerheid van de waarde van te recupereren materialen onzeker is.
- Conflicterende belangen: de complexe verhoudingen in de bouwwereld leidt in veel gevallen tot conflicterende belangen: Voordelen van investeringen vallen niet altijd bij diegenen die investeringen hebben gedaan, investeren in legaliseren helpt alleen de eigenaar van de materialen en niet perse de producent ervan, etc. ; de kracht van gezamenlijke akkoorden staat of valt echter wel bij die eenduidigheid.
- Opdrachtgevers zijn vaak niet bereid de meerkosten van innovatieve materialen en processen te vergoeden. Dit aspect wordt versterkt door de afwezigheid van een markt- of regelgevingsprikkel om de huidige manier van werken te veranderen (bijvoorbeeld door een stevige bonus op minder CO₂-emissie of integrale milieu-impact te zetten).
- Ervaring met nieuwe processen ontbreekt en daarmee moeten nieuwe materialen en processen opboksen tegen gebruikelijke methodes die hun waarde (ook in termen van lange-termijn betrouwbaarheid) bewezen hebben, passen bij bestaande regelgeving en ingebed zijn in opleiding en de skills van medewerkers. De (economische) voordelen van verschillende innovaties zijn nog niet groot genoeg: verandering moet hele grote voordelen met zich meebrengen wil iemand de eerste stap zetten.

De perceptie is dat de kosten voor de genoemde circulaire scenario's hoger zijn dan voor traditioneel bouwen. De doelgroep zit daarom met name in het hogere segment. Er bestaan vanzelfsprekend voorbeelden van circulaire economie in de huidige bouwpraktijk (zoals recycling van metalen, renovatie voor levensduurverlenging etc.) met een positieve business case maar dergelijke voorbeelden worden in interviews niet genoemd of herkend als circulair.

Uit deze elementen ontstaat een beeld van barrières voor transitie zoals weergegeven in Figuur 18. Deze barrières lijken algemeen geformuleerd.

Dat deze barrières toch zijn gesuggereerd en bevestigd door gesprekspartners in gesprekken omtrent de in deze verkenning naar voren gebrachte innovaties laat zien dat barrières in de bouwsector een algemeen beeld geven en niet per innovatie variëren. Voor het opstellen van transitieagenda's betekent dit dat deze verzameling barrières voor elke gesuggereerde activiteit gebruikt kan worden als toetssteen.

		Consument / eindgebruiker	Opdrachtgever	Bouwketen	Derden, overheid, adviseurs, kennis
Bedrijven en samenwer- king	Samen- werking		Conflicterende belangen	Onduidelijke definities	
	Kennis & kunde			Gebrek aan kennis en kunde	
Instituties	Wet & regel- geving				Weinig controle Hoogwaardig recyclen bemoeilijkt door eisen en garanties
	Cultuur			Partijen houden vast aan traditionele manier van werken	
Markt	Markt structuur		Onvoldoende investeringsruimte	Integratie aannemer en toeleverancier	
	Markt vraag	Gebrek aan vraag/ urgentie	Vershil tussen hoog- en laagwaardige recycling niet van belang	Moeilijk rondkrijgen business cases	
	Markt imper- fecties		Split incentive over de levensduur van een gebouw		

Figuur 18 Barrières voor de implementatie van circulaire scenario's in de bouw.

5.2 Suggesties voor transitieagenda's en verder onderzoek

5.2.1 *Er is behoefte aan een verbetering en vervolgens consolidatie van de waarderingsgrondslag t.b.v. circulair economisch perspectief*

Circulaire economie is een breed begrip en er zijn geen duidelijke definities voor bijvoorbeeld laagwaardige of hoogwaardige recycling. Hoe zou je bijvoorbeeld om moeten gaan met multi-cycli: meerdere malen hergebruik of recycling? Hoe waardeer je de inzet van secundaire grondstoffen? In deze analyse is aangenomen dat de materiaalbehoefte en dus ook de milieubelasting halveert indien de levensduur verdubbelt.

Die afwezigheid van eenduidige rekenregels maakt het lastig om de verschillende circulaire maatregelen te vergelijken en te waarderen. In deze studie zijn verschillende aannames gedaan om de impact van circulaire scenario's op milieubelasting te waarderen, bijvoorbeeld t.a.v. de impact van levensduurverlenging. Het kader om dit te beoordelen dient doorontwikkeld te worden en vervolgens geconsolideerd te worden zodat de verschillende partijen dezelfde systematiek hanteren. Overigens is deze ontwikkeling in 2016 in gang gezet door RWS onder de vlag Multi-cycli LCA, ofwel MLCA.

In deze verkenning is gebruik gemaakt van MKI als indicator. Het is mogelijk andere of additionele grondslagen te gebruiken, zoals meer specifiek CO₂-equivalent-emissies, een zeer relevant aspect dat nu onderdeel is van de MKI-analyse. De impact op CO₂-emissies zou in het kader van het Rijksbrede Programma Circulaire Economie een parameter kunnen zijn die goed in te passen is in een breder beleidskader. De keuze om daarbij in te zoomen op lokale emissies of emissies in de productie-keten is een beleidskeuze.

5.2.2 *Verbreed deze verkenning ook naar vermindering van bouwvolume*

De keuze in deze verkenning is gebaseerd op de impact van de inzet van enkele nieuwe materialen en bouwprocessen en intensiever hergebruik van secundaire materialen. Dit beslaat slechts een gering deel van het circulair economisch gedachtegoed. Levensduurverlenging en hergebruik worden kort aangestipt, maar het voorkomen van bouwen (bijvoorbeeld als gevolg van het Nieuwe Werken) of het kleiner bouwen, het intensiever onderhouden van (elementen van) gebouwen hebben alle ontegenzeggelijk een grote impact op bouwvolume, impact en economie. Een evenwichtige analyse hiervan heeft baat bij eenduidige rekenregels (zie hierboven), en kan zo leiden tot een breder perspectief van een op te zetten transitieagenda.

5.2.3 *Zet in op integrale toetsing van milieu- of emissie-impact van circulaire maatregelen*

Deze verkenning analyseert de milieu-impact van de (productie van) bouwmaterialen en van een aantal circulaire scenario's daarop. Bij het bepalen van die impact dient niet uit het oog te worden verloren dat de integrale milieu-impact van een gebouw gedurende zijn levensduur voornamelijk wordt veroorzaakt door de energie-input voor verwarming en overige faciliteiten. Het dient vanzelfsprekend niet zo te zijn dat inzet van materialen of processen met een lagere milieu-footprint leidt tot een hogere integrale footprint over de levensduur van een gebouw. Bij vervolganalyses is het aan te bevelen om te toetsen of circulaire scenario's een netto-positieve bijdrage leveren en geen negatief resultaat geven op bijvoorbeeld isolatie-waarde van een gebouw. Hiertoe dienen ook eenduidige waarderingsgrondslagen en rekenregels te worden vastgesteld.

5.2.4 *Verbreed de scope naar infrastructuur*

In deze verkenning is ingezoomd op woning- en utiliteitsbouw. De scope van vervolganalyses zou uitgebreid moeten worden naar infrastructuur omdat hierin ook een significante hoeveelheid primaire, maar vooral ook secundaire bouwmaterialen wordt toegepast. Verandering van technologie in de infrastructuur-sector heeft daarmee een grote impact op (bijvoorbeeld) hergebruik van sloopmateriaal uit de woning- en utiliteitsbouw.

5.2.5 *Breid deze aanpak uit naar economische consequenties van circulaire maatregelen*

Deze studie gaat in op de impact van bepaalde circulaire scenario's op de milieu-impact. In de toekomst zou ook gekeken moeten worden naar de economische haalbaarheid. Uit interviews met betrokkenen uit de sector kwam naar voren dat innovaties in het algemeen geen brede applicaties vinden indien het tot duurdere materialen, processen of projecten leidt. Een kosten-baten-analyse van elke innovatie geeft een helder beeld van te verwachten barrières bij introductie. Bij voldoende groot milieu-potentieel en te klein economisch marktpotentieel kan gesproken worden van marktfalen, waardoor overheidsingrijpen gerechtvaardigd wordt.

Op macro-economisch niveau kent bovendien elke verandering (economische) winnaars en verliezers. Hergebruik van materialen heeft consequenties voor leveranciers en producenten van 'virgin'-materialen. Herbestemming heeft consequenties voor projectontwikkelaars. Aangezien de bouwsector voornamelijk op nationale schaal is georganiseerd zijn die 'verliezers' ook in beeld (anders dan bijvoorbeeld bij consequenties van circulair economische initiatieven in de high-tech-sector). Bewustzijn van deze consequenties voorkomt onverwachte tegenstand.

5.2.6 *Zet BIM-ontwikkelingen actief in voor analyse van impact en economische consequenties*

In deze studie is gebruik gemaakt van een database waarin op hoofdlijnen is vastgesteld wat de samenstelling is van gebouwen van zekere leeftijd en toepassing. De afgelopen jaren heeft een sterke ontwikkeling van het gebruik van BIM (BouwInformatieModellen) laten zien, waardoor het aanzienlijk eenvoudiger is geworden de exacte samenstelling van gebouwen vast te stellen. Hiermee komt het vaak genoemde grondstoffenpaspoort binnen handbereik. Bovendien kan in zo'n systeem de invloed van verbindingstechnologieën op de demontage en het hergebruik inzichtelijk gemaakt worden en wat daarvan de consequenties zijn op de waarde en milieubelasting. Dit schetst bijvoorbeeld voor investeerders een beter beeld.

Bovendien kunnen BIM modellen gebruikt worden om de aanpassingen aan een gebouw door de tijd heen te volgen. Dat is van belang om het inzicht te bewaren welke producten en bouwelementen er aanwezig zijn, ook voor toekomstige eigenaren die besluiten moeten nemen in geval van renovatie of sloop.

De ontwikkeling en inzet van BIM om de impact van circulaire scenario's op milieu-impact en economische ontwikkeling te volgen zou gestimuleerd kunnen worden, en een belangrijk kader kunnen vormen voor robuuste transitieagenda's.

5.2.7 *Zet een continue technologie-radar op voor de bouwsector*

De methode gevolgd in deze verkenning laat zien dat het mogelijk is de milieu-impact van enkele circulaire scenario's van een kwantitatief kader te voorzien.

De set maatregelen was niet beoogd volledig te zijn, en ook niet om de meest optimale verzameling maatregelen te zijn. De methode laat echter zien waar grote bijdragen te verwachten zijn, van maatregelen waar de barrières (bijvoorbeeld m.b.t. het Technology Readiness Level TRL) zitten. Het verdient aanbeveling deze exercitie niet eenmalig te laten zijn, maar een gedragen technologie-radar bij te houden waarbij potentieel en ontwikkelingsstadium van innovaties op eenduidige wijze wordt vastgesteld. Deze vorm van innovatie-funnel-management kan bijdragen aan een transparante roadmap en bijpassende onderzoeks- en actie-agenda.

Verwijzingen

- AgentschapNL. (2011). *Voorbeeldwoningen 2011, bestaande bouw. Publicatie-nr. 2KPWB1034*. Sittard: AgentschapNL.
- Bastein, T., Rietveld, E., Keijzer, E. (2017) *Ex-ante evaluatie van het Rijksbrede Programma Circulaire Economie*. TNO-rapport. TNO 2017 R10165
- Bijleveld, M., Bergsma, G., & Lieshout, M. v. (2013). *Milieu-impact van betongebruik in de Nederlandse bouw. Status quo en toetsing van verbeteropties*. Delft: CE Delft.
- Eekelen, J. v., Pouwer, V., & Jacobs, P. (2008). *Hoogwaardig energetisch woningverbeteringsconcept. Afstudeerproject binnen het project R.I.G.O.R.E.U.S*. Tilburg: Avans Hogeschool Tilburg.
- Koning, M., & Schep, E. (2014). *De bouw in 2020. 4 kwantitatieve scenario's*. Amsterdam: EIB.
- Otter, H. d. (2007). *Woningvoorraadgegevens 2006*. Delft: ABF Research.
- Stichting Bouwkwiteit. (2014). *Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken, versie 2.0*. Rijswijk: Stichting Bouwkwiteit.
- Thijssen, C. (1999). *Bouwconstructieve analyse van naoorlogse eensgezinshuizen in de non-profit huursector 1946-1980*. Delft: Delft University Press.
- Woonhulp gebruiksfuncties*. (2008-2009). Opgeroepen op 09 20, 2016, van [omgevingsvergunning.com: http://www.ekbouwadvies.nl/bouwbesluit/gebruiksfunctie/gebruiksfuncties.asp](http://www.ekbouwadvies.nl/bouwbesluit/gebruiksfunctie/gebruiksfuncties.asp)
- Yu, V. (2017 (in progress)). *Construction & Demolition Waste of Utility Buildings Material and waste management studies on the project and regional level*. Utrecht & Göteborg: TNO & Chalmers.

6 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever
Ministerie van BZK
T.a.v. de heer van Rooijen
Postbus 20011
2500 EA Den Haag

Naam en functies van de medewerkers
Drs. G.G.C. Mulder
Drs. E.E. Keijzer
H. Bonte
Dr. A.G.T.M. Bastein

Periode waarin het onderzoek plaatsvond
Oktober 2016 – Maart 2017

Naam en paraaf tweede lezer



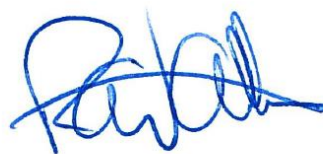
Jacco Verstraeten-Jochemsen MSc

Ondertekening



Drs. S.E. de Vos-Effting
Auteur

Autorisatie vrijgave



Ir. R.A.W. Albers MPA
Research manager

Bijlage A: Wegingsfactoren voor de Milieukostenindicator

De milieu-effecten in deze studie zijn berekend op basis van de SBK bepalingsmethode (Stichting bouwkwaliteit, 2014). De milieu-effecten zijn gewogen tot één waarde; de Milieukostenindicator, ofwel MKI. Onderstaande tabel geeft de weegfactoren weer.

Tabel 2 Impactcategorieën, afkortingen en eenheden zoals voorgeschreven door de SBK Bepalingsmethode.

Impactcategorie	Afkorting	Eenheid	Weegfactor (MKI/kg equivalent)
Uitputting van abiotische grondstoffen, excl. fossiele energiedragers	ADP-elementen	kg antimoon	0,16
Uitputting van fossiele energiedragers	ADP-brandstof	MJ ⁷	7,70 x 10 ⁻⁵
Klimaatverandering	GWP-100j	kg CO ₂	0,05
Ozonlaagaantasting	ODP	kg CFC 11	30
Fotochemische oxidantvorming	POCP	kg etheen	2
Verzuring	EP	kg SO ₂	4
Vermesting	AP	kg (PO ₄) ₃ -	9
Humaan-toxicologische effecten	HTP	kg 1,4 dichloorbenzeen	0,09
Ecotoxicologische effecten, aquatisch (zoetwater)	FAETP	kg 1,4 dichloorbenzeen	0,03
Ecotoxicologische effecten, aquatisch (zeewater)	MAETP	kg 1,4 dichloorbenzeen	0,0001
Ecotoxicologische effecten, terrestrisch	TETP	kg 1,4 dichloorbenzeen	0,06

⁷ Conform de SBK Bepalingsmethode is gebruik gemaakt van de omrekenfactor 4,81E-4 kg antimoon/MJ.

Bijlage B: Beschrijving van het vraag-aanbod model voor bouwmaterialen

The construction sector has proven its potential for the use of secondary resources to meet material demands. For example, a substantial part of all gypsum used is flue gas gypsum from coal production, a secondary product from the coal power plants. Road Foundation is made with concrete granulate and most asphalt is recycled. Despite all these examples that fit in the concept of circular economy, there is no information available of the future need of building materials and the availability of secondary resources to meet the building material demand. TNO has formulated the ambition to produce a model that can be used to:

- Forecast building material demand and forecast supply of secondary resources;
- Show if there are discrepancies between the availability (resources supply) and material demand in time, region and in quality.

The model is intended to be useful for improved planning (to overcome discrepancies in time) and to optimise logistics (distances, transport modes, possibilities for temporary storage and/or local processing). Furthermore, the model is intended to support decision and policy making, by calculating variations in costs and environmental impact of different scenarios. To overcome discrepancies in quality, different processing routes or techniques may be required. The model has to support the comparison of different processing routes on costs and environmental impact, as such a comparative analysis will reveal which circular economy option will have the best (societal) business case.

In 2016, the version 1.0 of the model ("proof of concept") is developed. This model can be used to forecast future building material demand and future supply of secondary resources that have the potential to meet the demand. This first version is developed with knowledge investment funds and served the purpose to test if the aims of the concept could be achieved and to learn what is needed to complete this model, and what further investments are needed to achieve this. The first results of model runs were validated and applied in three case studies. Two of these case studies were external projects, commissioned by authorities.

The model v1.0 can be used to calculate volumes and the environmental impact of the materials in the building stock. As it makes use of the BAG (*Basis Administratie Gebouwen*), it is known in which postal code the material stock is located. EIB scenarios on the forecast of new built residential buildings and utility buildings are applied to calculate annual volumes of building material demands needed. By applying data on demolition and renovation, the model can calculate what type and how many secondary resources are generated. By combining the outcomes on building material demand and material stock in to be demolished buildings, the model can be used to analyse to what extent the material demand can be fulfilled with the available resources. In addition, the model is used to calculate and compare the environmental impact of different circular economy routes such as extensions of the functional lifetime by reuse of building components or alternative techniques for recycling.

The model v1.0 is not a complete model yet, and there are many options for improvements to increase the value of the model for further applications.

In the recommendation chapter, a long list is given for model improvement on the data, the impact calculations or the visualisation of the results. Preferably the continued model development will be executed in cooperation with decision makers that would like to use the model to support their decision making, such as authorities, asset managers, logistic companies, contractors, material producers and recyclers. Their needs will prioritize further model development activities.

Database model design

The model has been built as a relational database in Microsoft Excel and Access files. An overview of the individual modules and the main links between the modules is shown in Figure 1. This model links various datasets and typologies, including datasets describing the current building stock (BAG), custom build building profiles, material typologies (e.g. environmental data) and forecasted construction demand based on literature (not shown in this figure).

The relational database then allows for the modelling of variations in the building stock (also described as urban mine), such as the autonomous production of construction and demolition waste, variable production of construction and demolition waste and matching of supply and demand of construction materials. We will describe these elements in further detail below.

When looking at the model figures (Figure 1 and the subsequent figures), it should be noted that they do not show all subsets and linkages for clarity reasons. The following elements are not shown:

- A pre-processing module for the BAG data (a separate database which connects and reformats tables)
- Calculations made on roads and other paved areas
- Life time and cyclic renovation (replacements) of materials
- Calculations on the production of waste from renovation activities
- Scenarios for demolition and demolition techniques
- Calculations on the production of waste from demolition activities
- Conversion of primary materials in buildings into secondary materials in waste streams (e.g. "brick" become "red waste fraction")
- Scenarios for future material demand
- Input/output routines and other linking tables

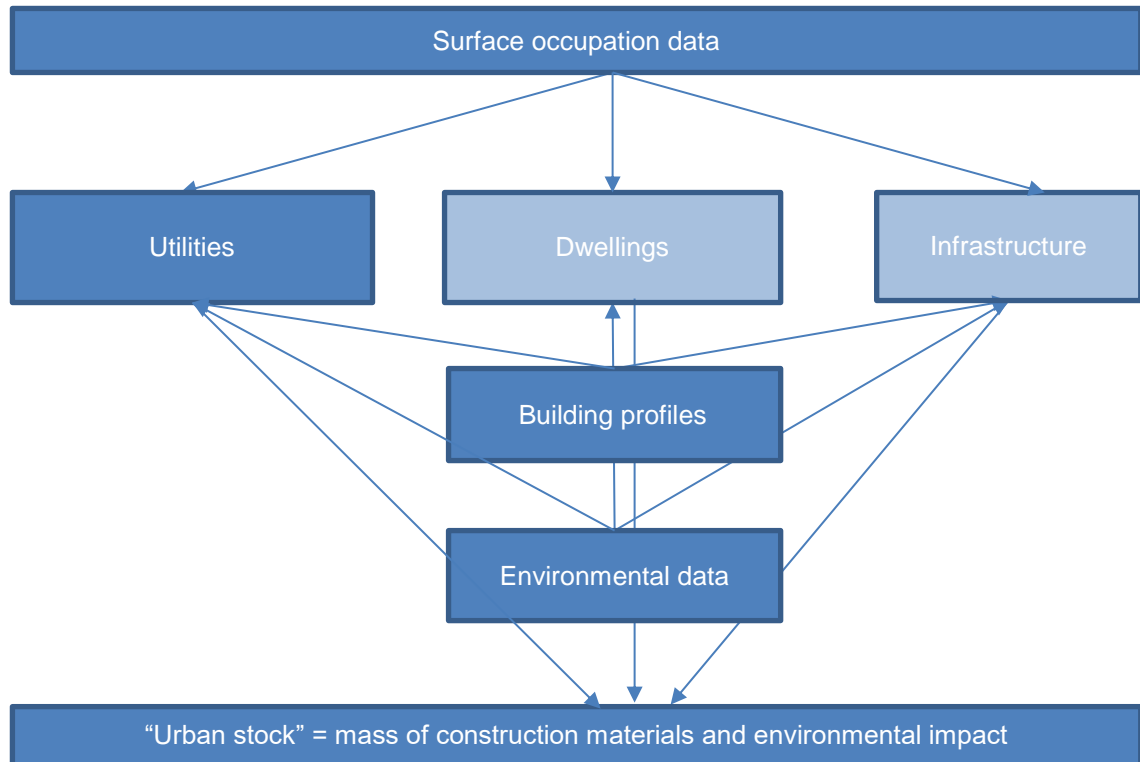


Figure 1 Schematic overview of the model (version 1.0, December 2016), with separate modules in which datasets, definitions, user input, output and linking tables are integrated.

The model works with vast lists of definitions, ordered in a hierarchical structure. First of all, every construction work is assigned to a certain construction category. This category is either a construction period (for dwellings), a utility function (for utilities) or a road type (for infrastructure). On the next level, each construction work is divided into components: building components or road layers. On the lowest level of detail, each component is split up into separate materials. For example: a dwelling from the construction period (1: *construction category*) “modern buildings 1992-now” contains roofs (2: *building component*) which are composed of timber, OSB and concrete (3: *building materials*). The construction categories and building components are further explained for each module in the next paragraphs.

Building profiles

Dwellings

The position of dwellings in the model is shown schematically in Figure 2. The dataset of the dwellings is derived from the BAG, and after some technical filters, loaded into the Microsoft Access model. The dataset contains a distinction between single-family and multi-family dwellings. For both dwelling types, building profiles have been developed in this project, covering seven different construction periods (shown in Table 1), based on the overview report of Eekelen, Pouwer & Jacobs (2008), which was largely based on the dissertation by Thijssen (1999). The BAG dataset also distinguishes between property type of the dwellings (privately owned or social rent), but this was not included in the model v1.0. It could be valuable to add this information to the model, because private ownership is less often demolished, contrarily to rented dwellings.

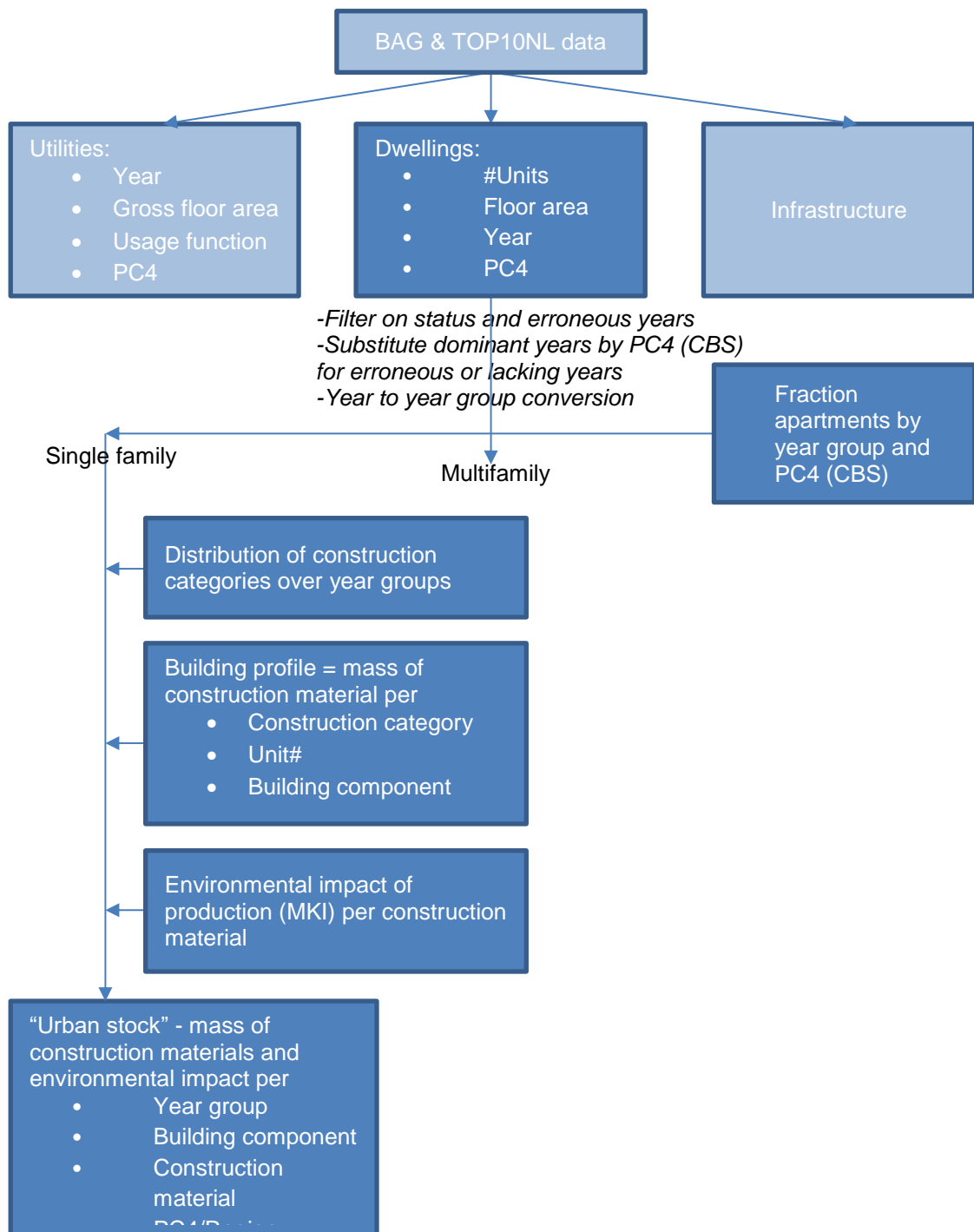


Figure 2 Schematic overview of the dwelling module in the model.

The building profiles for each construction category are developed based on “example dwellings” dimensions from the governmental institution AgentschapNL (now called RVO) (AgentschapNL, 2011).

The composition of the buildings, based on components and materials, is based on main elements derived from Eekelen, Pouwer & Jacobs and complemented with expert judgements from TNO colleagues from the department of the *Innovation Centre for Built Environment (ICB; mainly Rogier Donkervoort)* and *Structural Dynamics (mainly Chris Geurts)*. Included building components are shown in Table 2. If necessary, the building profiles were complemented with general data, for example on the division between ceramic and concrete roof tiles. Sometimes general data had to be interpreted to derive model dimensions, for example when the example dwellings from AgentschapNL were said to have a certain surface, but the length and width had to be interpreted by the researchers in this project.

Table 1 Construction categories for dwellings in the model.

Construction category (Dutch)	Construction period	Number of dwellings according to literature
Traditionele kleine elementenbouw (tot 1930)	1900-1930	38000
Traditionele kleine elementenbouw (na 1930)	1930-1960	38000
Traditionele grote elementenbouw (tot 1970)	1930-1970	750000
Stapelbouw (KZS)	1970-now	750000
Houtskeletbouw	1945-1970	42000
Gietbouw	1965-now	353000
Prefab	1992-now	353000

Table 2 Building components in the model, included in building profiles for either dwellings and/or utilities.

Building component	Dwellings	Utilities
Foundation	X	X
Ground floor	X	X
Ground floor insulation	X	X
Story floor	X	X
Outer wall	X	
Wall insulation	X	
Load bearing wall		X
Façade		X
Inner wall	X	X
Coverage of walls and ceilings	X	X
Ceiling		X
Roof	X	X
Roof insulation	X	X
Window	X	X
Window frame	X	X
Door	X	X
Rainwater drainage	X	X
Piping	X	X
Bathroom interior	*	X
Installations	*	X
Other	X	X

*Not added in this stage, but relevant to be added when the model development is continued.

Although the level of detail seems to be quite high, it is important to keep in mind that all dwellings were meant to be reflecting only average dwellings. Moreover, this project was too short to include all possible variations, which means that often a representative average building composition is used, thereby overestimating the mainstream materials and underestimating the exceptions. This could be further elaborated in follow-up studies.

Another limitation to these dwelling profiles, is that they are all based on either terrace houses (for the single-family dwellings⁸) or apartments (for multi-family dwellings) without further variation. From the AgentschapNL report, many different dwelling type characteristics are known, but these were not incorporated in this stage of the model. The results show thus a very simplified version of the total building stock, with potential for extension on many levels.

Utility buildings

Before the utility building profiles were used in the case study of Amsterdam (see the paragraph in the full report), they were developed and tested in an internship project. The objective of this subtask was to model utility building material stock with a bottom up approach at the project level, then extrapolate the results for a few specific Dutch urban scenarios, along with environmental and economic impacts of different waste management practices in order to provide valid insights for better CDW management for the chosen cities. It was broken down into more detailed steps as follows:

- Develop material profiles for ten different types of utility buildings in the Dutch context (to add to version 0.2 of the model) through a mixed methodology of site visit, area based calculation and classification of different building components and material streams.
- Develop quantitative environmental impact and cost saving profiles for the current practice scenario and an ideal future scenario for each of the selected key materials.
- Model five Dutch cities' urban utility building stock by upscaling the developed building profiles according to the national BAG data on built areas.
- Gain insights in the area of:
 - Urban typology of the five cities based on their utility type and distribution.
 - Priority CDW material selection for better management on the urban level, testing three selection mechanisms: mass, environmental impact and potential economic benefits.
 - How the variation of utility building profiles influence the relative weight of the city.
- Propose further research and validation to improve the accuracy and relevance of the profiles and this quantitative methodology to better inform CDW management.

⁸ This might seem very simplistic, but the impact of this simplification on the total building stock is rather limited. For terrace houses, it was presumed that all consist of one outer wall on the front, one on the back and one on the side of the house. This means that this profile represents both terrace houses and the so-called "two-below-one-roof"-dwellings and "corner"-dwellings. Moreover, since the outer walls represent only around 25% of the total stock of a building, adding one more outer wall (in case of stand-alone dwellings with outer walls on both sides of the house) would lead to an addition of less than 10% tot the total material stock.

The schematic overview of the utility building module is shown in Figure 3. As for dwellings, the dataset which was received from the BAG, was processed before it is used in the model. The building profiles were developed for nine utility types as registered by the BAG. The building profiles were based on general construction data from various sources, complemented with expert advices from the ICB colleagues (mainly Peter Kuindersma). The included building components are shown in Table 2. The full acknowledgement of all utility building profiles can be found in the report of Yu (2017 (in progress)).

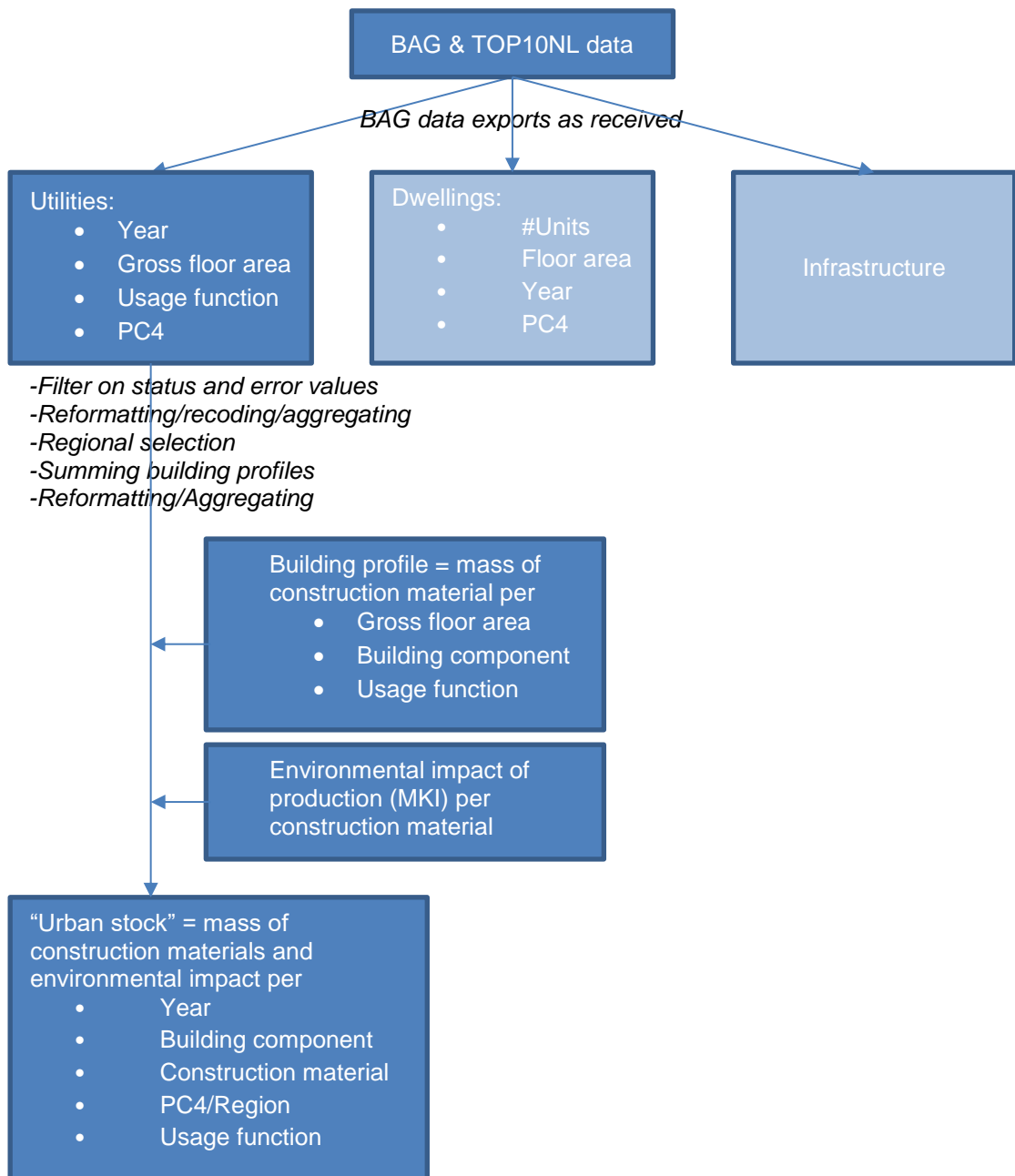


Figure 3 Schematic overview of the utility building module in the model.

Although the BAG contains 9 utility functions, some of them required a combination of several variants, e.g. education was based on a profile for primary school and typical university buildings. In total, 14 distinct utility building material profiles were developed (shown in Table 3), based on specific dimensions and assumed to be approximately the average scenario. However, the dimensions can be adapted and the model can recalculate the total volume and mass of each material of each building component, as well as the mass per square meter of any building.

Table 3 Overview of the utility building profiles that were developed. Definition of the BAG utility functions are explained at the Woonhelp website (Woonhelp gebruiksfuncties, 2008-2009).

BAG utility function	Utility building profile
Office	High rise (>6 floors), medium rise (3-6 floors) & low rise (<3 floors)
Industry	Only stock houses, as used for the Amsterdam case. Too diverse to develop an average in this stage
Health	Hospital
Education	Primary school, high school and university buildings
Shopping	Shopping mall & typical city centre shop (like dwelling)
Lodging	Hotel
Sport	Gym, swimming pool & stadium
Meeting	Auditorium or theatre
Others	Combination of all profiles

Environmental impacts

Rough environmental data was added to the model in order to show the potential of this data and to illustrate how it can be used. For this illustration, generic environmental impacts were calculated by means of the standard environmental software SimaPro v8.2, by making use of the international database ecoinvent v3 and by evaluation the impacts by means of the Dutch MKI-method which contains a mix of eleven environmental impact categories (Stichting Bouwkwiteit, 2014). Only environmental impacts of production processes (“cradle-to-gate”) were included, ignoring the end of life impacts.

Output

The model can relatively easily produce building stock information, because building profiles and area occupation data can be coupled directly and thereby producing a stock overview. Waste production information requires a few more conversion steps, amongst others by means of demolition scenarios (e.g. “demolish 10% of all dwellings in 2019”) or by attribution of lifetimes to building components (e.g. “windows have a life time of 40 years”). Demolition scenarios can be based on historical datasets, but these are not always complete and require close investigation before use⁹.

⁹ There are several complications when using historical datasets for demolition. First of all, it is the question what is included in the dataset: only full demolitions, or also “stripping” of buildings until there is only a structure left and rebuilding all the content? Another question is, whether demolish-

Replacement scenarios can also be developed, for example to replace all single-glazed windows by double glazed in year x . Although this is technically possible, it has not been integrated in the model yet. At this point (version 1.0), it requires many steps to undertake this ostensibly easy addition.

The output of the model is calculated by means of queries, which derive all the material stock or produced waste for one of the model's modules. The output is exported to Microsoft Excel, where the results can be further processed.

A special matching module was developed in the logistic module of the model, which focused on logistic optimization. This is described in the next paragraphs.

and-rebuild projects are included in demolition data, since the site remains occupied after the demolition event.

Bijlage C: Overzicht van circulaire opties per bouw materiaal/element combinatie

Deze bijlage is het resultaat van een brainstorm door TNO en is gebaseerd op inschattingen. Er heeft geen verificatie of nadere onderbouwing plaats gevonden – dat is een stap die desgewenst in een vervolg kan worden opgepakt. De groene scenario's zijn de scenario's waarvoor een berekening is gemaakt wat daarvan de impact is op milieubelasting. Deze scenario's zijn geselecteerd omdat ze naar verwachting kunnen bijdragen aan milieubelasting omdat de penetratiegraad (technisch) significant kan worden.

Levensduurverlenging van het hele gebouw

	Gangbare praktijk	Meer circulaire economie/ kansen verminderen milieubelasting	CE : Niche of toepassing op grote schaal / nu of toekomst
Levensduur verlenging gebouw	Er wordt weinig gesloopt; gebruiker past zich aan (verhuist) of gebouwen wordt aangepast. Alleen wanneer gebouw niet meer functioneel te maken is door eisen aan locatie, brandveiligheid, maatvoering, dan wordt er gesloopt	Nieuwbouw: Ontwerpen voor langer levensduur door verplaatsbaarheid of aanpasbaarheid naar andere functie	Kan technisch. Blijft vaak een niche; toekomst laat zich niet voorspellen dus niet alle voorinvestering voor demontabel/hergebruik lonen

Beton: Wapeningsstaal, cement, zand en grind

	Gangbare praktijk	Meer circulaire economie/ kansen verminderen milieubelasting	CE : Niche of toepassing op grote schaal / nu of toekomst
Materiaal recycling bij nieuwbouw	Wapeningsstaal productie: 70% secundair, 30% primair (MRPI blad wapeningsstaal)	Staal vervangen door (biobased) alternatieve vezels (olifantsgras, lisdodde).	Blijft vermoedelijk een niche door behoefte landgebruik/ benodigd volume aan wapening
	Beton binder: vliegas en hoogovenslak secundaire grondstoffen) ter vervanging van portlandcement.	Meer vervanging Portlandcement: meer alternatieve secundaire grondstoffen nodig (vitificatie AVI bodemas / geopolymeer route)	Potentie op grote schaal, afhankelijk van vervangingsmogelijkheden (aanbod secundaire grondstoffen als alternatief voor portlandcement / eigenschappen (sterkte, snelheid ...). Toekomst: alternatieven in <i>early TRL</i>

	Betongranulaat ter vervanging van zand en grind	Slim breken: betere benutting fijne fractie met ongebonden cement	Potentie op grote schaal, eerste mobiele brekers voor pilots beschikbaar
		Hogere percentages granulaat in (prefab) betonproducten	Potentie op grote schaal (5x meer beton nodig dan productie betongranulaat, dus 20% is voldoende om alle betongranulaat in beton te gebruiken – kan binnen huidige regelgeving
Circulair ontwerpen bij nieuwbouw	Geen gemeengoed; processen zijn niet geoptimaliseerd/ gericht op hergebruik van bestaande bouwelementen	Bij nieuwbouw aanbod van secundaire producten als uitgangspunt nemen (zoals al bij enkele zelfbouwers in Almere / Buiksloterham)	Beperkt. Digitale marktplaatsen/ meer bouwen in particulier opdrachtgeverschap (zoals in België) kunnen zorgen voor grotere schaal
	Ontwerp is niet gericht op demontage	Legalisering: Voorkomen verankering verdiepingsvloeren / al in hoge mate standaard maten	Lease of ander business model voor demontage/ hergebruik lastig door lange gebruiksduur. 10% markt aandeel?
	Ontwerp is beperkt gericht op minimaliseren materiaalgebruik voor functievervulling	Slanker ontwerpen (holle elementen, dunner). Producten zijn op de markt, worden beperkte toegepast, zijn doorgaans duurder (mede door kleine schaal toepassing)	MPG is driver? Potentie op grote schaal. Nodig: optimaliseren productiemethodes
	Betonbouw	Bouwen in hout in plaats van beton (biobased); houtbouw heeft in vergelijking met betonbouw (bij gelijke levensduur) lagere milieubelasting	Beperkte acceptatie trillingen/ geluidsoverdracht etc. bij toepassing hut in dragende constructie. 10% van de markt?
Demontage & hergebruik van bouwelement	Beperkt tot enkele pilots.	Vooraf verdiepingsvloeren hebben potentie voor demontage en hergebruik (meer dan fundering en begane grond vloer). Nodig: rekenregels voor de prestatie van het bestaande element onder invloed van de tijd	Niche: hoge arbeidskosten voor demontage (slopen is het omgekeerde bouwen, dus 60% kosten arbeid en 40% in materiaal)

		(veroudering, betonrot etc.) Vinden van een toepassing die past bij de prestatie (bijvoorbeeld toepassing op een kleinere overspanning)	
Materiaal recycling	Beton wordt gebroken, wapeningstaal gerecycled, betonpunt hergebruikt als wegfundering of als zand/ grind vervanger in beton.	Slim breken: betere benutting fijne fractie met ongebonden cement	Zie materiaalrecycling bij nieuwbouw
		Hogere percentages granulaat in (prefab) betonproducten	

Metalen in leidingen en vliesgevels

	Gangbare praktijk	Meer circulaire economie/ kansen verminderen milieubelasting	CE : Niche of toepassing op grote schaal / nu of toekomst
Materiaal recycling bij nieuwbouw	Aluminium profielen in vliesgevels: gehalte recycalaat volgens wereldmix aluminium		
	Metalen in leidingen: gehalte recycalaat volgens wereldmix metaal (in nieuwbouw wordt kunststof toegepast in plaats van het metaal dat vroeger werd gebruikt)		
Circulair ontwerpen bij nieuwbouw	Vliesgevels: geen circulair ontwerp	Standaard maten ten behoeve van hergebruik	Grote potentie, kan technisch nu (zie ook demontage& hergebruik)
	Leidingen: In utiliteitsbouw zijn leidingen toegankelijker en aanpasbaar bij verandering functie. In woningen veel minder.	Leidingen in woningen toegankelijk maken	Niche: noodzaak tot aanpasbaarheid in woningen is kleiner
Levensduur verlenging gebouw	Levensduurverlenging vaak beperkt tot dragende constructie: gevels en leidingen worden vervangen om te voldoen aan nieuwe functionele eisen	Nieuwe toepassing zoeken voor leidingen en vliesgevels (elektrakabels doormeten, doorverkopen, vliesgevels als toepassing in serres/ kassen)	Potentie voor alle vliesgevels. Toepassing voorlopig beperkt. Digitale marktplaatsen/ meer bouwen in particulier opdrachtgeverschap (zoals in België) kunnen
Demontage & hergebruik van bouwelement			

			zorgen voor grotere schaal
Materiaal recycling	Metalen worden gerecycled		

Baksteen

	Gangbare praktijk	Meer circulaire economie/ kansen verminderen milieubelasting	CE : Niche of toepassing op grote schaal
Materiaal recycling bij nieuwbouw	[-] Er is meer dan genoeg klei beschikbaar om nieuwe keramische producten van te maken	10%-20% gemalen baksteen bijmengen. Hoeveelheid die bijgemengd kan worden hangt mee af van eigenschappen klei (vetheid). Minder energieverbruik oven? Stone cycling	Potentie op grote schaal; oplossen afvalprobleem rode fractie BSA (scheiding: 2 R recycling).
		Geopolymeer route: aluminium en silicaten uit baksteen oplossen en laten binden (vormvrijheid)	Toekomst: early TRL
	Oude vormstenen schoonbikken en opnieuw toepassen (beperkt tot enkele monumentale panden)	Kringbouw techniek: mortel en baksteen thermisch scheiden.	Afhankelijk van kwaliteit baksteen. 10% van alle renovatie/sloop?
Circulair ontwerpen bij nieuwbouw	[-] mortel en spouwverankering maken scheiding en hergebruik van de elementen lastig	Legolisering: elementen die gestapeld kunnen worden / geen mortel nodig hebben	Verdienmodel lastig door lange levensduur woningen (>80 jaar) technischh: kan nu/ op grote schaal)
		Schakelbare lijm	Toekomst: <i>early TRL</i> schakelbare lijm
	Ontwerp is beperkt gericht op minimaliseren materiaalgebruik voor functievervulling	Slanker ontwerpen (holle elementen, dunner). Producten zijn op de markt, worden beperkte toegepast, zijn doorgaans duurder (mede door kleine schaal toepassing)	MPG is driver? Potentie op grote schaal. Nodig: optimaliseren productiemethodes
Levensduur verlenging gebouw	Levensduurverlenging vaak beperkt tot dragende constructie: gevel wordt vervangen om te voldoen aan nieuwe functionele	In nieuwbouw rekening houden met hergebruik elementen / aanpasbaarheid gevel	Zie legolosering/ demontage en hergebruik

	eisen / gevel kan niet eenvoudig worden verwijderd voor hergebruik door verankering		
Demontage & hergebruik van bouwelement	[-] mortel en spouwverankering maken scheiding en hergebruik van de elementen lastig	Lease van (baksteen) gevels is lastig ivm financierbaarheid vastgoed: waarde wordt bepaald door maatvoering buitengevel. Als deze te verwijderen is, dan heeft vastgoed geen waarde meer	Aanpassing nodig van regels vastgoedwaarde. Grote potentie - thermische scheiding mortel/ baksteen/ andere (baksteen) gevelconcpeten)
		Thermische scheiding baksteen/ mortel; andere toepassing van baksteen (bijvoorbeeld in stoepjes)	Niche. Regels nodig hoe eigenschappen baksteen bepaalt kunnen worden (veroudering, breuk etc.) Andre toepassing stelt andere eisen
Materiaal recycling	Baksteen wordt in BSA samen met betonpuut afgevoerd. Voor toepassing betonpuin is gehalte baksteen beperkt; sommige verwerkers scheiden baksteen uit SA op kleur voor betere toepassing betonpuut. Geen goede afzet voor baksteenfractie. Vaak vervuild.	Afzetkanaal nodig voor baksteen puin: Bijmengen of geopolymeer route	Zie materiaalrecycling bij nieuwbouw

Hout

	Gangbare praktijk	Meer circulaire economie/ kansen verminderen milieubelasting	CE : Niche of toepassing op grote schaal
Materiaal recycling bij nieuwbouw	Hout toepassing in woningen is zeer divers; in alle toepassingen wordt voornamelijk nieuw hout gebruikt		
Circulair ontwerpen bij nieuwbouw	[-] Hout wordt verankerd / geschilderd. Terug in e biocyclus is geen optie	Standaardisatie in maatvoering van elementen die potentieel herbruikbaar zijn	Meetmethodes nodig om eigenschappen (oud) hout vast te stellen en daar een bijpassen nieuwe gebruiksfunctie bij te vinden
Levensduur verlenging gebouw		Hout kan een voordeel hebben t.a.v. betonnen constructie – mits levensduur gegarandeerd / optimaal voor beoogde functie	
Demontage & hergebruik van bouwelement		Gebruikte houten producten in nieuwbouw/ renovatie inzetten	Niche: gebeurd nu incidenteel (deuren scheidingswand sporthal Repurpose) +maar kosten vaak hoger dan nieuw hout gebruiken.
Materiaal recycling	Hout wordt gescheiden in A, B en C klasse. Meeste gebruikt hout vind afzet in energie terugwinning	Materiaalhergebruik. Bijvoorbeeld gebruikt hout sorteren en verlijmen tot blokken voor kozijnproductie	Meer voor de lange termijn: diverse houtsoorten/ producten scheiden tot meer uniforme hoeveelheden op schaal (schaalgrootte nodig voor hoogwaardig hergebruik/ recycling en goede cascadering (verstevigen, verzagen, vervezelen voor lignine, eiwitten etc.

Bijlage D: lijst van geïnterviewde partijen en interviewprotocol

Nr.	Categorie	Type Bedrijf
1.	Opdrachtgever	Woningcorporatie
2.	Gerennommeerd bedrijf (innovatief)	Sloper/amoveerder
3.	Gerennommeerd bedrijf	Traditionele projectontwikkelaar.
4.	Branche deskundige	Onderwijsinstelling
5.	Branche deskundige	Onderzoeksinstelling/consultant

Interviewprotocol

Vraag 1: Kunt u in het kort vertellen wat uw rol en de rol van uw organisatie is in de transitie naar een circulaire bouw?

Op basis van ons onderzoek zijn in de ontwerpfase drie maatregelen geïdentificeerd die een relevante reductie van de milieubelasting zouden opleveren:

- Legalisering van betonnen elementen en bakstenen: demontabel en herbruikbaar
- Bouwen in hout in plaats van in beton
- Vergroten aanpasbaarheid van een gebouw: functiewijziging / levensloopbestendigheid

Vraag 2a: Met welke van deze drie maatregelen heeft u ervaring?

Vraag 2b: Welke kansen en belemmeringen ziet u voor de opschaling van deze innovaties?

Vraag 2c: Hoe gaan bouwbedrijven nu om met deze kansen en belemmeringen?

Vraag 2d: Wat hebben bouwbedrijven nodig om de belemmeringen te overwinnen?

Op basis van ons onderzoek zijn in de sloopfase drie maatregelen geïdentificeerd die een relevante reductie van de milieubelasting zouden opleveren:

- Scheiden van verschillende soorten hout: hoogwaardig hergebruik
- Hergebruik van (metalen) productelementen
- Herbestemming in plaats van sloop

Vraag 3a: Met welke van deze drie maatregelen heeft u ervaring?

Vraag 3b: Welke kansen en belemmeringen ziet u voor de opschaling van deze innovaties

Vraag 3c: Hoe gaan bouwbedrijven nu om met deze kansen en belemmeringen?

Vraag 3d: Wat hebben bouwbedrijven nodig om de belemmeringen te overwinnen?

Vraag 4: Met welke initiatieven bent u bekend die een substantiële bijdrage leveren aan een circulaire bouw?

Veel bedrijven uit de betonsector en drie ministeries werken aan het betonakkoord. Een dergelijk akkoord smeedt nieuwe samenwerkingsverbanden, bundelt kennis en krachten en is in staat drempels weg te nemen¹⁰.

Vraag 5a: Ben u bekend met dit initiatief?

Vraag 5b: Welke verwachtingen heeft u van dit initiatief?

Vraag 5c: Verwacht u dat een dergelijk initiatief voor andere materiaalstromen een belangrijke bijdrage kan leveren aan de totstandkoming van een circulaire bouw

¹⁰ De vragen 5a t/m 5c zijn gericht op het Betonakkoord. De onderhandelingen over het Betonakkoord zijn nog gaande. De reacties van de respondenten waren met name op dit proces gericht. Dit valt buiten de scope van dit onderzoek.