CIRCULAIR BOUWEN IN PERSPECTIEF

Maart 2018

TNO innovation for life

Sanne van Leeuwen
Peter Kuindersma
Norman Egter van Wissekerke
Ton Bastein
Suzanne de Vos
Rogier Donkervoort
Elisabesth Keijzer
Jacco Verstraeten

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.

© 2018 TNO

INHOUDSOPGAVE

1	**Inleiding**	**5**
2	**Circulaire economie in de bouw**	**6**
2.1	Bevolkings- en welvaarttoename leiden tot grote druk op hulpbronnen en milieu	7
2.2	Wat is een Circulaire Economie?	8
2.3	Waarom circulaire economie specifiek voor de bouw?	10
2.4	Welke circulaire stappen kan de Bouwsector zetten?	11
2.5	De winst van circulaire economie voor de bouw	15
3	**De milieubelasting van bouwmaterialen en bouwelementen**	**17**
3.1	Materialen in de Nederlandse gebouwenvoorraad als startpunt	18
3.2	De specifieke kosten van bouwmaterialen	19
3.3	De specifieke milieu-impact van bouwmaterialen	19
3.4	Totale milieubelasting van bouwmaterialen en -componenten	20
3.5	Toekomstige bouwopgaaf	22
3.6	Circulaire gebiedsontwikkeling – de casus Haven-Stad in Amsterdam	24
3.7	ICT en data als ‘enabling technology’ voor Circulaire economie	28
4	**Circulair materiaalgebruik**	**29**
4.1	Betonnen bouwelementen	30
4.2	Circulair houtgebruik kozijnen	31
4.3	Bakstenen	34

INLEIDING



1 INLEIDING

De vraag naar grondstoffen voor de bouwopgaaf, de grote hoeveelheid (sloop)afval uit de bouw en de impact van de bouwsector op broeikasgasemissies vragen om een efficiënte en duurzame manier omgang met bouwmaterialen. Het Rijksbrede programma circulaire economie was voor TNO aanleiding om in deze publicatie te laten zien hoe wij aankijken tegen circulaire economie in de bouw en welke stappen gezet kunnen worden om door innovatie de milieu-impact van de bouw te verlagen.

Circulair bouwen vraagt om samenwerking tussen overheden, assetmanagers, bouwbedrijven, architecten, logistieke bedrijven, slopers recyclers of welke partij ook maar betrokken is in de keten, inclusief de kennisinstellingen. Elk van deze schakels in de keten heeft een handelingsperspectief met een verschillende scope. Daarom beschrijven we circulair bouwen in deze publicatie op verschillende abstractie niveaus.

In het eerste deel (hoofdstuk 2) beschrijven we waarom circulaire economie in de bouw een heel natuurlijk onderwerp is. Circulair bouwen kent een lange historie en er is veel ervaring (al noemden we het niet altijd circulair bouwen). Tegelijk zijn er ook de nodige uitdagingen om meer winst te behalen, zowel economisch als op het vlak van milieu-impacts. In het deel erna (hoofdstuk 3) kwantificeren we de milieu-impacts van de bouw. Het feitelijk onderbouwen van economische en milieu-impacts is belangrijk in onze aanpak, zowel beleidsondersteunend als ook in de begeleiding van innovatieprocessen. In dit deel laten we voorbeelden zien hoe we gemeenten met ambities op het gebied van circulaire economie ondersteunen met regionaal inzicht in vraag en aanbod van bouwmaterialen. Deze aanpak past ook bij assetmanagers die aan de slag willen met circulaire economie. In het laatste deel (hoofdstuk 4) schetsen we onze aanpak voor circulair materiaal gebruik. Dat doen we aan de hand van drie materialen: beton, bakstenen en hout. Voor deze materiaalstromen vergelijken we de milieu-impact van verschillende innovatierichtingen. We hopen dat dit laatste hoofdstuk u inspireert om met ons te gaan innoveren voor een meer circulaire economie.

CIRCULAIRE ECONOMIE IN DE BOUW





2 CIRCULAIRE ECONOMIE IN DE BOUW

2.1 BEVOLKINGS- EN WELVAARTTOENAME LEIDEN TOT GROTE DRUK OP HULPBRONNEN EN MILIEU

Gedurende de 20e eeuw is de groeiende wereldbevolking een factor 34 keer meer materialen gaan gebruiken, 27 keer meer mineralen, 12 keer meer fossiele brandstoffen en 3,6 maal meer biomassa.[1] Het niveau waarop de mensheid natuurlijke hulpbronnen zoals water, energie, grondstoffen en vruchtbaar land consumeert stijgt nog steeds in rap tempo. Als gevolg daarvan is er sprake van toenemende druk op beschikbaarheid van grondstoffen en stijgen prijzen van brandstoffen, grondstoffen en mineralen. Daarnaast wordt ons milieu belast, nemen bosarealen en visvoorraden af en sterven dier- en plantensoorten uit. De bouwsector heeft in alle fases van het bouwproces van productie tot sloop invloed op genoemde hulpbronnen.

De belangrijkste 'motoren' van deze stijgende consumptie zijn een stijging van de wereldbevolking en een tegelijk toenemende welvaart in grote delen van de wereld. Verwachting is dat dit doorzet.De wereldbevolking passeert de 9 miljard in 2050 en zal in 2100 tot 10,1 miljard gestegen zijn[2]. De verwachting is dat de mondiale economische groei hoog zal blijven (3,6%) met een verwachte groei van zelfs 6,3% in opkomende niet-westerse economieën.[3] Als gevolg hiervan neemt de vraag naar natuurlijke hulpbronnen in komende decennia verder toe.[4] Een verdrievoudiging van het mondiale materiaalgebruik rond 2050 is een reële verwachting.[5] Naaste de schaarste aan hulpbronnen speelt tevens de schaarste aan land en dan met name in de sterk verstedelijkte gebieden een cruciale rol.

Dat economische groei gepaard gaat met extra inzet van natuurlijke hulpbronnen spreekt vanzelf. Dit effect wordt nog versterkt door toenemende verstedelijking en veranderende consumptiepatronen. Dit leidt tot inzet van grondstoffen voor de opbouw van stedelijke infrastructuur zoals waterleidingen, rioleringssystemen, wegen- en huizenbouw, toenemende behoefte aan transportstromen van en naar de stad en concentratie van vervuiling en afvalstromen. De groei van de middenklasse verandert consumptiepatronen en de vraag naar luxeartikelen en andere voedingsproducten neemt toe.[6] De productie van deze goederen vraagt de inzet van veel natuurlijke hulpbronnen.[7]

De groeiende wereldbevolking en welvaartsstijging zijn een gegeven. Om binnen dat gegeven de grenzen van onze mogelijkheden niet te overschrijden, zal 'gewone' toename van de efficiëntie waarop we met hulpbronnen omgaan niet toereikend zijn. We moeten streven naar manieren die leiden tot meer welvaart voor meer mensen met een lagere milieudruk: de zogenaamde absolute ontkoppeling.

Onze uitdaging is om een transitie te maken naar een samenleving en een economisch systeem die op significante wijze bijdraagt aan deze absolute ontkoppeling. In die transitie staat de beweging naar een meer Circulaire Economie centraal.

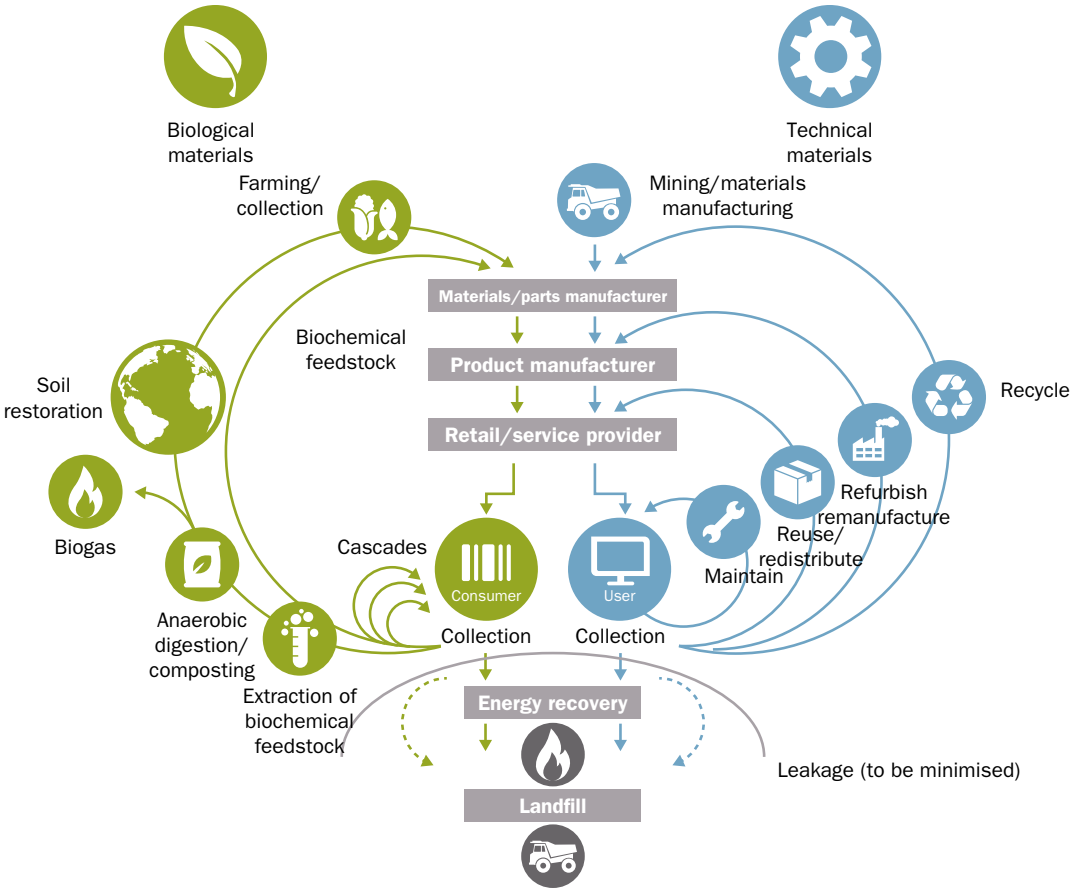
1 *http://www.unep.org/resourcepanel/decoupling/files/pdf/Decoupling_Report_English.pdf*
2 *UN Population Fund, "Population Trends", n.d., http://www.unfpa.org/pds/trends.htm.*
3 *World Bank, "Global Economic Prospects 2011", June 2011, http://siteresources.worldbank.org/INTGEP/Resources/335315-1307471336123/7983902-1307479336019/Full-Report.pdf.*
4 *European Commission, Commission Staff Working Paper - Key Facts and Figures on the External Dimension of the EU Energy Policy (Brussels: European Commission, September 7, 2011), 2, http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SEC:2011:1022:FIN:EN:PDF.*
5 *http://www.unep.org/resourcepanel/decoupling/files/pdf/Decoupling_Report_English.pdf*
6 *Lester R. Brown, "The New Geopolitics of Food," Foreign Policy, no. May/June (2011), http://www.foreignpolicy.com/articles/2011/04/25/the_new_geopolitics_of_food?page=full.*
7 *World Wide Fund, One Planet Business: Creating Value Within Planetary Limits (World Wide Fund, 2007), http://assets.wwf.org.uk/downloads/one_planet_business_first_report.pdf.*

2.2 WAT IS EEN CIRCULAIRE ECONOMIE?

De Nederlandse overheid heeft de ambitie uitgesproken om in 2050 circulair te zijn en heeft hiertoe in januari 2017 met een groot aantal maatschappelijke partijen een grondstoffenakkoord gesloten.
De geïdealiseerde circulaire economie is een economisch en industrieel systeem dat de herbruikbaarheid van producten en grondstoffen en het herstellend vermogen van natuurlijke hulpbronnen als uitgangpunt neemt, waarde vernietiging in het totale systeem minimaliseert en waarde creatie in iedere schakel van het systeem nastreeft.[8] De circulaire economie is daarmee een inspirerend raamwerk voor het werken aan integrale duurzaamheid: of volgens de definitie van de Brundtland-commissie: Duurzame ontwikkeling is een ontwikkeling die voldoet aan de behoeften van het heden zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen.

Doelen zijn het tegengaan van de uitputting van natuurlijke hulpbronnen en van de uitstoot van broeikas-gassen, het uitfaseren van afval tegen de achtergrond van een volledige overgang naar hernieuwbare en duurzame energievoorziening.

De Ellen MacArthur Foundation presenteert in 'Towards a Circular Economy' een inspirerend beeld van een circulaire economie. Dit is schematisch weergegeven in figuur 3.



Figuur 1: *De circulaire economie (uit: Towards a Circular Economy van de Ellen MacArthur Foundation)*

Het rapport maakt een onderscheid tussen biologische- en technische nutriënten (geïllustreerd in de linker- en de rechterkant van figuur 1). Deze beide soorten nutriënten vinden op karakteristieke wijze hun weg naar de circulaire economie. De producten gemaakt van technische nutriënten zouden in het ideale geval vanaf de oorsprong ontworpen moeten zijn voor een zo geavanceerd mogelijke vorm van hergebruik. In een circulaire economie zijn biologische nutriënten in ieder geval niet-toxisch; ze kunnen aan de 'bio-sfeer' worden teruggegeven bij voorkeur in een cascade van toepassingen waarbij steeds een zo hoog mogelijke waarde aan deze nutriënten wordt onttrokken.

8 *(vrij naar) Towards a circular economy van de Ellen MacArthur Foundation*

Onderstaand een korte toelichting op de schematische representatie van de circulaire economie.
Aan de kant van de technische nutriënten zijn de volgende stappen ('feedback loops') te onderscheiden:

- Onderhoud en reparatie ('maintenance'); de eerste stappen in een circulaire economie houdt producten op een zo hoog mogelijke waarde langer in omloop.
- Hergebruik van goederen ('re-use/re-distribute'), leidt over het algemeen tot gering verlies van functionaliteit en waarde van het product.
- Opknappen/renoveren van producten ('refurbish/re-manufacture'): waarbij belangrijke componenten van producten gerepareerd of vervangen. Het resulterende product kent een geringere garantie dan het oorspronkelijke product. Tijdens 'remanufacturing' worden componenten uit gebruikte producten gehaald en in nieuwe producten ingezet; deze processen vinden plaats onder kwaliteitsbewaking en leveren producten van hoge waarde (en garantie) op.
- Recycling ('recycle'); materialen worden teruggewonnen uit producten om weer in een productieproces in te zetten. Terwijl de waarde van de grondstoffen behouden blijft gaat de toegevoegde waarde die in een product zit (in de vorm van energie, arbeid, inzet van kapitaalsgoederen) hierbij verloren.

De genoemde stappen in een circulaire economie zijn voor de bouwsector 'gesneden koek'. Elk van deze elementen is goed ontwikkeld en geeft aanwijsbare werkgelegenheid en specialisaties in de sector. In de volgende paragrafen nemen we deze stappen specifiek gericht op de bouwsector nader onder de loep.

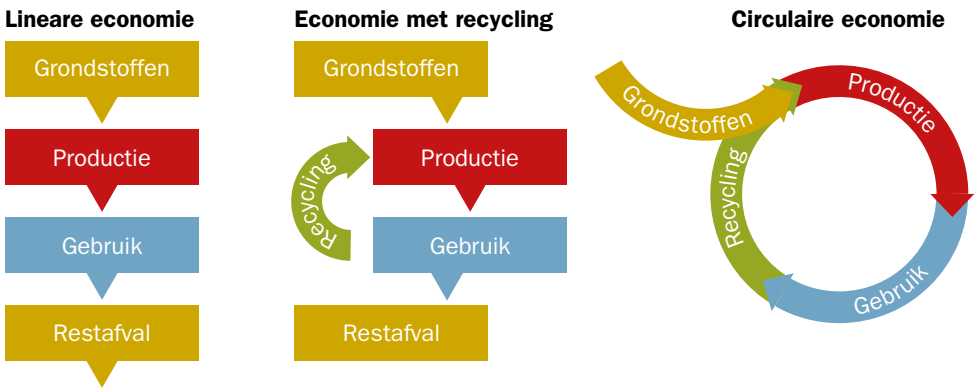
De doelstellingen van een circulaire economie wordt alleen bewerkstelligd als vanaf de ontwerpfase van producten en systemen het voorkomen (dan wel benutten) van reststromen, van afwenteling op mens en milieu en van afval, centraal staat. Producten, goederen en diensten waar wij vanaf de ontwerpfase verantwoordelijk voor zijn en waar wij bij betrokken zijn, zijn daarom een uiterst interessant aangrijpingspunt voor circulair economische initiatieven. Dat maakt de bouwsector en onze gebouwde omgeving bij uitstek geschikt om de potentie van het circulair economisch gedachtengoed te verkennen en toe te passen. Nauwere betrokkenheid bij de ontwerpfase maakt het mogelijk om zelfs te overwegen een gebouw niet te bouwen, te renoveren, of veel kleiner te bouwen. Deze aspecten dragen natuurlijk sterk bij aan een reductie van de milieu footprint. Toch wordt dit handelingsperspectief in veel discussies rondom circulaire economie maar mondjesmaat gesuggereerd. We vinden deze integrale benadering van circulair bouwen terug in de ladder voor duurzame verstedelijking (Figuur 2). Deze ladder is opgezet voor bestuurlijke beslissers bij ruimtelijke plannen. Bij het doorlopen van deze ladder wordt nagegaan of er wel behoefte is, en zo ja of deze behoefte niet eerst regionaal opgevangen kan worden. Zo zou er alleen worden bijgebouwd wanneer er op regionaal niveau per saldo vraag naar is.



Figuur 2: *De ladder voor duurzame verstedelijking.*[9]

Idealiter draagt de circulaire economie bij aan een betrouwbare en betaalbare voorziening van grondstoffen en het verminderen van de milieudruk omdat minder grondstoffen worden gebruikt en minder reststromen, afval en emissies vrijkomen. Dit is een voorwaarde voor een weerbaar industrieel systeem dat de concurrentiekracht versterkt en zorg draagt voor werkgelegenheid door nieuwe (vormen van) bedrijvigheid.
In hoeverre deze overwegingen voor de bouwsector spelen komt later aan bod.

9 *Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2013). Handreiking Ladder voor duurzame verstedelijking.*



Figuur 3: *Van lineaire naar circulaire economie.*

Een ideale circulaire economie wordt als inspirerende 'stip aan de horizon' gezien, de huidige economie wordt vaak beschreven als een lineaire economie, waarbij wij steeds nieuwe grondstoffen delven, er iets van produceren en het daarna vernietigen ('take, make, waste'). Dat beeld is te somber. Ook in de huidige samenleving en economie wordt op basis van kostenoverwegingen en/of wet- en regelgeving- in toenemende mate bewust met energie en grondstoffen omgesprongen, zonder dat dat gebaseerd is op revolutionair anders ontworpen producten, processen en systemen. In die zin is 'verstandig omspringen met grondstoffen' een vorm van operational excellence. Het bestaan van een recycling-infrastructuur, van een actieve reparatie- en onderhoudsmarkt en een levendige tweedehandsmarkt zijn reeds lang geïmplementeerde stappen op weg naar een (meer) circulaire economie. In toenemende mate is sprake van ketensamenwerking om te komen tot economisch verantwoorde vormen van industriële symbiose (het hergebruik van reststromen energie, water of materialen).

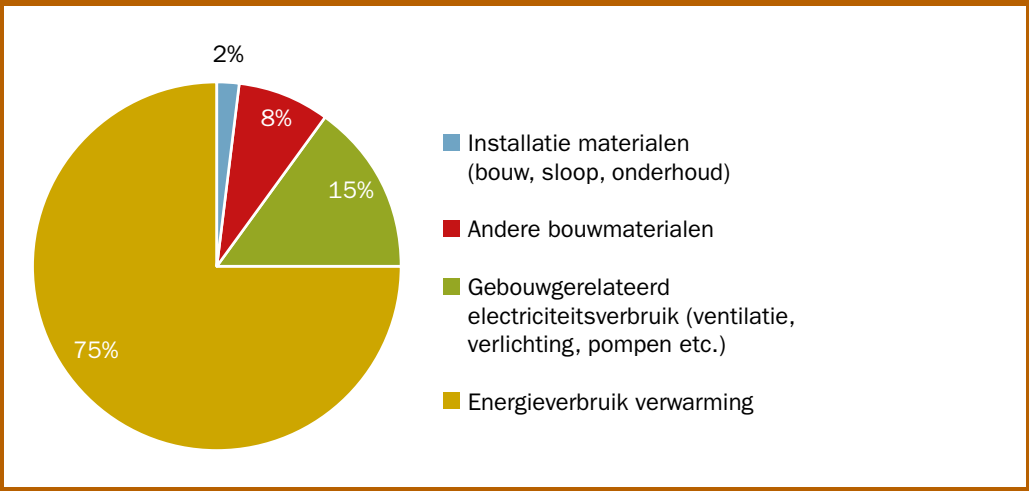
Door alleen in te zetten op het stimuleren van een (ideale) circulaire economie, bestaat het risico dat de positieve bijdrage van reeds ingezette ontwikkelingen tekort wordt gedaan. Huidige ontwikkelingen leveren een relevante bijdrage aan het verminderen van milieudruk en het creëren van waarde, een bijdrage die nog aanzienlijk kan toenemen. In het denken over een circulaire economie is een tweesporenbeleid op zijn plaats waarin de huidige ontwikkelingen worden erkend en gestimuleerd, en de innovatieve en experimenterende 'koplopers' specifieke aandacht en ondersteuning verdienen.

2.3 WAAROM CIRCULAIRE ECONOMIE SPECIFIEK VOOR DE BOUW?

De bouw is verantwoordelijk voor de helft van het totale Nederlandse materiaalgebruik[10]. Jaarlijks wordt er in de bouw- en sloopsector circa 25 Mton afval geproduceerd[11]. Het sloopafval wordt vrijwel volledig (95%) gebruikt als fundering onder wegen of voor ophoging van bedrijventerreinen[10]. Verwerking op alleen deze manier kan bij achterblijven van deze bestaande vraag op termijn leiden tot een overschot aan sloopafval en heeft in deze vorm geen invloed op de behoefte aan primaire materialen. En dat terwijl de productie van bouwmaterialen verantwoordelijk is voor een groot deel van de wereldwijde uitstoot van broeikasgassen. Zo is bijvoorbeeld de cementproductie verantwoordelijk voor 4-5% van de wereldwijde CO_2-emissies [12]. Dit komt doordat het benodigde kalk verbrand wordt op hoge temperaturen en als gevolg van de omvorming van kalksteen naar cement CO_2 vrijkomt. Per ton portlandcement wordt 850-950 kg CO_2 uitgestoten. Dit cement wordt wereldwijd in zeer grote hoeveelheden toegepast [13]. Ook andere veelgebruikte bouwmaterialen zoals asfalt, glas, gips, staal, aluminium en baksteen kennen energie-intensieve stappen tijdens het productieproces en navenant veel broeikasgasemissie. Het reduceren van de behoefte aan dergelijke primaire grondstoffen kan dan ook een significante bijdrage leveren aan de afspraken die op de klimaatconferentie in Parijs zijn gemaakt.

10 Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2016). Nederland circulair in 2050
11 RWS en RIVM (2015). Beleidsverkenning circulaire economie in de bouw. Een perspectief voor de markt en overheid. RIVM rapportnummer 2015-0197
12 CE Delft (2013). Prioritering handelingsperspectieven verduurzaming betonketen. Publicatienummer: 13.2A59.64
13 M. de Rooij, S. Valcke en J. Visser (TNO) (2010). Cement met minder CO_2 uitstoot – Mythe of mogelijkheden, Cement, 2010.

EEN CIRCULAIRE BOUWECONOMIE MAG NIET TEN KOSTE GAAN VAN DE INTEGRALE DUURZAAMHEID



Figuur 4: *CO_2-uitstoot over de gehele levenscyclus van een gebouw. Bron: TNO*

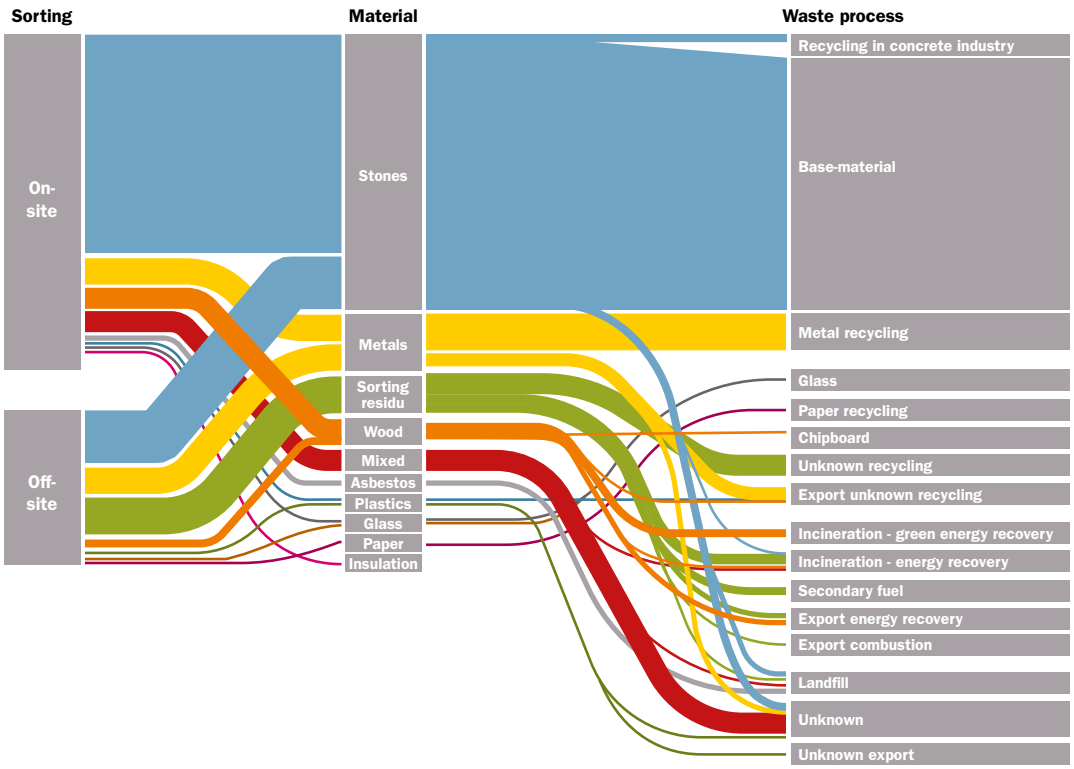
Bouwmaterialen leveren een forse bijdrage aan de wereldwijde uitstoot van broeikasgassen. Maar dat betekent niet dat in alle gevallen het gebruik van bouwmaterialen teruggedrongen moet worden. Kijkend naar de uitstoot van broeikasgassen van een gebouw over de totale levensduur is de bijdrage van het totale energieverbruik (incl. verwarming, installaties, verlichting, liften, etc.) met de huidige energiemix aan CO_2-uitstoot veel groter dan die van de bouwmaterialen alleen. Ongeveer driekwart van de totale CO_2-uitstoot van een gebouw komt zelfs door verwarming alleen. Het gebruik van extra materiaal, om de isolatie te verbeteren en daarmee het warmtegebruik terug te dringen is voor de integrale duurzaamheid dus positief. Materiaalgebruik heeft hierbij juist een belangrijke rol in het terugdringen van energieverbruik in de gebouwde omgeving. Het gaat dus om het reduceren van de totale milieu-voetafdruk van een gebouw, en niet om slechts de materiaalbehoefte verkleinen. Als circulaire inzet van materialen ten koste gaat van energiebesparing, spannen we het paard achter de wagen.

Onze gebouwde omgeving en de bouwsector zijn ideaal gepositioneerd om gebruik te maken van circulair economische activiteiten. Dat komt omdat de bouw, in tegenstelling tot veel andere sectoren, grotendeels op regionale schaal georganiseerd is. Van grondstofwinning tot verwerking aan het einde van de levensduur vindt plaats binnen regionale of hooguit landsgrenzen. Gezien de potentiele milieuwinst van circulariteit in de bouw en de invloed die wij daar zelf op hebben zou Nederland vol moeten inzetten op het realiseren van een circulaire economie in de bouw. Het Rijksbrede Programma Circulaire Economie heeft de Bouw als één van de vijf prioriteiten aangewezen (naast Kunststoffen, Biomassa en voedsel, Maakindustrie en consumentengoederen en afval). Het wordt zonder twijfel gezien als één van de sectoren met groot potentieel als het gaat om milieu-impact.

2.4 WELKE CIRCULAIRE STAPPEN KAN DE BOUWSECTOR ZETTEN?

Recycling nader bekeken: de bouw doet dit vanzelfsprekend!
Sinds mensen bouwen is er sprake van hergebruik. Recycling is het hergebruik van materialen uit producten aan het eind van hun levensfase en de inzet ervan in een volgend productieproces, in veel gevallen met verlies van de oorspronkelijke functionaliteit. Recycling is een bestaande industriële praktijk die gedreven wordt door solide business cases en milieuregelgeving op nationaal en Europees niveau. In de afgelopen decennia zijn grote stappen gezet. Belangrijkste aanleiding was de milieuzorg rond het massaal storten van afval. Ook in de bouw is recycling van materialen gemeengoed. Een goed overzicht van volumestromen bouwmaterialen en inzet in recycling is gegeven door Lisanne Mulders [14]. De resultaten staan weergegeven in onderstaande figuur.

14 Lisanne Mulders - Master thesis High quality recycling of construction and demolition waste in the Netherlands - Utrecht University, Faculty of Geosciences, Sustainable Development – Energy and Resources, GEO4-2321, July 2013



Figuur 5: *Volumestromen bouwmaterialen gebruikt voor recycling.*

Uit dit overzicht blijkt dat 90% van het huidige bouw- en sloopafval al een nuttige toepassing kent, waarvan 80% (bijna 20 Mton) gerecycled wordt. 10% wordt gebruikt in afvalverbrandingsinstallaties om energie terug te winnen. Slechts 3% wordt gestort. Steenachtig materiaal waaronder beton wordt massaal ingezet als wegfunderingsmateriaal. Rond deze toepassing woedt de discussie in hoeverre dit een hoog- of laagwaardige toepassing is. De kwaliteit van dit puin is bij uitstek geschikt voor deze toepassing vanwege de rest-activiteit van het hergerbuikte beton die voor een goede pakking zorgt.[15]

Vanzelfsprekend vinden kleinere stromen als metaal, glas en papier met een goede business case hun weg naar de markt al.

Uitdagingen bij recycling van bouwmaterialen zijn:
- Het hoogwaardig toepassen van steenachtig materiaal zodra de toepassing is als funderingsmateriaal vermindert
- Hoogwaardiger gebruik van houtafval (hoogwaardiger dan verbranden met energieterugwinning).
- Inzetten op hergebruik van componenten voordat materiaalrecycling wordt overwogen.

De randvoorwaarden bij het creëren van nieuwe toepassingen voor gerecyclede bouwmaterialen zijn:
- De mate waarin secundair materiaal voldoet aan gebruikersspecificaties;
- De mate waarin de kwaliteit, de kwantiteit en de timing voldoen aan eindgebruikerswensen en eisen.
- Een business case en de mate waarin significante milieu- en emissievoordelen zijn te behalen.

Later in dit document zullen we ingaan op technologieën om hout, beton en baksteen hoogwaardiger in te zetten en hoe bij nieuwe (product-)ontwerpen hier al rekening mee kan worden gehouden.

Refurbishment en reparatie: de bouw heeft het uitgevonden
Het herstellen, renoveren, repareren, “refurbishen” van roerende goederen is een vanzelfsprekend onderdeel van elke economie. Voor de bouw, is dit nog een understatement. De eerste objecten die werden hersteld in vroege menselijke beschavingen waren gebouwen.

15 RWS, persoonlijke informatie

De onderstaande tabel geeft de dominante positie aan van gespecialiseerde bouw in de werkgelegenheid binnen de totale bouwnijverheid. Dit betekent dat in een bouwwereld die in toenemende mate vraagt om refurbishment en renovatie deze activiteiten eenvoudig kunnen worden opgepakt: er is al een bestaand ecosysteem waarin deze activiteiten plaatsvinden. Delen van SBI-sector 43 draagt al lang op hoogwaardige bij aan circulariteit.

SBI-2 afdeling	Omschrijving SBI-2 afdeling	Omschrijving onderliggende SBI sectoren op gedetailleerder niveau	Gemiddeld aandeel SBI-2 afdeling in totale bouwnijverheid 2010-2015
41	Algemene bouw en projectontwikkeling	Projectontwikkeling en Algemene burgerlijke en utiliteitsbouw	32%
42	Grond-, water- en wegenbouw	o.a. Wegenbouw, Straten maken, Bouw van boven- en ondergrondse spoorwegen, Bouw van kunstwerken, Leggen van rioleringen, buizen en pijpleidingen	11%
43	Gespecialiseerde bouw	o.a. Slopen van bouwwerken, Elektrotechnische bouwinstallatie, Afwerking van vloeren en wanden, Dakdekken en bouwen van dakconstructies, Heien en andere funderingswerkzaamheden, Installatie van verwarmings- en luchtbehandelingsapparatuur	57%

Tabel 1: *bouwnijverheid in Nederland, beschreven in Standaard Bedrijfs Indeling (SBI) (bron: LISA 2015)*

Het aandeel herstel en verbouw blijkt (volgens huidige metingen van het CBS) ongeveer 35% van de waarde van de totale bouwproductie.

Vragen met betrekking tot de rol van herstel en verbouw zijn onder andere:
- Kunnen we de behoefte aan woningen en gebouwen drukken, in de wetenschap dat deze behoefte altijd verandert onder invloed van beschikbaarheid van grond(stoffen), welvaart en techniek?
- Hoe kunnen we het brede pallet aan bestaande diensten rond refurbishment en reparatie aan de bouwsector (c.q. kennis cultuur en vaardigheden van de beroepsbevolking) effectiever inzetten ?
- Waar ligt het optimum tussen sloop, renovatie en nieuwbouw als het gaat om integrale optimalisatie van broeikasgas-emissies?
  Wat gaat in invloed worden van nieuwe technologie (zoals bredere inzet van sensoren) in relatie tot condition based mantenance?

Het ‘nieuwe’ businessmodel, huren en leasen: de bouw doet dit sinds mensenheugenis!
Een belangrijke stap voor een circulaire economie ligt in het intensiveren van het gebruik van producten. Voorbeelden zijn tweedehandsgebruik, breder inzetten van innovatieve huur- en leaseconcepten.

De bouwwereld heeft dit ongeveer uitgevonden. Het probleem van ‘van te voren investeren en in de loop van jaren je geld eruit halen’ is zelfs essentieel; voor de hele bouwkolom.

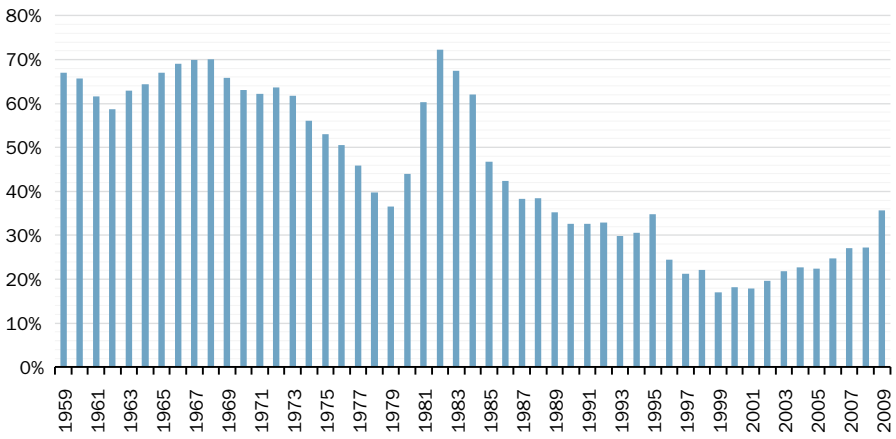
Bij de verdere introductie van leaseconcepten van roerende goederen spelen bijvoorbeeld economische motieven (hogere investeringen aan het begin voor de leverancier) een rol. De bouwwereld is bij uitstek een wereld waar deze vorm van handelen gemeengoed is. Zowel in de private als zakelijke markt wordt vaak gehuurd, en het bezit blijft in handen van de oorspronkelijke partij. Dat betekent dat die partij ook belang heeft bij een zo goed mogelijk onderhoud en een zo hoog mogelijke economisch levensduur. Het gaat

immers om zijn kapitaal. Indien de waarde van de faciliteiten en de materialen in dat verhuurde onroerend goed van significante betekenis is zal ook de verwaarding daarvan ter hand worden genomen door deze eigenaar.

Het traditionele gewicht dat verhuur ten opzichte van eigendom in de bouw aangeeft is weergegeven in Figuur 6. Het toont het aandeel verleende vergunningen voor huurwoningen als percentage van het totale jaarlijkse nieuwbouwvolume van woningen. De grafiek geeft enerzijds een afnemend maatschappelijk belang van verhuur van woningen aan en anderzijds een stijgende trend in de 21e eeuw. Het toont echter vooral de vanzelfsprekendheid van een business model waarin een gebouw, een woning in dit geval, niet in bezit is van de eigenaar. Bovendien wordt het belang van huur en lease alleen maar groter als we ook utiliteitsbouw in deze statistiek zouden betrekken.

De sprong na 1979 in de grafiek is toe te schrijven aan de toenmalige crisis op de woningmarkt in Nederland in combinatie met de grootschalige stadsvernieuwingsprojecten. Hoewel het gemiddelde aandeel verleende vergunningen voor huurwoningen tussen 1959 en 2009 net boven de 42% lag, ligt het aandeel huurwoningen in de Nederlandse woningvoorraad vanaf 2012 nog steeds rond de 56%. Dit wordt veroorzaakt door de rol van woningen van voor 1960 in combinatie met de toename van woningbouw verhuuractiviteiten in recente jaren.

Aandeel huurwoningen in het jaarlijkse aantal bouwvergunningen voor woningen 1960-2009



Figuur 6: *aandeel huur in jaarlijks verleende vergunningen voor woningbouw 1950-2009 (bron: CBS statline)*

In diezelfde gebouwde omgeving wordt dit principe nog verder doorgevoerd door het eigenaarschap van producten in de gebouwde omgeving bij de producenten te laten.In dat geval neemt de gebruiker een dienst af in plaats van het product waarmee de dienst wordt geleverd. Een voorbeeld is het concept van Turntoo, geïntroduceerd door de architect Thomas Rau. Het concept is gebaseerd op consumenten die een service 'kopen' die door een product wordt geleverd i.p.v. het product zelf. Het principe berust op de gedachte dat de klant betaalt voor een dienst, terwijl de producent verantwoordelijk blijft voor onderhoud en het eigendom van de producten en systemen behoudt. Bij de producent eigenaar van de materialen ontstaat zo de incentive om bij het ontwerp van haar product niet alleen rekening te houden met productiekosten, maar ook met de kosten van het gebruik. Dit kan leiden tot efficiënter ontwerp, intensievere recycling en energiebesparing. Kortom, tot de introductie van een meer circulair bedrijfsmodel.

Uitdagingen die hier opdoemen zijn:
- Welke mechanismen bepalen de behoefte aan woningen en gebouwen en hoe kunnen we die op een uniforme manier uitdrukken, in de wetenschap dat deze behoefte altijd verandert onder invloed van beschikbaarheid van grond(stoffen), welvaart en techniek?
- Kunnen de autonome ontwikkelingen rond BIM een positieve bijdrage leveren aan meer bouw- en lease activiteiten en dus ook aan waardebehoud over de hele looptijd van een gebouw?
- Kan m.b.v. internet-of-things de technische staat van woningen beter gemonitord worden met inachtneming van het gewenste niveau van privacy?

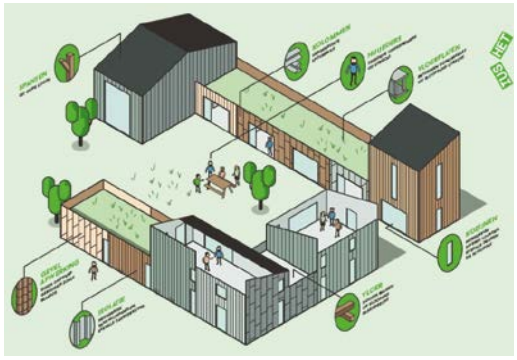
Design for disassembly, repair, re-purpose, re-use en recycling in de bouw

Herbestemming van bestaande gebouwen gebeurt al regelmatig, bijvoorbeeld de transformatie van kantoorpanden naar appartementen. Dit wordt ook door de overheid gestimuleerd vanwege leegstand van kantoorpanden en de grote vraag naar woonruimte. Het intensiveren van het hoogwaardig herbestemmen van gebouwen zal profiteren van de mate waarin al in de ontwerpfase rekening gehouden wordt met het gemak waarmee producten en componenten een tweede (of langer) leven kunnen krijgen: In de bouw is dit nog geen gemeengoed maar er zijn steeds meer voorbeelden van gerealiseerde gebouwen waarbij circulaire overwegingen bij het ontwerp een belangrijke rol hebben gespeeld:

- Het ASR-hoofdkantoor in Utrecht is een aantal jaar geleden grondig gerenoveerd en uitgebreid. Bij het ontwerp van het moderne kantoorgebouw is men uitgegaan van hergebruik van het casco van het in 1974 gebouwde kantoorpand (re-use).
- Het Hof van Cartesius heeft in 2017 een aantal paviljoens gebouwd waarin werkruimtes zijn gerealiseerd voor ondernemers. Bij het ontwerp is uitgegaan van hergebruik van materialen (re-use & re-purpose). Zo zijn er bijvoorbeeld oude deuren en kozijnen toegepast, de betonnen vloerelementen zijn afkomstig uit een slooppand elders in de stad en zijn de kolommen in de constructie van spoorrails gemaakt. Daarnaast is de constructie ook demontabel ontworpen dat ook optimaal hergebruik mogelijk is na demonteren van het gebouw (design for dissambly).



Fotograaf: Jannes Linders & Herman de Winter



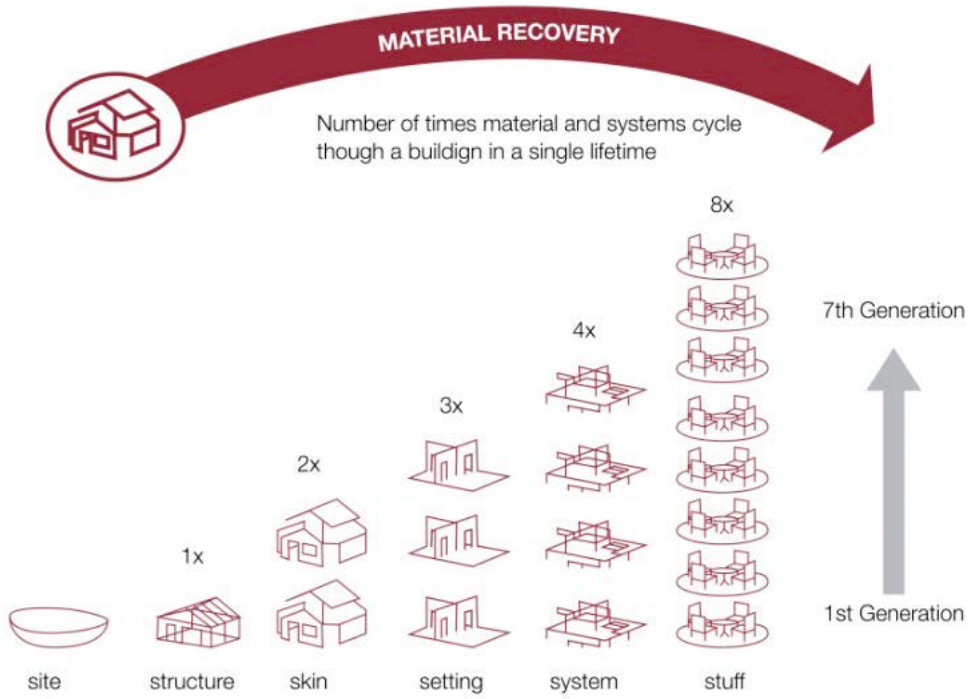
Illustratie Jochem Coenen

2.5 DE WINST VAN CIRCULAIRE ECONOMIE VOOR DE BOUW

De meeste literatuur over circulaire economie gaat over een noodzakelijke transitie van een lineaire, ‘take-make-waste’-economie naar een circulaire waarin waarde behoud en waarde creatie in de keten centraal staan. De gebouwde omgeving, onze woningen, worden niet als een eenmalig weggooiproduct opgeleverd. Voor particulieren is een huis over het algemeen de grootste uitgave in hun leven. Ook voor bedrijven is het bedrijfspand veelal een van de meest kapitaalintensieve bedrijfsmiddelen. Dat brengt weer met zich mee dat meer dan voor elke investering die wij als individuen doen, waardebehoud en liefst ook waardecreatie in onze gebouwde omgeving centraal staan. Dat blijkt alleen al uit de verschillende vormen van werkgelegenheid die betrokken zijn bij de bouw zoals ook reeds weergegeven in paragraaf 2.4.

Streven naar waardebehoud zal leiden tot een toenemend langere levensduur van gebouwen in tegenstelling tot de “levensduur” van elke andere uitgave die wij als privé-persoon of samenleving doen. Alhoewel een zeer lange levensduur één van de kernaspecten rond een circulaire economie is, stelt zo’n levensduur ook grenzen aan de aantrekkelijkheid van businessmodellen waarin het eigendom van componenten of materialen bij de oorspronkelijke leverancier blijft. Voor zowel verhuurders van woningen als bezitters van woningen zijn businessmodellen uitgaande van dit principe aantrekkelijk zolang het effect hiervan ook economisch voor hen is uit te drukken. Doel van dergelijke businessmodellen is dat aan het einde van de levensduur deze componenten weer bij de betreffende partij terugkomen en daardoor eenvoudiger ingezet kunnen worden voor hergebruik. In de (lange) tussentijd blijven deze materialen drukken op de balans en de organisatie zal ook zo moet worden ingericht dat (her)gebruik van deze materialen daadwerkelijk waarde toevoegt op het moment dat ze weer vrijkomen. Dergelijke aspecten maken deze lease-back-concepten minder aantrekkelijk voor partijen in de bouwketen.

Die lange levensduur gaat niet op voor alle onderdelen van een gebouw. Bij uitstek zijn gebouwen modulaire ‘producten’, met onderdelen, die sterk van elkaar verschillen qua levensduur. Daar waar een gebouw (afhankelijk van zijn functie) elke leeftijd van 20 tot (meer dan) 200 jaar kan aannemen, geldt dat niet voor de elementen van het gebouw. Na zo’n 5-20 jaar wordt de inbouw en inrichting vaak vernieuwd. Pas na 20 tot 40 jaar is ook de schil toe aan vernieuwing. Zo wordt dubbele beglazing vaak na zo’n 30 jaar vernieuwd terwijl de spouwisolatie zo’n 50 jaar blijft zitten. In elk van deze fases komen andere aantallen en soorten materiaal vrij (zie figuur hieronder). De relatie tussen de vervangingstermijn en de restwaarde bepaalt mede of een circulair businessmodel waarbij sprake is van behoud van eigenaarschap mogelijk en aantrekkelijk is.



Bron: Anne-Marie Rakhorst, duurzaamheid.nl

TOTAL COST OF OWNERSHIP

Er zijn inspirerende voorbeelden van financieel gezonde duurzame en circulaire bouwprojecten. Zo heeft de gemeente Venlo bij de bouw van haar nieuwe stadskantoor aangetoond dat de totale investering lager is wanneer C2C-principes worden geïmplementeerd dan wanneer dit niet wordt gedaan. Circulair bouwen is duurder op het moment van realisatie, maar niet als je naar de TCO (total cost of ownership) kijkt. Uit berekeningen van de gemeente Venlo voor het nieuwe stadskantoor blijkt dat structureel lagere exploitatiekosten ertoe leiden dat de TCO van het circulaire ontwerp na 40 jaar €3.000.000 goedkoper is dan de TCO van de niet circulaire variant.



Bron: Elf circulaire bouwprojecten in Nederland, G. Mulder et al. TNO 2016 R11280.

DE MILIEUBELASTING VAN BOUWMATERIALEN EN BOUWELEMENTEN



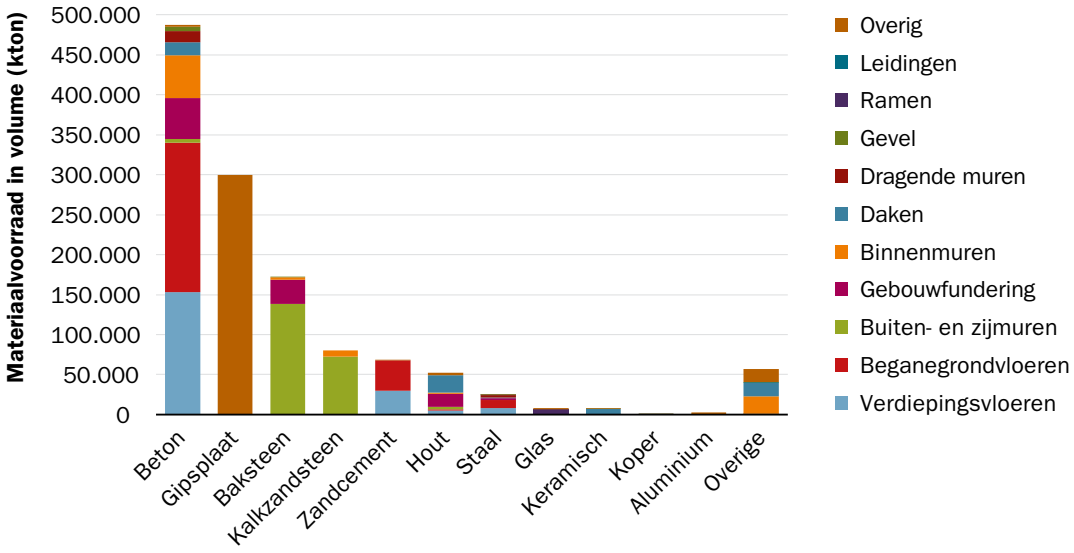
3 DE MILIEUBELASTING VAN BOUWMATERIALEN EN BOUWELEMENTEN

In het vorige hoofdstuk is beschreven dat de bouwsector al stevig betrokken is bij de circulaire economie. Tal van activiteiten en businessmodellen die al eeuwenlang gemeengoed zijn in de bouwsector, zouden we vandaag de dag kunnen benoemen als circulair economische initiatieven. Circulaire activiteiten in de bouw beslaan een zeer breed spectrum en zijn in meer of mindere mate een hoogwaardige manier van hergebruik van materialen en grondstoffen. In het publieke debat krijgt het (her)gebruik van materialen veel aandacht, zoals bijvoorbeeld blijkt uit het aan de Bouw bestede hoofdstuk in het Rijksbrede Programma Circulaire Economie. Voor elk van de daarin genoemde circulaire handelingsperspectieven, is het naar onze mening essentieel om initiatieven op dat vlak te nemen (en te toetsen) op basis van kwantitatieve inzichten. Het gaat dan om inzicht in de aard en hoeveelheid materialen die worden ingezet en hun kosten en milieu-impact. Op die basis kan de verwachte impact van nieuwe technologie, organisatie- en business-modellen in kaart worden gebracht. Dit is de kern van de aanpak die TNO voorstaat op dit dossier. In dit hoofdstuk wordt een beeld van deze kwantificering geschetst.[16]

3.1 MATERIALEN IN DE NEDERLANDSE GEBOUWENVOORRAAD ALS STARTPUNT

Circulaire economie is zowel relevant voor de nieuwbouwopgave, als voor de verwerking van bouw- en sloopafval. Door de huidige gebouwvoorraad als startpunt te nemen en de mutaties in de afgelopen jaren mee te nemen, kunnen we prognosticeren 1) welke materialen vrij gaan komen bij sloop en renovatie en 2) welke bouwmaterialen in de toekomst nodig zijn voor nieuwbouw.

TNO heeft een database ontwikkeld[17] om bouwmaterialen in Beeld te brengen (BOB), waarin gebruik wordt gemaakt van openbare databronnen en onderzoeksresultaten. Zo is een combinatie gemaakt van de Basis Administratie Gebouwen (BAG), EIB-scenario's over te verwachten nieuwbouw, op historische extrapolatie gebaseerde aannames omtrent sloop en kennis overbouw-typologieën in verschillende tijdperken. Voorbeelden van deze aannames zijn o.a. dat tot de jaren '30 de dragende constructie van gebouwen regelmatig in hout zijn uitgevoerd. Daarna nam de productie van beton toe en deze nam een vlucht in de periode van wederopbouw (vanaf de jaren '50). De onderstaande grafiek geeft m.b.v. deze database de inzet van afzonderlijke materialen in de huidige gebouwvoorraad weer.



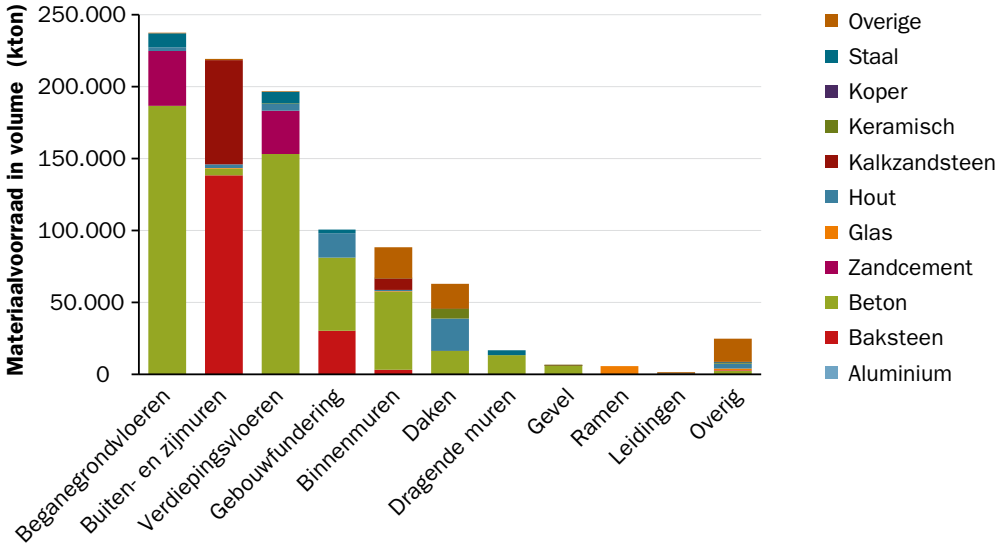
Figuur 7: *Volume (in Kton) in Nederland ingezette bouwmaterialen in huidige voorraad.*

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

16 Dit hoofdstuk is sterk gebaseerd op het TNO-rapport "Een verkenning van de milieu-impact van circulair bouwen in de woning- en utiliteitsbouw", TNO2017 R10402, in opdracht van het Ministerie van Binnenlandse Zaken

17 Door TNO ontwikkeld in 2016

Uit welke materialen de verschillende bouwelementen zijn opgebouwd is weergegeven in Figuur 10.



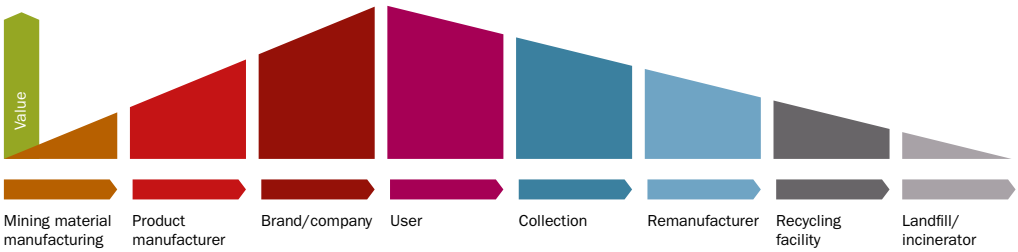
Figuur 8: *Volume van de bouwelementen en gebruikte materialen in de Nederlandse bouwvoorraad.*

Het grootste materiaalvolume zit in de vloeren van woningen waarin met afstand beton het meeste (grootste volume) wordt toegepast. Gevolgd door buiten en binnenmuren en de gebouwfundering.

3.2 DE SPECIFIEKE KOSTEN VAN BOUWMATERIALEN

Om de business case voor een circulaire initiatief in de bouw te bepalen is inzicht in de gespecificeerde kosten van de bouw nodig en de waardeontwikkeling van gebouwen over de beoogde, soms zeer lange levensduur. Verhoudingen tussen de kosten voor materiaal, arbeid, transport, sloop, productie etc. zijn een belangrijk gegeven in elke op te stellen business case. Een grote uitdaging van de huidige gang van zaken is dat de verhouding tussen materiaalkosten (65%) en arbeid (35%) bij nieuwbouw en respectievelijk 35% materiaalkosten en 65% arbeid bij renovatie, demontage economisch onaantrekkelijk maakt. Helemaal als we ook in ogenschouw nemen dat huidige sloopkosten een fractie van de nieuwbouwwaarde bedraagt.

De bouw zou erbij gebaat zijn dat sloop per definitie herbruikbare producten oplevert, grondstoffen hernieuwd laat vrijkomen en dat renovatie en/of levensduurverlenging van bouwmaterialen en -elementen een gegarandeerde waardevermeerdering of op zijn minst waardebehoud oplevert. In paragraaf 1.5 hebben wij hier al enigszins bij stilgestaan. Onderstaande figuur geeft het belang van waarde behoud tijdens de levenscyclus weer (van grondstof naar product, gebouw naar recycling en afval).



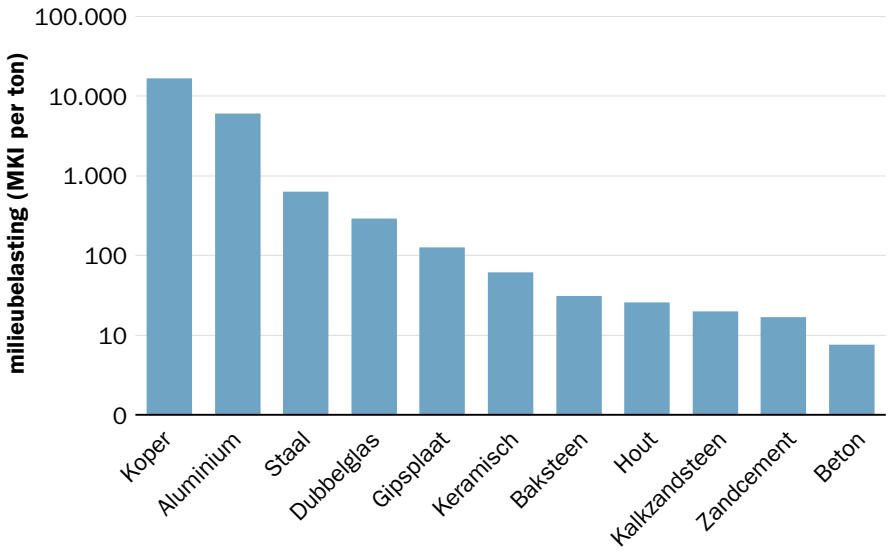
Figuur 9: *Waardebehoud in een circulaire economie: naast duurzaamheid (verspilling van materialen tegengaan) ook financieel (een gebouw heeft meer waarde dan een product dan bouwafval). Bron: Wegwijzer circulair inkopen, MVO Nederland.*

3.3 DE SPECIFIEKE MILIEU-IMPACT VAN BOUWMATERIALEN

Het op een circulair economische manier aanpakken van een materiaalstroom heeft des te meer zin als de huidige milieubelasting van een dergelijke materiaalstroom, waaronder de emissie van broeikasgassen, hoger is. Daarbij is het uitgangspunt dat een kilo zand niet dezelfde milieu-impact heeft als een kilo koper. De milieubelasting van bouwmaterialen kan bepaald worden door de milieukosten (MKI) van de productie van die materialen als uitgangspunt te nemen. Een milieu-maat die gebruikelijk is om te hanteren voor milieuprestaties van gebouwen en infrastructuur [18].

18 De Milieukostenindicator wordt uitgedrukt in schaduwprijzen. Dit zijn de fictieve (preventie)kosten die gemaakt zouden moeten worden om negatieve milieu-impact te herstellen. Het is een geaggregeerde indicator waarbij bijvoorbeeld CO_2-emissies, luchtverontreiniging, en toxische effecten voor mens en ecologie meegenomen worden

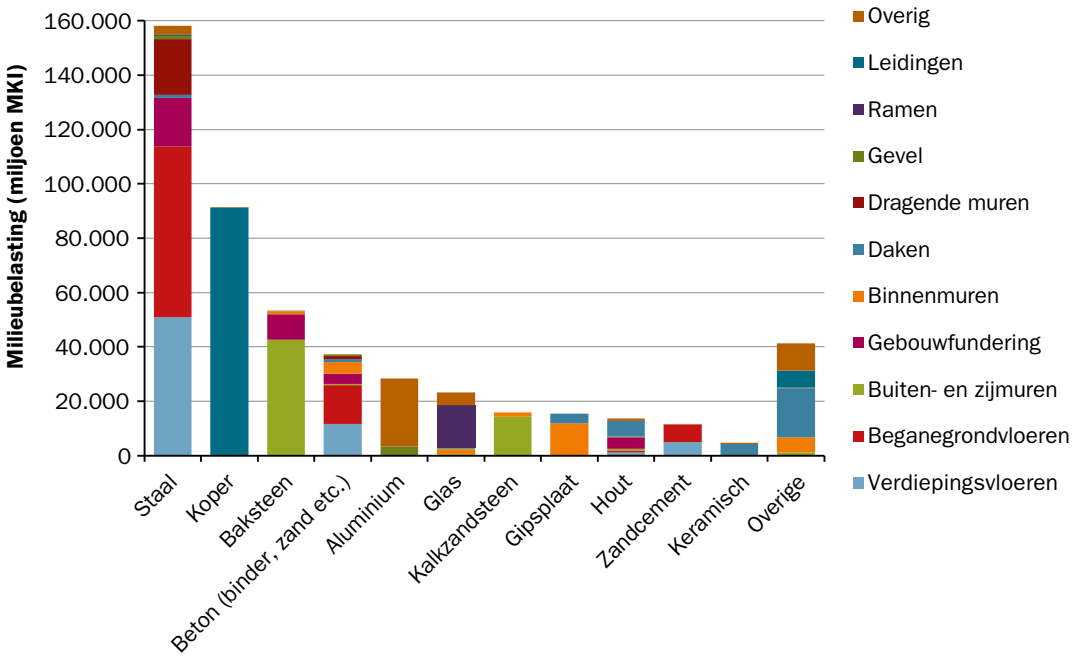
Voor de meest toegepaste bouwmaterialen wordt de milieubelasting weergegeven in Figuur 10. Het betreft de milieubelasting voor de winning en aanvoer van grondstoffen en de bewerking tot een bouwproduct. Hoe hoger de milieubelasting voor productie, hoe hoger de urgentie om middels circulair economische acties de milieubelasting te verlagen. De milieubelasting voor de productie van metalen is veel groter dan voor minerale grondstoffen Metalen worden nu gelukkig al in hoge mate gerecycled, wat een gunstig effect heeft op de milieubelasting.



Figuur 10: *Milieukosten-indicator (MKI) voor de productie (cradle to gate) van de belangrijkste bouwmaterialen (NB: voor weergave is een logaritmische schaal gebruikt).*

3.4 TOTALE MILIEUBELASTING VAN ALLE IN NEDERLAND INGEZETTE BOUWMATERIALEN EN -COMPONENTEN

Als bekend is welke en hoeveel materialen gebruikt worden en wat de impact is voor elk van deze materialen, ontstaat ook een totaalbeeld welk bouwmateriaal in de Nederlandse voorraad van woning-, en utiliteitsgebouwen in absolute zin de grootste bijdrage levert. Dergelijke gegevens zijn vanzelfsprekend belangrijk om keuzes te kunnen maken over de aard van de verbeteringen die circulaire economie kan opleveren. Het totaalbeeld van de afzonderlijke bouwmaterialen wordt gegeven in onderstaande figuur.

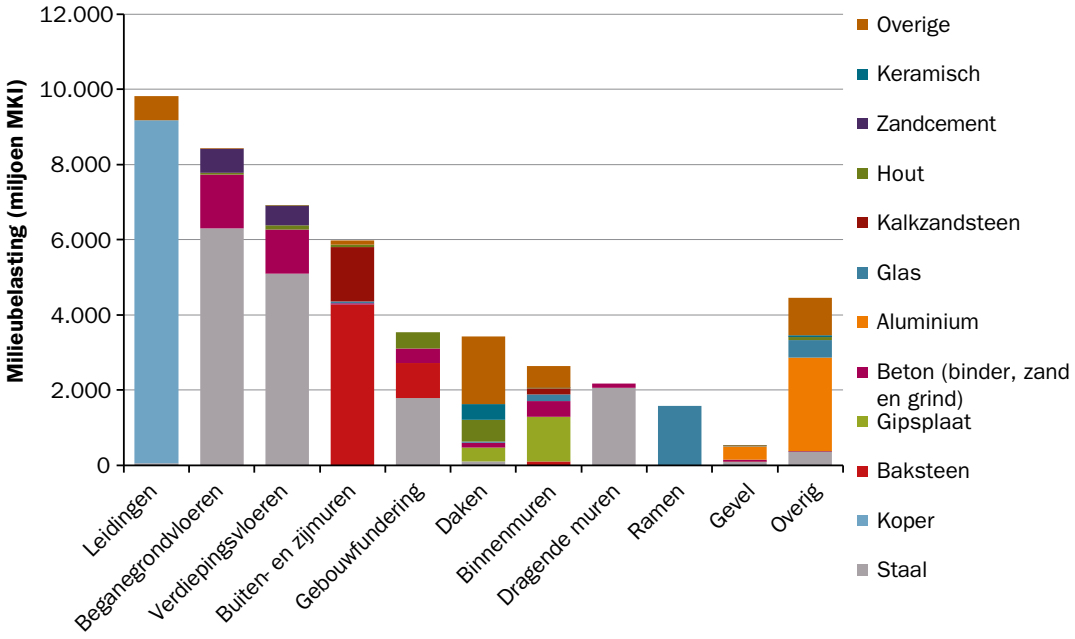


Figuur 11: *Milieubelasting van de productie van materialen (cradle to gate) zoals aanwezig in de Nederlandse gebouwvoorraad, uitgedrukt in Miljoen MKI, onderverdeeld naar bouwelement.*

Ondanks de relatief lage hoeveelheden van staal en koper is -vanwege de hoge specifieke milieubelasting voor productie - de bijdrage aan de totale milieu-impact hoog. Nogmaals, over de hele levenscyclus is het beeld natuurlijk anders vanwege de hoge recyclinggraad van deze materialen.

Enige nuancering van het in de grafiek getoonde is op zijn plaats. In een enkel geval ontstaat er ook een positieve opbrengst door gebruik van bepaalde grondstoffen. Dit is bijvoorbeeld het geval bij toepassing voor bouwmaterialen van zand en grind gewonnen bij verbreding van rivieren/waterwegen.

Staal wordt overwegend toegepast als wapening in vloeren, funderingen 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) ook het weergeven van de totale milieu-impact van de verschillende bouwelementen nodig is (Figuur 12).



Figuur 12: *Milieu-impact per bouw-element van cradle to gate, zoals aanwezig in de Nederlandse gebouwvoorraad*

Naast de overduidelijke milieu-impact van vloeren (a.g.v. de hoeveelheid wapeningsstaal verwerkt in het beton) valt de impact van de productie van (koperen) leidingen op. In nieuwbouwwoningen worden leidingen en andere installatiecomponenten steeds vaker uit kunststof gemaakt in plaats van metaal. Bovendien neemt de relatieve bijdrage van installaties toe vergeleken met bestaande bouw, o.a. vanwege installaties voor duurzame energie (zoals zonnecellen en warmtewisselaars). Isolatiematerialen (steenwol en glaswol) dragen nu voor ongeveer 16% bij aan de post ‘overig’. Glas in ramen draagt ook relatief beperkt bij aan de milieu footprint van de huidige gebouwvoorraad. Onder invloed van de energieprestatie-eisen is te verwachten dat in nieuwbouw de hoeveelheid isolatiemateriaal fors zal toenemen. Ook de bijdrage van glas zal fors hoger zijn doordat voornamelijk meer materiaal gebruikt wordt om aan de aangescherpte energie-eisen te voldoen. In het gebruikte voorbeeld betekent meer isolatiemateriaal een grotere de footprint in bouwfase (MPG) maar een lagere in de gebruiksfase (EPC).

Hoe hoger de milieu-impact van de productie-fase, hoe groter ook de kans dat circulaire initiatieven een significante reductie van die milieu-impact kan geven. Circulaire initiatieven betreffen materiaal-armere ontwerpen, initiatieven met langere levensduur door onderhoud, herbestemming of hergebruik, of recycling van de materialen.

Metalen worden al gerecycled, wat een flinke reductie van de milieu-impact geeft ten opzichte van de productie. Op dit moment wordt het grootste deel van het bouw- en sloopafval ook gerecycled. De mate waarin dit bijdraagt aan het verlagen van de milieubelasting hangt af van de milieu-impact van het ‘virgin’ materiaal dat wordt vervangen.. De vraag daarbij is of er een recycling methode mogelijk is met een gunstiger milieu-impact dan de huidige methode.

Op basis van de uitgevoerde analyses zou ten aanzien van de milieu-impact de aandacht moeten uitgaan naar steenachtige materialen (beton en baksteen). Hoe kan circulaire economie de impact van deze steenachtige materialen verlagen? Hout draagt in de huidige gebouwvoorraad relatief weinig bij zowel qua massa als impact. Het kan ook als constructief materiaal worden gebruikt om de milieubelastende steenachtige materialen te vervangen en zo de totale impact te verlagen. Bovendien is de verwachting dat de milieu-impact van hout nog verder verlaagd kan worden, vooral door levensduur te verlengen en door een hoogwaardige inzet van houtafval te stimuleren (waar hout nu vooral energetisch ingezet wordt).

Door de Stimuleringsregeling duurzame energieproductie (SDE+) zal verbranding van houtafval de komende jaren (tot aan 2030) nog zeker op grote schaal plaatsvinden. Er lijkt echter een negatief bijeffect op te treden. Sinds het in bedrijf gaan van bio-energiecentrales (BEC's) is het aandeel van het Nederlandse afvalhout dat als materiaal wordt hergebruikt gestaag afgenomen. Verwerkers van afvalhout zullen er steeds vaker voor kiezen relatief schoon afvalhout dat geschikt is voor materiaalhergebruik niet uit te sorteren, maar als een mengsel van A- en B-hout rechtstreeks af te zetten richting de Nederlandse BEC's.

Indien de subsidies op verbranding van afvalhout aflopen of worden beëindigd zal er een extra incentive zijn om het afvalhout op te werken (te recyclen en/of upcycling).

MILIEUPRESTATIE GEBOUWEN (MPG)

De bouwmaterialen van nieuwe huizen en kantoren mogen het milieu niet onnodig belasten. Sinds 1 januari 2018 gelden er minimumeisen voor de duurzaamheid van nieuwe huizen en kantoren. Het gaat hierbij om nieuwbouwwoningen en nieuwe kantoorgebouwen die groter zijn dan 100m^2. De MPG van een gebouw is de som van de schaduwkosten van alle toegepaste materialen in een gebouw. De MPG wordt vervolgens uitgedrukt in de schaduwkosten per vierkante meter bruto vloeroppervlak (bvo) per jaar. Per 1 januari 2018 geldt voor de MPG een maximum schaduwprijs van 1,00 euro per m^2 BVO per jaar.

3.5 TOEKOMSTIGE BOUWOPGAVE IN BEELD GEBRACHT

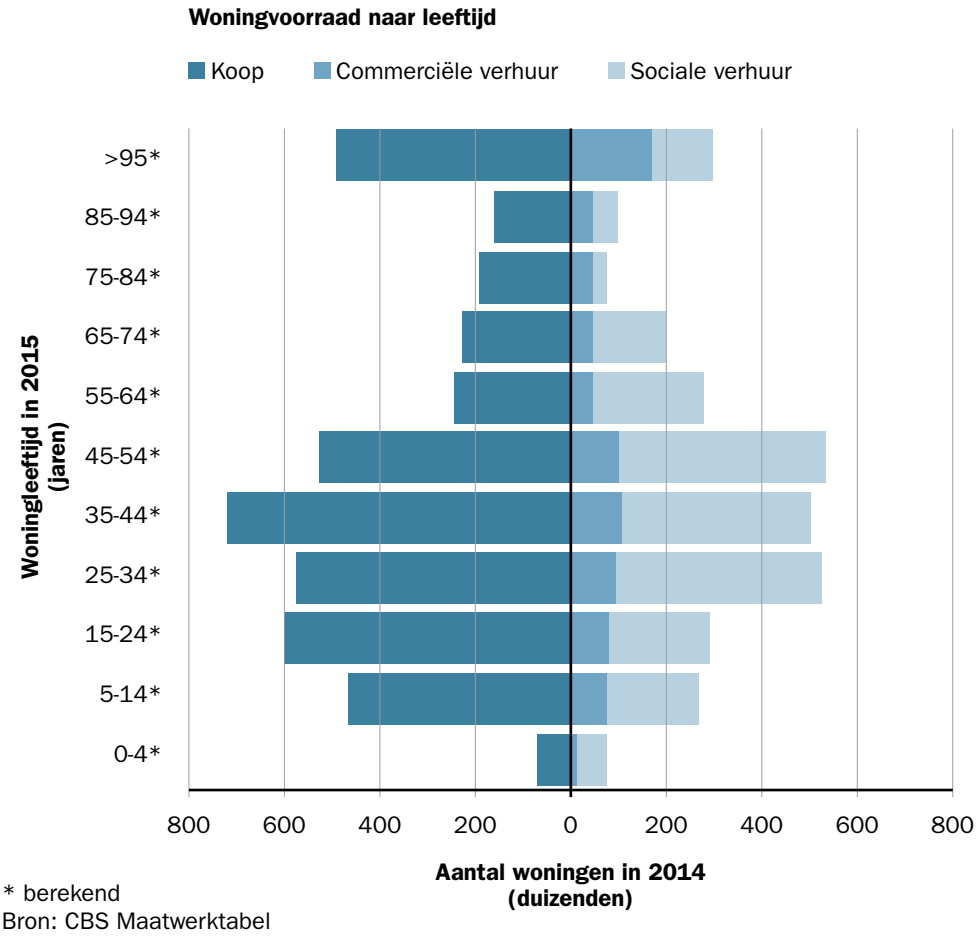
Om kansen voor circulaire economie te kunnen benutten is het van belang om vraag naar bouwmaterialen en aanbod aan (secundaire) grondstoffen planmatig en voor de langere termijn in beeld te hebben. Hiervoor kunnen gemeentelijke bouw- en sloopkalenders gecombineerd worden om inzicht te krijgen in voor materiaalbehoefte en -aanbod. Ook de prognoses van het Economisch Instituut voor de Bouw (EIB) over de ontwikkeling van de bouwopgave zijn van belang voor het prognosticeren van de materiaalbehoefte en aanbod van secundaire grondstoffen uit de bouw.

Door planmatig vraag en aanbod in kaart te brengen ontstaat ook de mogelijkheid om tijdig in te spelen op toekomstige uitdagingen, bijvoorbeeld door tijdig technologische innovaties op te starten. Zoals de ontwikkeling van nieuwe verwerkingstechnieken zodat secundair materiaal hoogwaardig kan worden ingezet.

Ter illustratie van het nut van in kaart brengen van vraag en aanbod hierbij een voorbeeld uit de studie die TNO uitvoerde naar vervangende nieuwbouw.

De woningvoorraad wordt gemiddeld steeds ouder, en dat heeft gevolgen voor de functionaliteit, en kosten van reparaties. In 1973 was bijna 60% van de woningen jonger dan 25 jaar. In 2003 was dit nog maar 30% en in 2014 zal dit minder dan 20% zijn [19]. De gemiddelde levensduur van een woning is ca. 50 jaar, waarna via renovatie de levensduur vaak met 20-30 jaar wordt verlengd. Daarnaast worden woningen soms ook na 80 jaar nog in stand gehouden. Daarbij komt dat de leeftijdsverdeling van de Nederlandse woningvoorraad niet evenredig is (zie figuur 13). Vanaf de wederopbouw (jaren '50) is het aantal gebouwde huurwoningen sterk aangetrokken, in de jaren '60 gevolgd door de koopsector. Dit betekent dat er in de komende jaren een sterke toename zal zijn van het aantal woningen dat een leeftijd van 50 jaar bereikt.

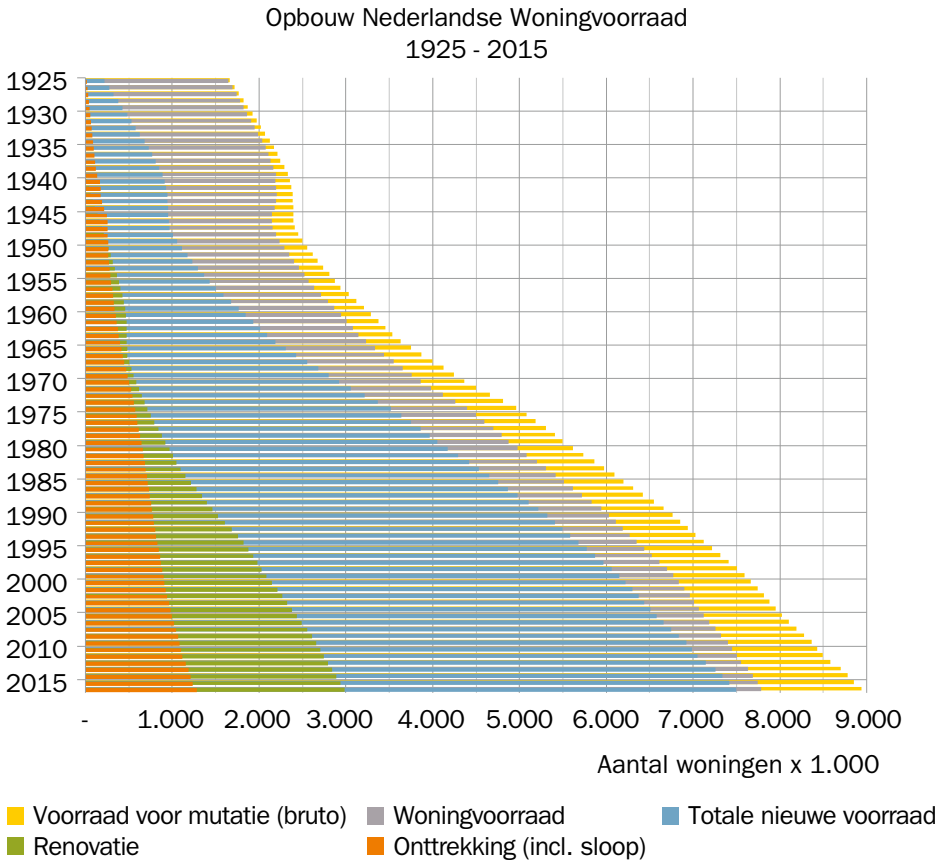
19 Bron: TNO 2015 R10515, Vervangende Nieuwbouw, G. Mulder et al., 2015



* berekend
Bron: CBS Maatwerktabel

Figuur 13: *Veroudering van de woningvoorraad; leeftijd van de woningvoorraad in 2007 en 2014.*

In de komende jaren bereiken de woningen uit de jaren 70 een levensduur van 50 jaar. De totale omvang van de nieuwbouwproductie was toen ongeveer één miljoen woningen. Hoewel sommige woningen uit deze periode al gesloopt of gerenoveerd zijn, blijft naar schatting 95% van de voorraad over waarbij dergelijke ingrepen de komende jaren nodig zijn. Daarnaast moeten we de komende jaren ingrepen doen bij woningen die al eerder gerenoveerd zijn en nu een levensduur van (langer dan) 70-80 jaar bereiken.
Van de oorspronkelijk totale woningvoorraad sinds 1925 is slechts een klein deel gesloopt en het overgrote deel is in stand gehouden (zie onderstaande figuur). Met de huidige nieuwbouwopgave en het tempo waarin de verouderde woningvoorraad wordt aangepakt komt op afzienbare termijn een grote opgave op ons af. De vraag is nu welk deel van de voorraad in de komende jaren als secundair materiaal vrijkomt. Het is een opgave voor circulaire ontwikkelaars tijdig relevante applicaties te vindenvoor de komende afvalberg, applicaties die als substituut kunnen dienen voor bij voorkeur primaire grondstoffen met een hoge milieu-impact.



Figuur 14: *Totale woningvoorraad met onderverdeling naar gesloopte voorraad, gerenoveerde voorraad en nieuwe voorraad, alles cumulatief in relatie tot de totale woningvoorraad.*

3.6 CIRCULAIRE GEBIEDSONTWIKKELING – DE CASUS HAVEN-STAD IN AMSTERDAM

Het loont om de kansen voor circulaire economie op gebiedsniveau of in een regio te analyseren, omdat de kansen die zich kunnen voordoen binnen één bouwproject meestal te beperkt zijn. Onderstaande casus voor het Haven-Stad gebied in Amsterdam illustreert hoe inzicht in aanbod van bouwmaterialen benut kan worden om een visie voor een gebied, waarbij ook de vraag naar materialen zichtbaar wordt, te concretiseren. Het Haven-Stad gebied in Amsterdam beslaat verscheidene wijken, waaronder een gebied met veel hoogbouw kantoren, bedrijventerreinen met veel laagbouw en industriële terreinen.



Transformatiegebied

1. Metaalbewerkersweg
3. Cornelis Douwes 2-3
4. Cornelis Douwes 0-1
5. Melkweg/Oostzanerwerf
7. Stadshaven/Minerva
8. Hempoint
9. Zaanstraat-Zonnehoek
10. Westerpark Noord
11. Westerpark Zuid
12. Coen- en Vlothaven
13. Alfa-Driehoek
14. Sloterdijk I bedrijven Noord e.o.
15. Sloterdijk I bedrijven Zuid
16. Sloterdijk I kantorenstrook
17. Dorp Sloterdijk e.o.
18. Sloterdijk

Figuur 15: *Overzicht van het bestudeerde gebied in dit project.*

In dit gebied wil de gemeente Amsterdam een stadvernieuwing doorvoeren die leidt tot aanzienlijke verdichting van de bebouwing en een verschuiving van bedrijventerrein naar een gebied met ook een woonfunctie. Amsterdam heeft de ambitie om de huidige voorraad bouwmaterialen, 'opgeslagen' in de huidige bebouwing, zoveel mogelijk te benutten voor de transformatie van het Haven-Stad gebied.

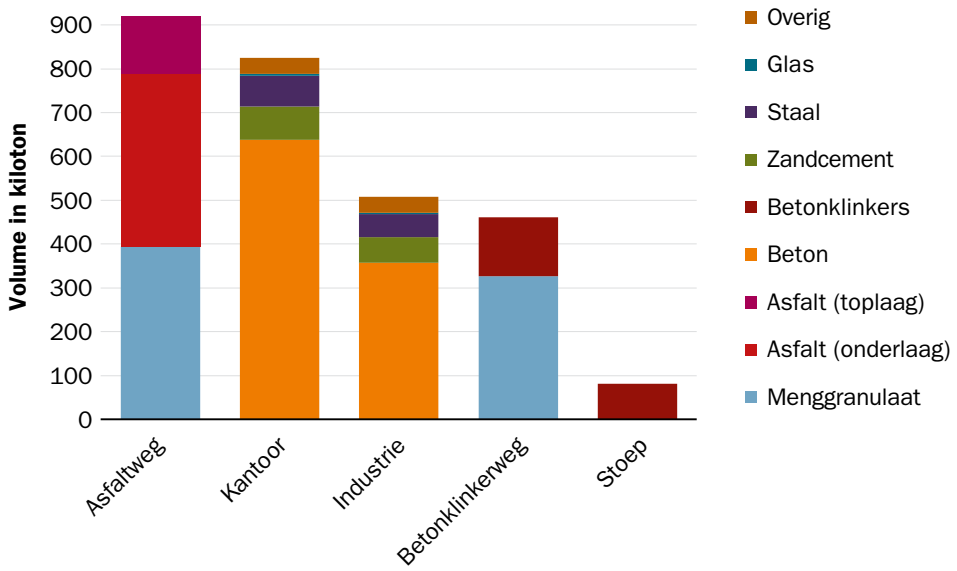
Wat komt er aan materialen vrij?

Het volume aan opgeslagen bouwmaterialen in zowel wegen als gebouwen in de geselecteerde wijken in het Haven-Stad gebied kan worden geschat op bijna 1400 kiloton (zie Tabel 2). Verreweg de grootste materiaalfracties zijn het menggranulaat (in funderingen), beton, asfalt en klinkers. De meeste materialen zijn naar schatting opgeslagen in asfaltwegen en kantoorpanden, met veel kleinere fracties opgeslagen in betonklinker-wegen en industriële panden. Deze materialen komen naar alle waarschijnlijkheid niet vrij, maar blijven bij de transformatie in gebruik door instandhouding van wegdelen of delen van de funderingen en casco's.

Primair bouwmateriaal	Volume (kton)
Wegen	
Menggranulaat	332
Asfalt[20] (onderlaag)	179
Betonklinkers	101
Asfalt[20] (toplaag)	60
Gebouwen	
Beton	532
Zandcement	66
Staal	61
Baksteen	10
Gipsplaat	4,0
Glas	3,5
Aluminium	5,4
Plafondplaat	3,2
Hout	2,3
Keramisch	1,7
Composiet	1,0
Bitumen	0,5
Koper	0,21
Rubber	0,08
Kunststof	0,06
Totaal	1.362

Tabel 2: *Opgeslagen materialen in het Haven-Stad gebied.*

20 De asfaltmix voor onderlagen en toplagen verschilt, omdat onderlagen en toplagen andere functionele en constructieve eisen hebben. Meestal is een onderlaag in stedelijk gebied AC Base en toplagen zijn AC Surf. Voor de duidelijkheid noemen we het hier overal "asfalt".



Figuur 16: *Opgeslagen volume aan materialen in de aanwezige bebouwing in het onderzoeksgebied.*

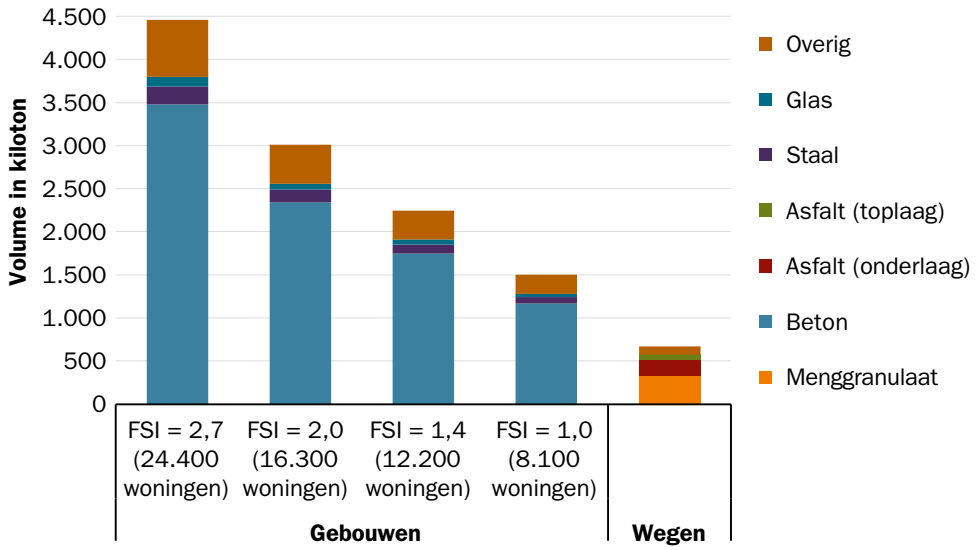
Vraag naar materialen

Om een eerste ordegrootte-schatting te kunnen geven van de materiaalvraag voor de transformatie is uitgegaan van uniforme hoogbouw met gebouwen met vliesgevels (m.n. aluminium en glas) en een wegennet dat in omvang vergelijkbaar is met het huidige wegennet. Op basis van deze aannames zijn per scenario schattingen gemaakt van het aantal kton aan bouwmaterialen dat in het Haven-Stad gebied nodig is voor de beoogde transformatie (zie Tabel 3).

Primair bouwmateriaal	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Wegen				
Menggranulaat	332	332	332	332
Asfalt (onderlaag)	179	179	179	179
Klinkers	101	101	101	101
Asfalt (toplaag)	60	60	60	60
Gebouwen				
Beton	1.171	1.746	2.343	3.476
Zandcement	147	219	294	436
Staal	72	107	144	214
HR-glas	36	54	72	107
Kalkzandsteen	27	41	55	81
Isolatiemateriaal	27	41	55	81
Baksteen	10	15	21	31
Aluminium	6,5	10	13	19
Hout	2,6	3,9	5,3	7,8
Keramisch	0,79	1,2	1,6	2,3
Bitumen	0,78	1,2	1,6	2,3
Kunststof	0,53	0,78	1,1	1,6
Koper	0,50	0,74	1,0	1,5
PVC	0,42	0,63	0,85	1,3
Totaal (kton)	**2.174**	**2.913**	**3.679**	**5.133**

Tabel 3: *Benodigde materialen voor transformatie Haven-Stad.*

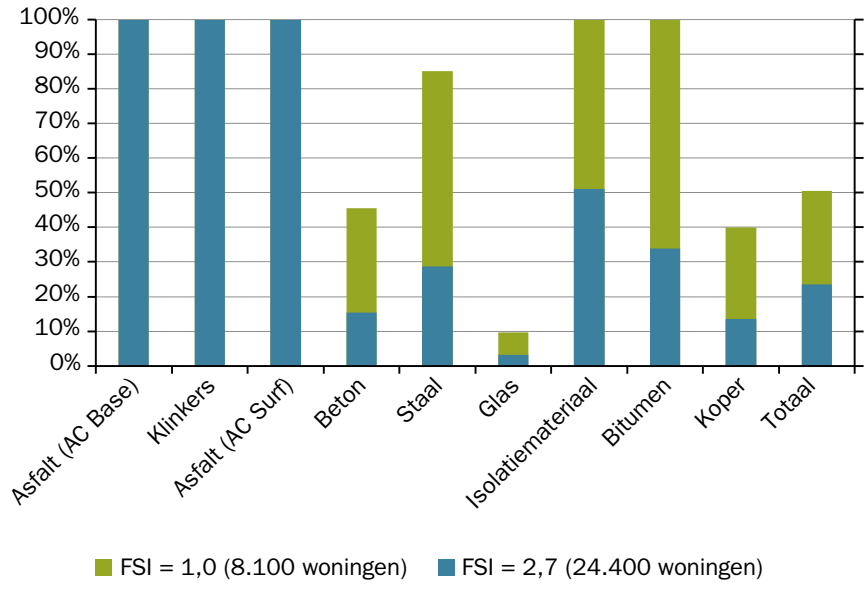
De scenario's gaan uit van verschillende niveau's van verdichting in de nieuwe situatie: hoe meer verdichting van het gebied, hoe meer materiaal in het gebied opgeslagen is na afronding van de transformatie. Na transformatie is het meeste materiaal opgeslagen in de gebouwen in het gebied (zie figuur 17).



Figuur 17: *Materiaal opgeslagen in gebouwen en wegen per scenario.*

De potentie van een circulaire transitie in Haven-Stad

In Figuur 20 wordt per materiaal aangegeven in hoeverre de vraag naar bouwmaterialen tijdens de transformatie van Haven-Stad kan worden gedekt door het aanbod van materialen die momenteel al in het gebied zijn opgeslagen. Omdat er sprake is van verschillende verdichtingsscenario's geeft de tabel een spreiding voor de match in gebouwmaterialen. Uit deze tabel blijkt dat er een theoretisch plafond voor de circulaire ambities zal zijn, dat per materiaal te bepalen is.



Figuur 18: *Match tussen vraag en aanbod van materialen tijdens de transformatie binnen het projectgebied voor scenario 1 en scenario 2. De spreiding wordt veroorzaakt door de gewenste verdichting (scenario 1-4).*

Welke vorm van recycling of hergebruik toegepast wordt hangt af van een positieve business case en van het verschil in milieu-impact door circulaire economie ten opzichte van traditioneel bouwen en slopen. De meeste bouwmaterialen en bouwproducten uit Figuur 18 hebben een relatief lage waarde dichtheid. Dat betekent dat de kosten voor verwerking (demontage en opwerking voor recycling of hergebruik) en logistiek (transport van aanbodlocatie naar verwerkingslocatie en de afzetlocatie) bepalend zijn voor de business case. Schaalgrootte is ook nadrukkelijk van invloed op de kosten.

Om zicht te krijgen op de potentie kunnen verschillende varianten voor recycling of hergebruik uitgewerkt worden, waarbij ook de specifieke kenmerken van de locatie meegenomen worden. De eventuele beschikbaarheid van andere bronnen (in de regio) voor aanbod van secundaire grondstoffen, mogelijkheden voor opslag en verwerking en het effect van de diverse locaties op schaalgrootte en kosten voor logistiek zijn bepalend voor het uiteindelijke resultaat.

3.7 ICT EN DATA ALS 'ENABLING TECHNOLOGY' VOOR CIRCULAIRE ECONOMIE

Ontwikkelingen in ICT zijn de laatste jaren bepalend voor de grootste innovaties in verschillende sectoren. Zo ook in het bouwdomein, bijvoorbeeld zichtbaar in de doorontwikkeling van gebouwbeheersystemen om installaties aan te sturen en de onderhoudsbehoefte op afstand uit te lezen (condition based maintenance) of bouwinformatiemodellen voor fysieke en functionele kenmerken van een bouwwerk gedurende de hele bouw en gebouwcyclus. ICT en data zijn vrijwel onmisbaar voor circulaire economie in de bouw. Of het nu gaat om recycling, hergebruik van bouwelementen of levensduurverlenging van een heel bouwwerk.

Onderhoud aan bouwwerken is essentieel om een lange levensduur te borgen. In vergelijking met periodiek onderhoud kan condition based maintenance bijdragen aan verminderen van de onderhoudskosten en de milieu-impact door het verminderen van bijbehorend materiaal- en energiegebruik. Onderdelen worden alleen vervangen wanneer dat echt nodig is. Condition based maintenance maakt gebruik van sensoren en informatiesystemen. Goed voor te stellen is dat Sensoren en informatiesystemen (IOT) in de toekomst ook ingezet worden voor tracking en tracing bij logistiek van elementen die zich lenen voor hergebruik.

Bouwinformatiemodellen (BIM) kunnen worden ingezet in de hele levenscyclus van een bouwwerk, dus van ontwerp, gedurende de bouw, tijdens de gebruiksfase voor beheer tot en met sloop. Met BIM wordt data uitgewisseld over fysieke en functionele kenmerken van het gebouw. BIM als techniek leent zich ook voor de mogelijkheid om een digitaal materialenpaspoort voor bouwwerken op te stellen. Met het oog op (toekomstig) hergebruik van bouwelementen zouden ook aspecten als montage/mogelijkheden voor demontage vastgelegd kunnen worden.

MADASTER: EEN KADASTER VOOR MATERIALEN

Het doel van Madaster is afval te elimineren door materialen middels een 'materialenpaspoort' een identiteit te geven. Het Madaster platform is een publieke, online bibliotheek en bevat gebouw specifieke informatie over materialen en producten. De aanleiding voor de oprichting van Madaster is het boek 'Materials Matters' dat in 2016 werd gepubliceerd Thomas Rau en Sabine Oberhuber.
Bron: www.madaster.com

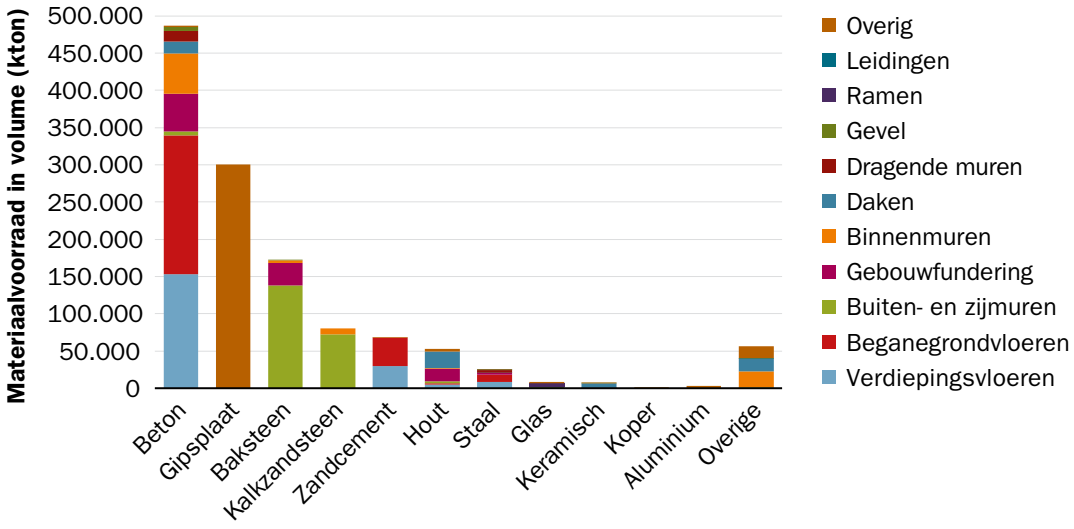
CIRCULAIR MATERIAALGEBRUIK



4 CIRCULAIR MATERIAALGEBRUIK

Van enkele materialen en hieruit opgebouwde bouwproducten, presenteren wij hierna ter illustratie een aantal circulaire opties. Deze opties gaan uit van meer efficiënt materiaalgebruik, gebruik van alternatieve materialen en hergebruik. Per product zal aan de hand van een aantal circulaire maatregelen geïllustreerd worden waar en hoeveel de milieubelasting van deze producten tijdens de levensduur kan worden gereduceerd. Het schetst voor deze bouwproducten handelingsperspectieven ter bevordering van circulaire economie in de bouw en is niet bedoeld om volledig te zijn of om een voorspelling te doen van de toekomst voor deze producten.

4.1 BETONNEN BOUWELEMENTEN



Figuur 19: *Toegepaste bouwmaterialen in de huidige voorraad (zelfde figuur als Figuur 9 in Hoofdstuk 3).*

Zoals blijkt uit bovenstaand figuur is beton het meest toegepaste materiaal in de bestaande bouw. Vanwege het zeer grote volume heeft beton ook een hoge milieu-impact in de totale bouwvoorraad. De milieu-impact van (gewapend) beton kan op diverse wijzen worden gereduceerd. Hergebruik van betonnen elementen is bijvoorbeeld een mogelijk scenario. Zo is door NIBE en de TU Delft de milieuwinst van hergebruik van kanaalplaatvloeren onderzocht.[21]

Ook is de samenstelling van beton van grote invloed op de totale milieu-impact. Het vervangen van vulstoffen (zand en grind) door betongranulaat heeft veel aandacht omdat de verwachting is dat op termijn de behoefte aan wegfunderingsmateriaal zal afnemen.

Maar de grootste impact van beton wordt veroorzaakt door cement. Wanneer CEM I (100% portlandklinker) 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), heeft dit een grotere impact dan het vervangen van primaire vulstoffen. Nederland is koploper op het gebied van lage CO_2-uitstoot per kilo cement dankzij van het intensieve gebruik van secundaire stromen zoals hoogovenslak en vliegas in beton. Hoogovenslak zorgt ook voor een langere levensduur. Maar deze secundaire stromen dreigen in de toekomst op te drogen. Om de Nederlandse koppositie op het gebied van duurzaam beton te verstevigen, doet TNO ook projecten voor alternatieve bindmiddelen, bijvoorbeeld op basis van geopolymeren en gevitrificeerde bodemassen. Ook werken we aan cementreductie met behulp van slimme korrelstapeling van fijne fracties uit betonpuin.

21 N.Naber, D. van Keulen, M. Haas (2013), Milieuwinst bij hergebruik kanaalplaten, Cement 2013.

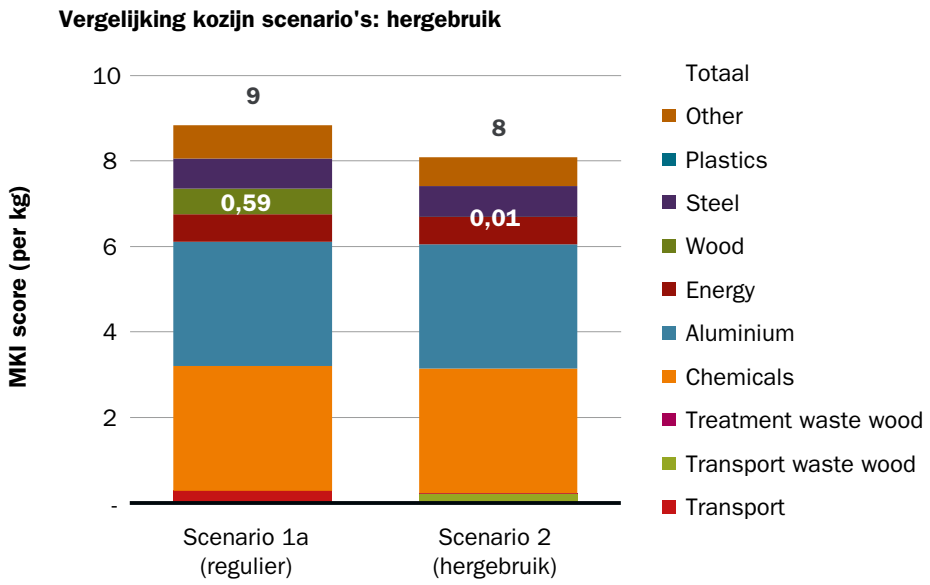
4.2 CIRCULAIR HOUTGEBRUIK KOZIJNEN

Het gebruik van hout als bouw- en constructiemateriaal wordt gezien als een duurzame optie vanwege het, in potentie, onuitputtelijke en hernieuwbare karakter. Mede bepalend voor dit beeld zijn, in vergelijking met andere primaire bouwmaterialen, de rol die bomen spelen in het opnemen van CO_2 en de relatief geringe hoeveelheid energie nodig om deze primaire grondstof te winnen.
Verbruik van hout voor de productie van houten kozijnen is een van de meest voorkomende toepassingen in de Nederlandse woningbouw.

Circulariteit wordt geassocieerd met het sluiten van kringlopen wat vaak weer synoniem is voor recycling of nuttig hergebruik. Maar er zijn ook andere handelingsperspectieven voor een meer circulair gebruik van hout als bouw- en constructiemateriaal en in het bijzonder voor het houten kozijn. Een aantal inspirerende voorbeelden[22] worden hier gepresenteerd.

Hergebruik

Als een van de meest voor de hand liggende circulaire opties is het effect van hergebruik van kozijnen aan het eind van de levensduur inzichtelijk gemaakt (zie Figuur 20). De gepresenteerde resultaten vergelijken de totale milieu-impact over een periode van 100 jaar waarin voor beide scenario's iedere 20 jaar (dus vijf kozijnen in totaal) een nieuw kozijn wordt geïnstalleerd.
Scenario 1a representeert het installeren van 5 nieuwe kozijnen over 100 jaar en scenario 2 gaat uit van 1 nieuw kozijn en vervolgens 4 keer een bewerking of hergebruik van het oorspronkelijke kozijn.



Figuur 20: *milieu-impact houten kozijn volgens 2 scenario's.*

Hergebruik van het kozijn blijkt een reductie van ruim 90% te geven van de milieu-impact door houtgebruik (label "wood" in bovenstaande figuur). Het wegvallen van energieopwekking door verbranding van biomassa is in het hergebruik scenario gecompenseerd met een gelijke hoeveelheid opgewerkte windenergie.
Dit geeft nog een kleine extra verbetering van de totale milieu-impact (label "other").

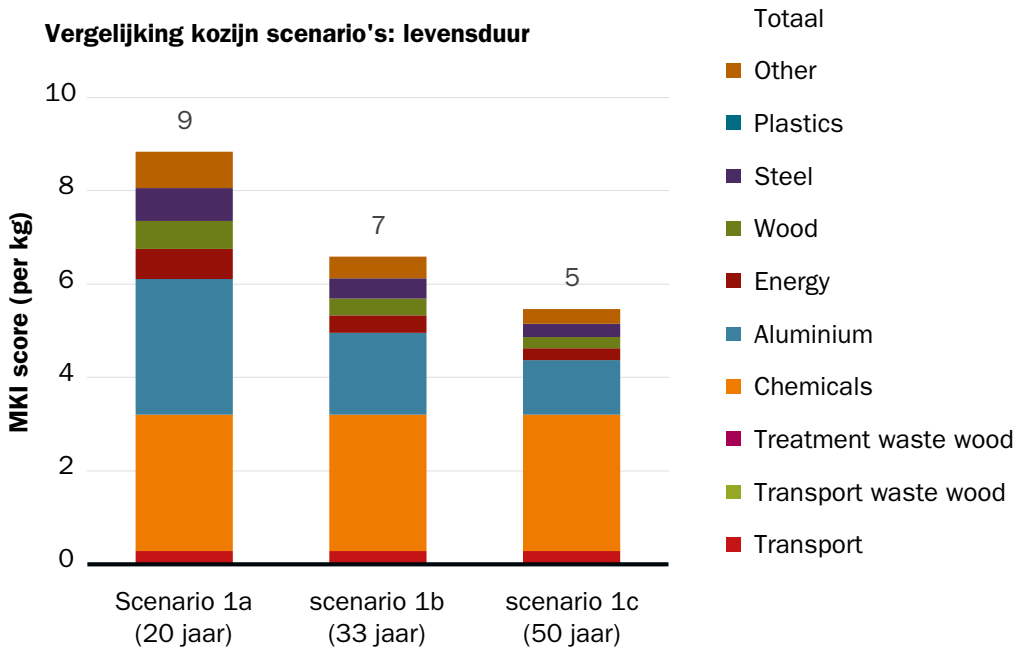
Onderhoud en detaillering

De milieu-impact van houtgebruik in scenario 1a blijkt met een kleine 7% niet de grootste bijdrage te leveren aan de totale milieu-impact. Met name het gebruik van onderhoudsmiddelen (o.a. verf gemiddeld iedere zes jaar) en het gebruik van aluminium (als onderdeel in de detaillering van het houten kozijn) zijn ieder verantwoordelijk voor ongeveer 33% van de totale impact. Hier liggen met name de oplossingsrichtingen voor een significante verbetering van de milieu-impact, denk bijvoorbeeld aan het gebruik van bio-based onderhoudsmiddelen. Gelet op de relatieve kleine impact van het houtgebruik en de productie van het kozijn is zelfs een concept met een kortere levensduur van het kozijn maar zonder enig gebruik van onderhoudsmiddelen denkbaar (en bij voorkeur geen aluminium onderdelen).

22 met de resultaten wordt beoogd om verschillende circulaire opties voor een 'gemiddeld Europees houten kozijn' te verkennen door deze onderling te vergelijken. Een 'absoluut oordeel' van de milieu-impact van een specifiek kozijn kan niet gegeven worden op basis van de uitkomsten.

Levensduur

Het effect van verlenging van de levensduur laat zich voor een aantal posten vertalen in het ‘uitsmeren van de milieu-impact’ van deze posten over een langere tijd waarmee de totale milieu-impact reduceert. Een vergelijking is gemaakt van de totale milieu-impact voor een periode van 100 jaar waarin respectievelijk vijf maal (levensduur 20 jaar, scenario 1a), 3 maal (levensduur 33 jaar, scenario 1b) en 2 maal (levensduur 50 jaar, scenario 1c) een nieuw kozijn wordt geïnstalleerd.



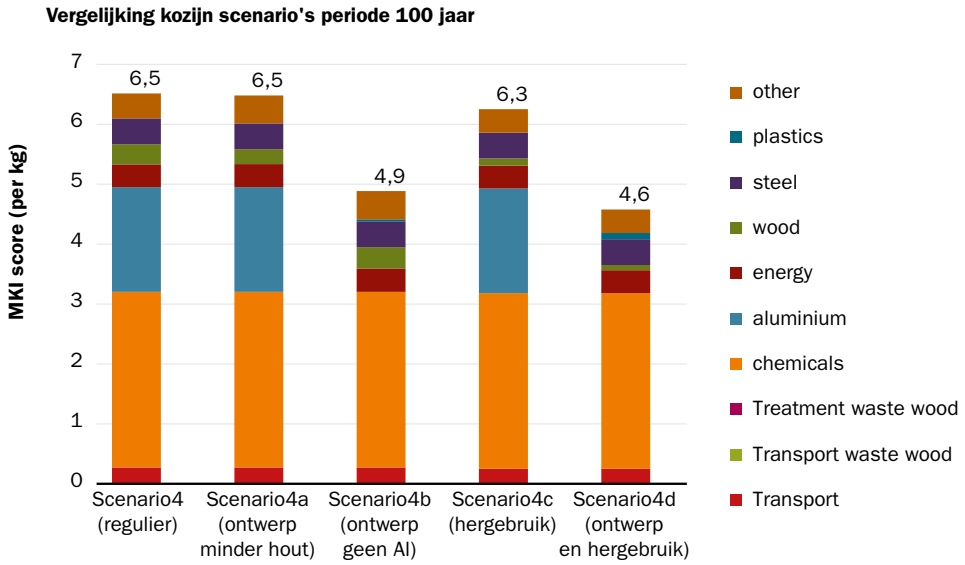
Figuur 21: *vergelijking milieu-impact levensduur houten kozijnen.*

Levensduurverlening resulteert voor bijna alle posten in een afnemende milieu-impact met een toenemende levensduur. Een verlenging van de levensduur van 20 naar 33 en 50 jaar resulteert grofweg in een reductie van de impact in de orde van respectievelijk 40% en 60%. De afnemende ‘meerwaarde’ van levensduurverlenging (of de limiet aan verdere optimalisatie) wordt nadrukkelijk veroorzaakt door de impact van lijm en verf (de post “chemicals” in de figuur).

Ontwerp

In het ontwerp van kozijnen liggen veel van de mogelijke optimalisaties op het gebied van milieu-impact besloten, immers de mate van zaken als materiaalgebruik, herbruikbaarheid, levensduur en onderhoud hangen hier sterk mee samen. Ontwerp moet hierbij zo breed mogelijk worden gezien en omvat het ontwerpen van nieuwe kozijnen en het ontwerpen voor hergebruik van bestaande en nieuwe kozijnen.

Aangezien de bijdrage van het houtgebruik aan de totale milieu-impact relatief gering is, is ook de besparing als gevolg van een 30% materiaalarmer ontwerp beperkt (scenario 4a). Het effect van het toepassen van een alternatief voor aluminium daarentegen heeft zoals verwacht een aanzienlijk effect of de milieu-impact (scenario 4b en 4d). Wederom is duidelijk dat in alternatieven voor het gebruik onderhoudsmiddelen nog een aanzienlijk verbeterpotentie ligt.



Figuur 22: *vergelijking milieu-impact ontwerp houten kozijnen*

De milieu-impact over een periode van 100 jaar zijn voor verschillende ontwerpvarianten vergeleken. Het betreft de volgende (ontwerp)varianten:
Scenario 4: Levensduur kozijn 33 jaar (dus 3x kozijn)
Scenario 4a: Levensduur kozijn 33 jaar, 30% minder houtgebruik door slanker ontwerp (dus 3x kozijn)
Scenario 4b: Levensduur kozijn 33 jaar, 30% minder houtgebruik door slanker ontwerp en alle aluminium onderdelen vervangen door kunststof (dus 3x kozijn)
Scenario 4c: Levensduur kozijn 33 jaar met 95% hergebruik (dus 3x kozijn)
Scenario 4d: Levensduur kozijn 33 jaar met 95% hergebruik (dus 3x kozijn), 30% minder houtgebruik door slanker ontwerp en alle aluminium onderdelen vervangen door kunststof

PROJECT: RECYCLING VAN HOUTEN DEUREN

Bij renovatie- en sloopprojecten gaan jaarlijks vele duizenden hardhouten deuren op de vuilnishoop om uiteindelijk in de verbrandingsoven te eindigen. Zonde, want er zit veel herbruikbaar hout in. TNO heeft in een eerste demonstratieproject samen met een aantal bedrijven laten zien hoe deze verspilling op een rendabele manier is terug te draaien. Dubbel winst: voor het milieu en onze bedrijvigheid.

30% REDUCTIE MILIEU-IMPACT
Het verwerken van hardhouten buitendeuren tot nieuwe deuren, kozijnen of andere producten levert een substantiële reductie van de milieu-impact op, naar schatting 30%, in vergelijking tot verbranden. Het past in onze ambitie afval te zien als grondstof op weg naar een circulaire economie. Dit bespaart houtkap en beperkt transport van hardhout vanuit Azië. Het afval van nu is dus het bouwmateriaal van de toekomst. Behalve hergebruik zijn terugdringen van transport en het creëren van banen extra winstpunten.

ROLLEN VERANDEREN
Voor de eerste proef bracht TNO een groep bedrijven bij elkaar, zoals een houtverwerker, timmerfabriek, deurenfabrikant, afvalverwerker en -sorteerder en een bedrijf dat zich bezig houdt met vastgoedmanagement. Het idee was zoveel mogelijk hout te ‘oogsten’ uit oude deuren en hier hoogwaardige producten van te maken.

Het initiatief tot het opslaan en verwerken van oude deuren in plaats van verbranden leidde in het samenwerkingsverband al snel tot discussies over ieders rol binnen de keten. Want die verandert in de nieuwe aanpak. Nu gaat bij een sloopproject het afval gelijk naar de verwerker die het sorteert en het hout laat verbranden. De bedoeling is om op termijn alle deuren in Nederland in te zamelen en te verwerken. Wie de verwerking op zich neemt, een houthandel of een timmerbedrijf, is van secundair belang.

Binnen het project werkt TNO samen met de volgende bedrijven:
Biltz Bouw en Onderhoud, Amsterdam
De Stiho Groep B.V., Nieuwegein
Helwig Timmerfabriek B.V., Geleen
Mevo Houtindustrie, Helmond
WEBO, Rijssen
Weekamp Deuren, Dedemsvaart
GP Groot, Alkmaar



4.3 BAKSTENEN

Baksteen is een van de meest toegepaste producten in gevels in de Nederlandse woningbouw. Naast de esthetische kwaliteiten wordt de baksteen gevel, vooral toegepast in de vorm van metselwerk, ook als duurzame keuze gezien. Gevels met een levensduur van meer dan 75 jaar zijn niet uitzonderlijk en ook het relatief beperkte onderhoud aan gemetselde gevels draagt bij aan dit beeld. Bovendien wordt klei gezien als een hernieuwbare grondstof waarvan de huidige jaarlijkse winning de afzet in rivieren niet overschrijdt[23]. In 2016 zijn in Nederland ca. 850 miljoen metselbakstenen geproduceerd.

Hergebruik secundair materiaal

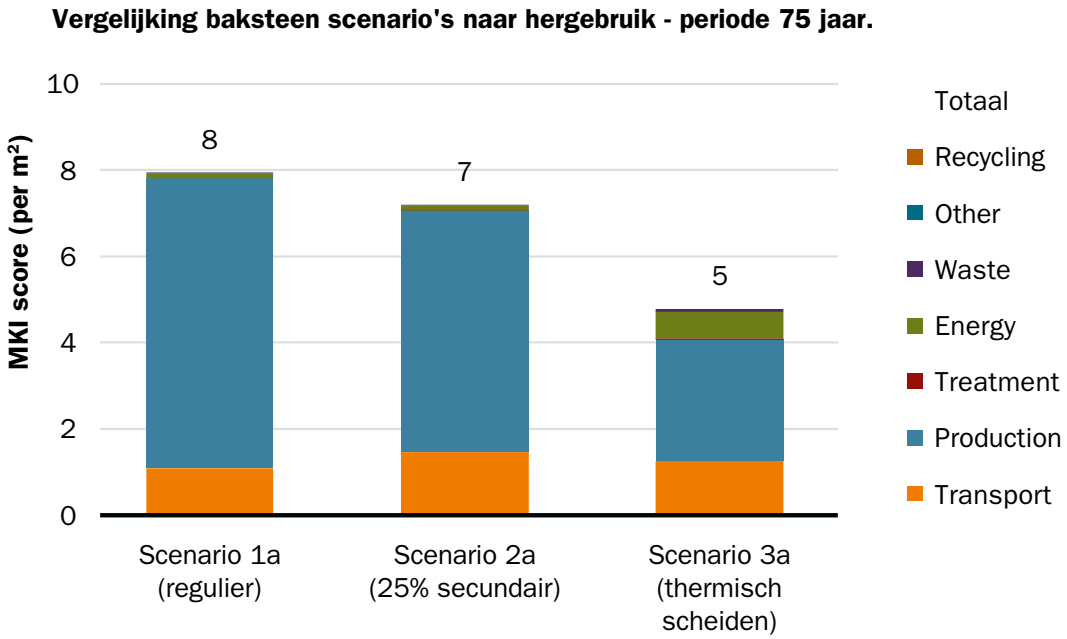
De totale milieu impact over de aangenomen levensduur van 75 jaar wordt gepresenteerd in twee scenario's in figuur 23 hieronder. Van kleiwinning tot en met hergebruik als fundatiemateriaal (scenario 1a). Hergebruik van secundair gebakken keramisch materiaal als vervanger van klei bij de productie van baksteen (scenario 2a). Voor scenario 2a is uitgegaan van het gebruik van 25% uit sloop vrijgekomen en gemalen baksteenpuin ter vervanging van primaire klei. In beide scenario's is uitgegaan van het gebruik van een cementgebonden metselmortel en het eenmalig vervangen van het voegwerk gedurende de levensduur. Deze vergelijking toont aan dat de totale milieu impact iets verlaagd wordt als gevolg van hergebruik. De milieu-impact door extra transport in scenario 2a wordt ruimschoots gecompenseerd door de lagere impact door productie gebruikmakend van secundair materiaal.

23 Sediment Management and the renewability of foodplain clay for structural ceramics, Van der Meulen, et. al., Journal of soils and sediments, December 2009

Hergebruik volledige baksteen

Als aanvulling op het hiervoor beschreven gebruik van secundair materiaal is een aanvullende analyse gemaakt (scenario 3a) waarbij een volledige baksteen wordt teruggewonnen uit gesloopt metselwerk. Hierbij is uitgegaan van een onderzochte techniek van het thermisch scheiden van bakstenen. Bij het mechanisch losmaken van de stenen uit het metselwerk en thermisch scheiden van mortel en stenen bij ca. 600 graden kunnen terugwinpercentages van ca. 40% worden verkregen [24].

Door gebruik te maken van deze methode wordt een forse winst geboekt op het gebied van milieu-impact. Gelet op de specifieke eisen die gesteld worden aan de kwaliteit van teruggewonnen materialen en het verwerkingsproces is aanvullend onderzoek nodig op naar de kwaliteit van de huidige beschikbare voorraad zoals eerder is beschreven. Een reductie van de milieu-impact van 40% is echter een lonkend perspectief waar een business case op gebouwd moet kunnen worden. Helemaal als gedegen informatie beschikbaar komt over kwaliteit en kwantiteit van teruggewonnen materiaal per gebied.



Figuur 23: *vergelijking van de milieu-impact bij secundair keramisch materiaal (2a) en volledig hergebruik baksteen (3a).*

Meervoudig hergebruik

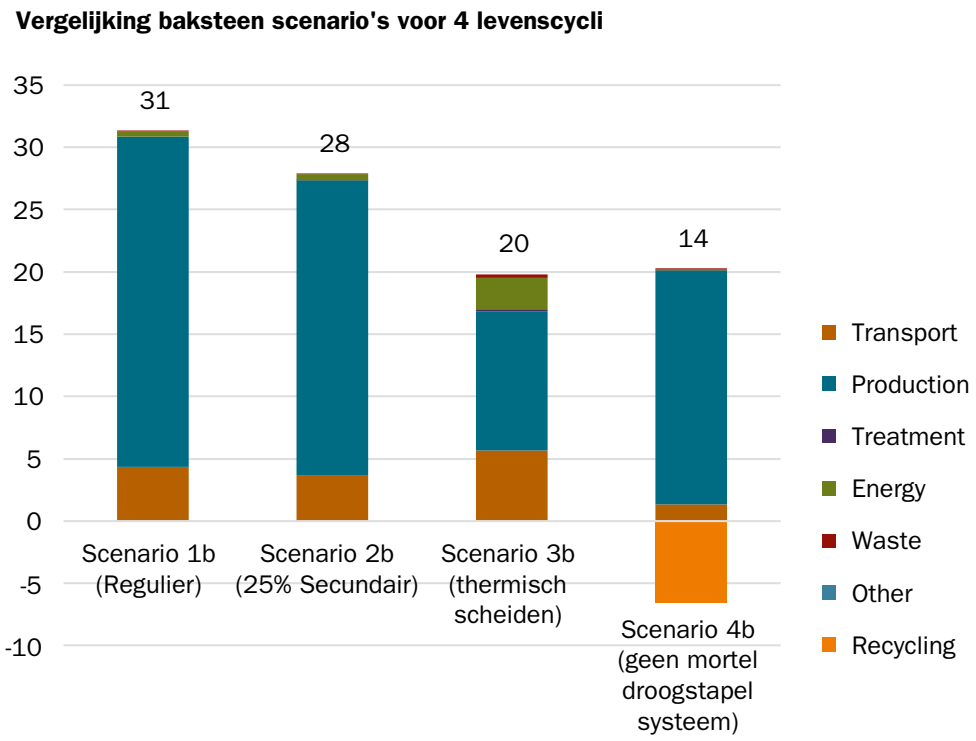
Bij de beschreven hergebruik oplossingen zorgt met name het productieproces van de baksteen voor milieu impact. Er zijn echter ook oplossingen denkbaar die verder gaan dan productie alleen en ook effect hebben op ontwerp en gebruiksfase van de baksteen, bijvoorbeeld droogstapelsystemen. Om de milieu impact van dergelijke oplossingen aan te tonen is in figuur 24 hieronder de milieu impact gepresenteerd waarbij uitgegaan wordt van 4 levenscycli van 75 jaar.

Natuurlijk kan niemand een periode van 300 jaar overzien, zeker vanuit het perspectief van een producent is een business case over 300 jaar geen mogelijkheid. De vergelijking is bedoeld om te laten zien wat de bepaalde keuzes voor invloed hebben op de totale de milieu-impact van meerdere levenscycli van een baksteen.

24 Het onderzoek naar het thermisch scheiden van stenen is gerapporteerd in TNO rapport OG-RPT-APD-2008-00076, Kringbouw – deelproject 1: het thermisch terugwinnen van hele bakstenen, d.d. mei 2008. In dit rapport is beschreven hoe terugwinpercentages sterk afhankelijk zijn van de kwaliteit van de steen het type mortel. Ook zijn andere dan thermische methoden, bijvoorbeeld mechanisch, onderzocht.

De volgende scenario's zijn vergeleken:

- Scenario 1b: het 4 maal produceren van nieuwe bakstenen, verwerking met een cementgebonden mortel, gedurende 1 levenscyclus 1 maal tussentijds vervangen van het voegwerk en recycling na 4 levenscycli als fundatiemateriaal
- Scenario 2b: gelijk aan scenario 1b maar productie met 25% vervanging van klei door secundair gebroken keramisch materiaal
- Scenario 3b: eerste levenscyclus productie van een nieuwe baksteen, 2e tot en met 4e levenscyclus thermisch scheiden van bakstenen, recycling van uitval thermisch scheidingsproces en bakstenen na 4 levenscycli als fundatiemateriaal
- Scenario 4b: eerste levenscyclus productie nieuwe droogstapelstenen, mechanische verwerking zonder mortel, geen onderhoud, recycling na 4 levenscycli als fundatiemateriaal



Figuur 24: *vergelijking milieu-impact voor 4 levenscycli (periode 300 jaar).*

TNO CONNECTS PEOPLE AND KNOWLEDGE TO CREATE INNOVATIONS THAT BOOST THE COMPETITIVE STRENGTH OF INDUSTRY AND THE WELL-BEING OF SOCIETY IN A SUSTAINABLE WAY.

TNO.NL

17-9527 maart 2018