

Circulaire Ketens

**WERKBOEK OVER HERGEBRUIKSMOGELIJKHEDEN VAN
GRONDSTOFFEN EN MATERIALEN IN DE INDUSTRIE,
DE BOUW EN DE STEDELIJKE OMGEVING**



Photo by [Jens Rademacher](#) on [Unsplash](#)

Circulaire Ketens

Werkboek over hergebruiksmogelijkheden van grondstoffen en materialen in de industrie, de bouw en de stedelijke omgeving

Auteurs

Evert-Jan Velzing
Annemiek van der Meijden
Kitty Vreeswijk
Ruben Vrijhoef

Inlichtingen

Dit is een uitgave van het lectoraat Building Future Cities van de Hogeschool Utrecht. Voor vragen kunt u contact opnemen met Evert-Jan Velzing (evert-jan.velzing@hu.nl).

Voor andere onderzoeksprojecten van het lectoraat kunt u contact opnemen met Ruben Vrijhoef (ruben.vrijhoef@hu.nl) of de website raadplegen <https://www.hu.nl/onderzoek/building-future-cities>

Dit werkboek is mede mogelijk gemaakt door subsidie van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling (EFRO) Kansen voor West II, dat gericht is op het versterken van de regionale concurrentiekracht en het vergroten van de werkgelegenheid.



European Union
European Regional
Development Fund

Datum

26 juli 2021

Versie

2.0

© Lectoraat Building Future Cities, Hogeschool Utrecht, Utrecht, 2021

Bronvermelding is verplicht.
Vereenvoudigen voor eigen gebruik of internetgebruik is toegestaan.

Voorwoord

Duurzaamheid is al lange tijd een belangrijk thema in het onderzoek en onderwijs van de Hogeschool Utrecht. Een aanzienlijk deel van de multidisciplinaire Quest-studentenprojecten van het Institute for Design & Engineering past binnen dit thema. Sinds enkele jaren is er daarnaast steeds meer aandacht voor circulaire economie. De opleiding Built Environment startte om die reden in 2018 een specialisatieprogramma Circulaire Stad.

In de afgelopen jaren deden studenten onderzoek in het kader van het meerjarige EFRO-project Werkspoorkwartier: Creatief Circulair Maakgebied¹ van het Lectoraat Building Future Cities. Dit project heeft tot nieuwe inzichten geleid op circulaire gebiedsherontwikkeling en bouw. Wij delen de tussentijdse uitkomsten van het project graag, omdat het interessante resultaten zijn en er frisse ideeën tussen zitten voor het sluiten van ketens.

In dit werkboek laten we de uitkomsten van verschillende studentenprojecten zien als case studies in het onderzoekskader van het EFRO-project. Met deze case studies beogen we de gevolgen van de circulaire economie voor de bouw, de industrie en de stedelijke ontwikkeling duidelijk te maken voor hogeschoolstudenten en praktijkpartijen.

Het is goed om te weten dat de studentenprojecten verschillend zijn van aanpak en kwaliteit. De resultaten zijn niet altijd geheel compleet en zijn gebaseerd op verschillende onderzoeksmethoden. Desondanks hebben de studies veel inzicht opgeleverd. Met dit werkboek hopen we dat toekomstige studenten het niveau en de kwaliteit van hun studies kunnen verhogen met grotere meerwaarde voor onderzoek en bedrijfsleven. Op die manier kunnen we relevant blijven voor de bedrijven waar we mee samen werken. Dat er nieuwe case studies komen, betekent ook dat dit werkboek in ontwikkeling is. In de komende tijd van het EFRO-project zal het werkboek verbeteren, zowel qua diepgang als presentatie. We willen echter de tussenresultaten en goede ervaringen met onze studenten en betrokken praktijkpartijen graag nu al delen.

Bij deze willen we onze partners bedanken in het EFRO-project Werkspoorkwartier: Creatief Circulair Maakgebied. Dit zijn: Buurman Utrecht en Buurman Rotterdam, het Hof van Cartesius, BOOT, Insert, De Plaatsmaker, Erfgoed Werkspoor Utrecht, het Copernicus Institute van de UU, de Hogeschool voor de Kunsten en het Utrecht Sustainability Institute. Zij deelden hun expertise, ervaring en netwerk met onze studenten; en ze maakten de studentenprojecten daardoor mogelijk.

¹ www.efro-wsk.nl

Inhoud

Voorwoord	ii
1. Inleiding	1
1.1 De bouw en waardeketens.....	1
1.2 (Leer)doelen en opbouw van dit werkboek	2
2. Theorie over de Circulaire Economie	3
2.1 Definitie Circulaire Economie	3
2.2 R-strategieën en de bouwketen	4
2.2.1 De R-strategieën	4
2.2.2 Circulariteit in de bouwketen	6
2.2.2 Aandachtspunten circulair ontwerp en hergebruik bouwmaterialen.....	7
2.3 Waardecreatie en businessmodellen	8
2.4 Opdrachten.....	10
3. Stromenanalyse van een systeem	11
3.1 Stromenanalyses Werkspoorkwartier	12
3.2 Bouwmaterialen (WSK)	12
3.3. Energie Werkspoorkwartier	15
3.4 Water Werkspoorkwartier	18
3.5 Afsluiting en opdrachten	22
4. Hergebruiksmogelijkheden van basismaterialen	23
4.1 Beton	23
4.2 Hout.....	26
4.3 Metalen	31
4.3.1 Staal (Ferro)	31
4.3.2 Aluminium (non-Ferro).....	34
4.4 Kunststof.....	36
4.6 Afsluiting en opdrachten	39

5. Circulaire ketens voor specifieke producten.....	40
5.1 Keten voor refurbished plafondplaten.....	40
5.2 Keten voor hergebruik van kranen.....	43
5.3 Levenscyclus (keten) van isolatiematerialen en de milieueffecten	50
5.3.1 PIR isolatiemateriaal.....	51
5.3.2 Houtwol isolatiemateriaal.....	53
5.3.3 Vlas isolatiemateriaal	54
5.3.4 Milieueffecten isolatiematerialen	56
5.4 Afsluiting en opdrachten	58
 Bibliografie	 60
 BIJLAGE 1 Beschrijving 6 R-strategieën	 64
BIJLAGE 2 Project Circulair Hout is Goud Waard.....	67
BIJLAGE 3 Beschrijving schrootrecycling	69
BIJLAGE 4 Overzicht hergebruikmogelijkheden volgens Icibaci, L. (2019).	71
BIJLAGE 5 Flowchart proces opknappen harde plafondplaten	75
BIJLAGE 6 Ketens kranen.....	76

1. Inleiding

De bevolking stijgt, de welvaart neemt toe, en in de huidige economie betekent deze groei dat materialen en grondstoffen steeds schaarser worden. Al enkele decennia waarschuwen milieu- en klimaatwetenschappers over de grenzen aan economische groei en consumentisme. Wereldwijd gaat het dan bijvoorbeeld over de gevaren van klimaatverandering, verzuring van oceanen en waterschaarste (Meadows et al, 1972; Rockstrom et al, 2009; Rockstrom et al, 2015). De Europese Commissie benadrukt het overmatige gebruik van grondstoffen, het verval van biodiversiteit en de gevolgen van vervuiling (EC, 2019).

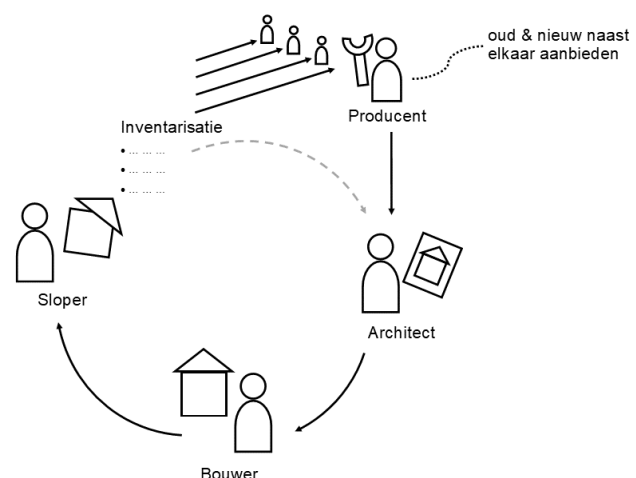
De inzichten uit wetenschappelijk onderzoek hebben er toe geleid dat overheden steeds meer aandacht zijn gaan besteden aan duurzaamheid en het ontwikkelen van een duurzame economie. Alhoewel de betekenis van een duurzame economie lang niet altijd duidelijk is, neemt het aantal overheidsorganisaties en bedrijven dat duurzame doelen stelt toe. Recente voorbeelden van duurzame plannen zijn de Sustainable Development Goals van de Verenigde Naties (UN, 2015), de Green Deal van de Europese Commissie (EC, 2019) en het missiebeleid van de Nederlandse overheid (MinEZK, 2019). In het bedrijfsleven bestaan initiatieven zoals de World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) en een standaard voor Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen (MVO, zie de standaard ISO 26000).

Circulaire economie en circulariteit zijn termen die in het verband van duurzame ontwikkeling steeds vaker te lezen zijn, met name als het gaat over duurzaamheid in de bouw en de industrie. Maar wat is dat nu? En hoe ziet die circulaire economie er dan uit voor specifieke materialen en hun productie- en gebruiksketen? En wat betekent dat voor de bouw en de industrie. Die vragen staan centraal in dit werkboek over Circulaire Ketens.

1.1 De bouw en waardeketens

De bouwsector is een belangrijke ‘verbruiker’ van grondstoffen. In Nederland is de bouw verantwoordelijk voor de helft van het gebruik van grondstoffen, 40 procent van het energieverbruik (MinIM & MinEZ, 2016) en om en nabij 40 procent van het Nederlandse afval komt uit sloop- en bouwprojecten (CE, 2014; CBS et al, 2017). Het idee van de circulaire economie is dat slimmer ontwerp en hergebruik van bouwgrondstoffen (op welke wijze dan ook) leidt tot een lager verbruik van primaire grondstoffen (*virgin materials*).

Het zou een misvatting zijn als we alleen focussen op één sector, zoals de bouw. Het beter benutten van grondstoffen kan namelijk niet zonder de keten van bedrijven die de producten maken. Van hen komt immers het ontwerp en maakbedrijven schaffen de basisgrondstoffen aan. Als het gaat om circulaire ketens beschouwen we dan ook zowel de bouw als de verschillende industriële sectoren die de (bouw)materialen produceren. Figuur 1.1 laat deze samenhang zien en maakt duidelijk dat een architect een gebouw ontwerpt, de bouwer het vervaardigt en de sloper het amoveert. Het is meestal niet zo dat het sloopmateriaal na een inventarisatie



Figuur 1.1: de keten van sloop, ontwerp, bouw en herproductie (uit: Velzing & Vreeswijk, 2019).

de basis is voor het ontwerp van een architect (vandaar de stippellijn). Realistischer is het dat de verschillende materialen terechtkomen bij producenten en leveranciers. Dan kan het namelijk optimaal worden benut als component of basismateriaal.

In de praktijk zou dat betekenen dat er verschillende 'stromen' zijn voor de grondstoffen en materialen die beschikbaar komen uit de sloop, bijvoorbeeld beton, kozijnen of isolatiemateriaal. In figuur 1.1 is dit geïllustreerd met de verschillende lijnen en producenten. Die producenten bieden vervolgens oud en nieuw naast elkaar aan. De architect verandert dan niet haar werk en maakt nog steeds een ontwerp, waarna ze op zoek gaat naar de materialen om dit te realiseren. Een steeds groter deel van dat materiaal kan circulair worden.

De consequentie van deze manier van kijken per cluster of branche is dat ieder materiaal een andere analyse vergt, omdat er andere actoren zijn en de eigenschappen steeds verschillen. Het is relevant om een analyse te maken met een circulair perspectief. Dat betekent tegelijk de vraag stellen: hoe komt een product tot stand? En wat is er voor nodig om de 'kringloop te sluiten'? Er zijn nu al talrijke mogelijkheden om bouwgrondstoffen opnieuw te gebruiken en in een aantal casestudies geven we daar meer inzicht in.

1.2 (Leer)doelen en opbouw van dit werkboek

De roep om een transitie naar meer circulaire bedrijvigheid en zelfs een circulaire economie heeft haar weerslag op bestaande en nieuwe bedrijven. Voor (toekomstige) werknemers is het daarom belangrijk om kennis te hebben van begrippen als duurzaamheid en circulariteit en om deze begrippen te kunnen toepassen in de praktijk. Concreet komt in dit werkboek het volgende aan bod:

- Inzicht in het begrip circulaire economie.
- Inzicht in de toepassing van systeem- en stromenanalyse.
- Kennis van het hergebruik van bouwmaterialen.
- Inzicht in het toepassen van een ketenanalyse om te komen tot verkleining van de kringlopen.

Hoofdstuk 2 is een beknopte weergave van de theorie over circulaire economie. Het wordt duidelijk wat leidende definities zijn van duurzaamheid en circulariteit en hoe deze begrippen samenhangen. Vervolgens wordt ingegaan op circulaire ketens en de zogenaamde R-strategieën, waarmee aangegeven kan worden op welke wijze bouw materiaal hergebruikt kan worden en waar dit in de keten plaatsvindt.

Na het bespreken van een beetje theorie, staan in de volgende hoofdstukken diverse voorbeelden van studentenprojecten waar (mogelijke) circulaire ketens zijn beschreven en geanalyseerd. Deze voorbeelden zijn gestructureerd door circulariteit vanuit verschillende perspectieven te beoordelen. Een systeem perspectief helpt om inzicht te krijgen in de circulariteit van een bepaald bedrijf of gebied (hoofdstuk 3). Een andere invalshoek is om de circulaire mogelijkheden van veel voorkomende basismaterialen te analyseren. In hoofdstuk 4 wordt hier beknopt op ingegaan voor beton, hout, metaal en kunststof. De meest concrete invalshoek is nagaan hoe waardeketens zijn te sluiten op het niveau van specifieke producten. In hoofdstuk 5 staan een drietal voorbeelden: plafondplaten, kranen en isolatiemateriaal.

De casestudies uit de hoofdstukken 3 tot en met 5 zijn een samenvattingen van studentenprojecten waarin een stromenanalyse is gedaan. Na een korte introductie over de case volgen de resultaten en analyses van de studenten. Daarna volgt een korte reflectie, met vragen en opdrachten.

2. Theorie over de Circulaire Economie

In 1987 definieerde de VN-commissie Brundtland (World Commission on Environment and Development, 1987) duurzame ontwikkeling als: “een ontwikkeling die voorziet in de behoeften van de huidige generatie, zonder de behoeften van toekomstige generaties, zowel hier als in andere delen van de wereld, in gevaar te brengen”. Er wordt vaak verwezen naar drie aandachtsgebieden van duurzame ontwikkeling: People, Planet en Prosperity/Profit. Deze drie p’s staan ook bekend als de Triple Bottom Line (Elkington, 1998). De beoordeling van activiteiten gebeurt dan niet alleen op basis van financiële factoren, maar ecologische en sociale aspecten wegen even zwaar. Het streven is een balans tussen de drie P’s en dat de ene p niet ten koste gaat van de andere.

Duurzaamheid is een breder begrip dan circulariteit en circulaire economie (Geissdoerfer, 2017). Het verwezenlijken van een circulair economie is echter een voorwaarde voor duurzaamheid, omdat het sluiten van grondstof- en materiaalketens nodig is om de uitputting van de bio- en litosfeer te verminderen. De relatie tussen circulaire economie en duurzaamheid wordt evenwel niet altijd expliciet uitgewerkt (Kirchherr, 2017). Het blijft daarom van belang er zorg voor te dragen dat circulaire economie niet leidt tot negatieve effecten op duurzaamheid zoals meer gebruik van (fossiele energie).

In dit theoriehoofdstuk bespreken we de achtergrond van circulaire economie. We geven eerst een definitie (paragraaf 2.1). Dit is de basis om circulaire economie verder te kunnen uitwerken in strategieën voor circulariteit en te kunnen relateren aan de bouwketen en aan de maakindustrie die produceert voor de bouw (paragraaf 2.2). Tot slot gaan we in op de gevolgen van circulaire economie voor waardecreatie en bedrijfsmodellen (paragraaf 2.3). In paragraaf 2.4 sluiten we af met een opdracht.

2.1 Definitie Circulaire Economie

Over circulariteit wordt veel beweerd en gezegd, maar gelukkig ook veel geschreven. Er zijn dan ook meerdere definities van circulariteit en circulaire economie. De definities richten zich vaak op grondstofgebruik (sluiten van kringlopen) en de systeemveranderingen die hiervoor nodig zijn. Het gaat dan om circulaire systemen, “productie- en productcycli waarvan de materialen na gebruik biologisch of technisch opnieuw kunnen worden ingezet” (Velzing & Stroe-Biezen, 2017). Het Groene Brein² hanteert als definitie van een circulaire economie (Het Groene Brein, sd):

“Een circulaire economie is een economisch systeem van gesloten kringlopen waarin grondstoffen, onderdelen en producten hun waarde zo min mogelijk verliezen, hernieuwbare energiebronnen worden gebruikt en systeemdenken centraal staat.”

Als het gaat om het sluiten van kringlopen, dan verwijzen onderzoekers vaak naar circulaire strategieën, zoals *reduce*, *reuse* en *recycle* (deze begrippen bespreken we in paragraaf 2.2). Naast definities over het sluiten van kringlopen en het gebruiken van hernieuwbare energie zijn er ook definities van circulaire economie die breder zijn en de rol van overheden en consumenten meenemen. Een meer omvattende definitie sluit aan bij de term economie, die gaat over de keuzes die mensen maken bij de productie, consumptie en distributie van schaarse goederen en diensten.

Onderzoekers van de Universiteit Utrecht deden uitgebreid onderzoek naar definities van circulaire economie. Ze vonden in wetenschappelijke artikelen 114 definities van circulaire economie die ze

² Het Groene Brein is een netwerk van wetenschappers die onderzoek doen naar duurzaamheid en circulaire economie.

met elkaar vergeleken (Kirchherr, 2017). Dat leidde in hun onderzoek tot de volgende definitie van circulaire economie, die past bij de brede benadering van de term:

“Een economisch systeem dat het ‘end-of-life’ concept vervangt door het verminderen, alternatief hergebruiken, recyclen en terugwinnen van materialen in productie / distributie en consumptieprocessen. Het werkt op microniveau (producten, bedrijven, consumenten), mesoniveau ([sectoren], eco-industriële parken) en macroniveau (stad, regio, natie en daarbuiten), met als doel duurzame ontwikkeling tot stand te brengen en tegelijkertijd milieukwaliteit, economische welvaart en sociale gelijkheid, ten voordele van huidige en toekomstige generaties. Het wordt mogelijk gemaakt door nieuwe bedrijfsmodellen en verantwoordelijke consumenten.”

In dit werkboek wordt in het algemeen uitgegaan van deze brede definitie. Deze definitie maakt duidelijk dat het er naast het sluiten van kringlopen ook om gaat dat dit sluiten een positief effect (in ieder geval geen negatief effect) heeft op het milieu en de samenleving. Alleen dan past circulariteit ook binnen de definitie van duurzaamheid en duurzame ontwikkeling.

Tegelijk passen de casestudies bij een smallere definitie van circulaire economie, die uitgaat van twee principes: ketens organiseren en het zo goed mogelijk benutten van producten en materialen. De case studies richten zich op grondstofstromen en waardeketens en wat het gevolg is in de bouw en de industrie als deze worden gesloten. In de volgende paragraaf gaan we daarom in op circulaire strategieën: mogelijkheden om ketens te sluiten (tot een kringloop te maken), zodat de waarde van materiaal zo goed mogelijk behouden blijft. Dit vormt de basis voor het analysekader voor stromen en ketens. Daarna bespreken we de term waardecreatie in relatie tot circulaire economie en wat dit betekent voor bedrijfsmodellen en ontwerp die het mogelijk maakt dat de functionaliteit van producten en materialen zo goed mogelijk benut kan worden.

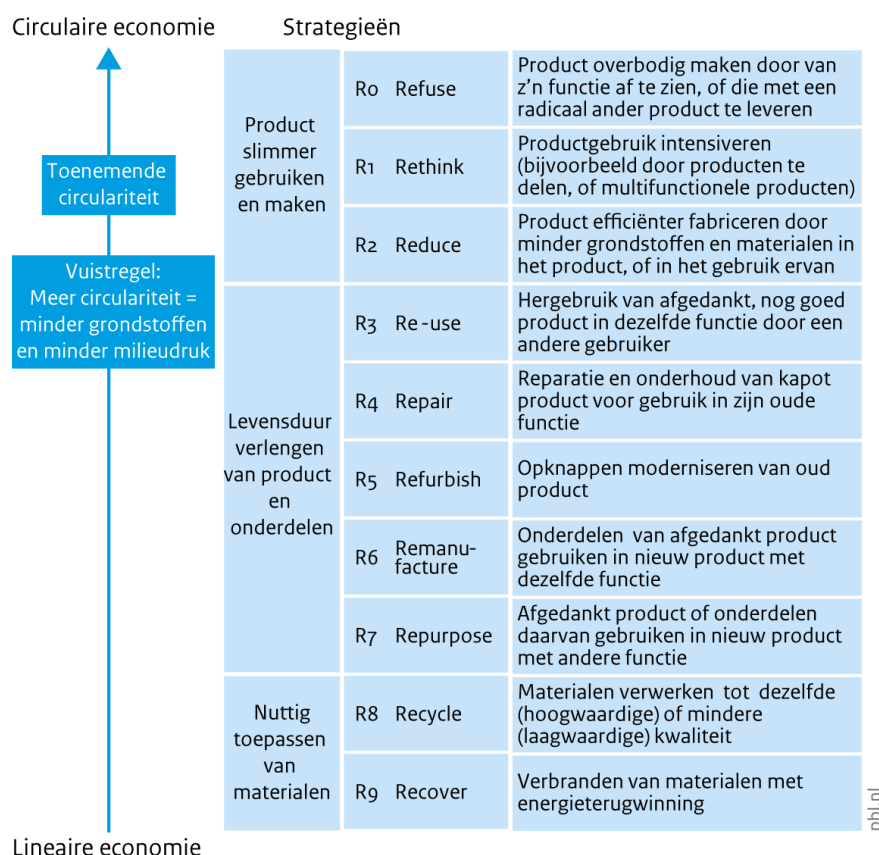
2.2 R-strategieën en de bouwketen

Circulariteit is een multi-interpretabel begrip. Het is lastig, maar gelukkig niet onmogelijk om dit soort begrippen te definiëren. Om dergelijke begrippen goed te kunnen toepassen helpt het om ze verder uit te werken. Voor circulariteit is de ladder³ een bruikbare metafoor, omdat het helpt te begrijpen dat er verschillende niveaus van circulariteit zijn, waarbij materiaal steeds beter wordt behouden. Op basis van die manier van denken zijn verschillende circulaire strategieën toe te passen, die we in paragraaf 2.2.1 bespreken. Hergebruik wordt natuurlijk het eenvoudigst waarna er sprake is van ontwerp voor hergebruik. In paragraaf 2.2.2 sommen we daarom aandachtspunten op voor circulair ontwerp.

2.2.1 De R-strategieën

Bij de uitwerking van circulariteit voor het opnieuw gebruiken van materiaal dat vrij komt na gebruik worden de R-strategieën gebruikt. Er worden verschillende gradaties van circulariteit onderscheiden. De hoogste trede is Refuse (voorkomen van het gebruik van grondstoffen) en de laagste trede is Recover (verbranden van het materiaal met energieteerugwinning). Des te lager de R op een schaal van R0 tot R9, des te meer “circulair”. In figuur 2.1 worden de verschillende R-strategieën beschreven.

³ Voor veel (wat oudere) mensen is een bekend voorbeeld van deze metafoor de ladder van Lansink, die deze manier van denken toepaste op het inmiddels wat achterhaalde begrip recycling.



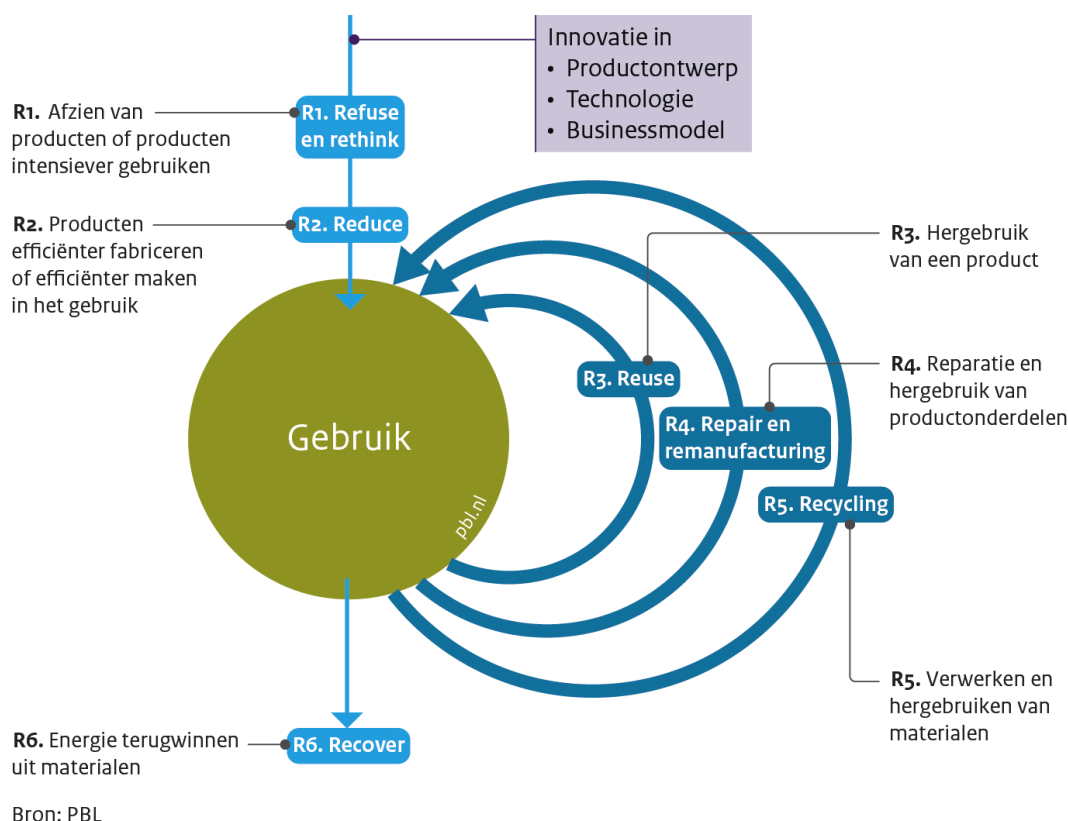
Figuur 2.1 Prioriteitsvolgorde van circulariteitsstrategieën in productketen.
Overgenomen van (Potting, Hekkert, Worrell, & Hanemaaijer, 2016).

In het korte bestaan van deze R-strategieën zijn er diverse versies geweest met meer en minder R'en en verschillende definities. Ook hier zien we dat er sprake is van een relatief jonge (academische) discipline. Het is misschien ook wel daarom dat het Planbureau van de Leefomgeving (Planbureau voor de leefomgeving, 2018) met een handzame oplossing kwam, een aantal R-en bij elkaar nam en zes R-strategieën definieerde. In figuur 2.2 staan deze zes R-en aangegeven. In de woorden van het PBL typeren ze het volgende (voor een uitgebreide beschrijving zie bijlage 1):

- Refuse en rethink (R1) "omvat het afzien van producten (refuse) of het intensiever gebruiken van producten door ze te delen of multifunctioneel te maken (rethink)".
- Reduce (R2) "gaat het om het efficiënter fabriceren van producten of deze efficiënter maken in het gebruik".
- Reuse (R3) slaat op de situatie dat "[p]roducten [...] een langere levensduur [kunnen] krijgen door hergebruik".
- Repair en remanufacture (R4) "gaat [...] om verlenging van de levensduur van producten, maar dan door reparatie (repair) en het hergebruik van productonderdelen (remanufacture)".
- Recycle (R5) "gaat [...] om het verwerken en hergebruiken van grondstoffen (recycle)".
- Recover (R6) behelst het terugwinnen van energie uit materialen.

Het streven is om de R zo laag mogelijk te houden, kijkend naar figuur 2.2 betekent dit dat de cirkel zo klein mogelijk moet zijn.

R-ladder met strategieën van circulariteit

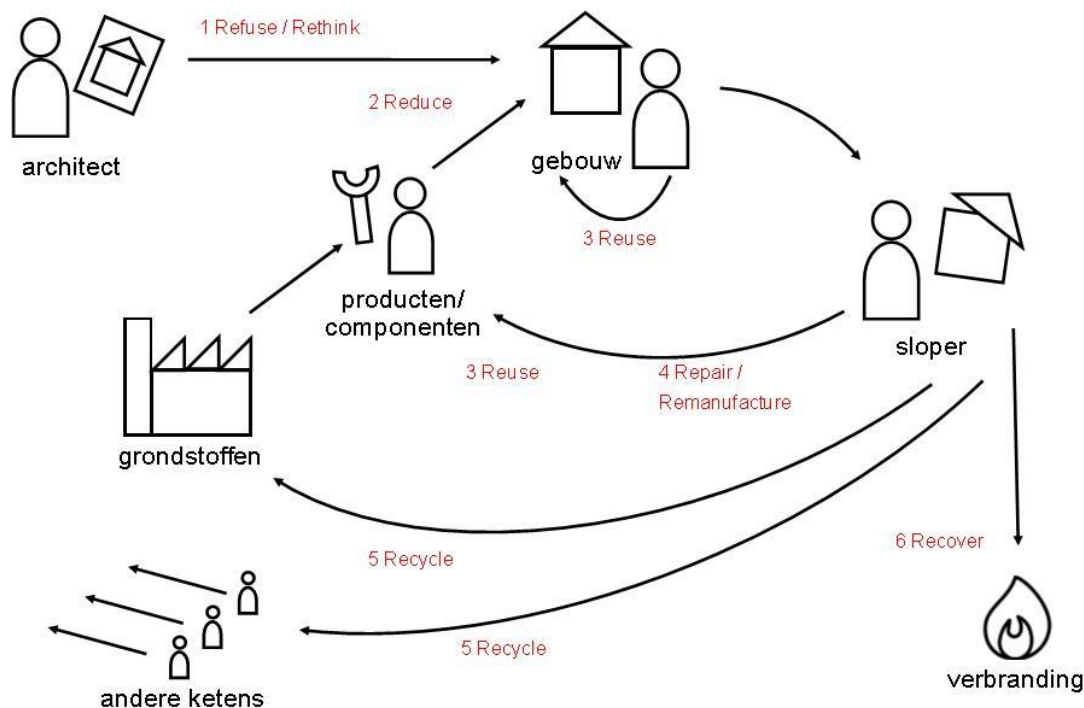


Figuur 2.2 R-ladder met strategieën van circulariteit. Met 6 R-en.
Overgenomen van (Planbureau voor de leefomgeving, 2018).

2.2.2 Circulariteit in de bouwketen

Voor inzicht in de productieketen van bouwmaterialen hanteren we de 6 R-strategieën zoals het PBL die definieert. Aan de hand van deze strategieën is het mogelijk om te analyseren waar materialen nodig zijn, waar ze vrijkomen en welke circulaire strategie mogelijk is. Een algemene en eenvoudige weergave van de keten voor circulariteit in de bouw- en van bouwmaterialen staat in figuur 2.3.

Het combineren van de bouw en sloopketen met de circulariteitstrategieën (de R-en) geeft een beeld van waar in de keten van bouw en industrie de circulaire strategieën van het PBL toegepast kunnen worden. Zo speelt de architect met haar ontwerp een belangrijke rol in bijvoorbeeld het multifunctioneel benutten van een gebouw of het zo te ontwerpen dat aanpassingen mogelijk zijn aan het einde van de eerste toepassing (refuse/rethink). Verder kan een architect in samenspraak met producenten gebruik maken van efficiënter geproduceerde materialen en de efficiëntie van het gebouw zelf verbeteren (reduce). Aan het einde van de levensduur spelen sloopbedrijven een belangrijke rol om er voor te zorgen dat materialen worden hergebruikt (reuse) of worden gerepareerd of hersteld (repair/remanufacture). Hergebruik zou direct kunnen, via bijvoorbeeld een materiaalmakelaar (Velzing & Planko, 2020), of via de producenten die ook een belangrijke rol kunnen spelen in het repareren of herstellen van materialen en componenten. Wanneer materialen en componenten niet meer zijn te benutten, dan kunnen de grondstoffen worden verwerkt in nieuwe grondstoffen (recyclen). Dat kan in dezelfde of een andere productieketen zijn. Als ook dit laatste niet meer mogelijk is, dan rest in de praktijk de verbrandingsoven, waarmee enkel nog energie wordt teruggewonnen uit het materiaal (recover).



Figuur 2.3 De R-strategieën (van het PBL) in de keten van bouw en industrie.

2.2.2 Aandachtspunten circulair ontwerp en hergebruik bouwmaterialen

In dit werkboek worden hergebruiksmogelijkheden van bouwmaterialen beschreven. Bij gebouwen die momenteel ontworpen en gebouwd worden, kan een aantal principes toegepast worden om een gebouw zo ‘circulair’ mogelijk te maken, zodat de materialen met een zo laag mogelijke R weer hergebruikt kunnen worden. We onderscheiden de volgende:

- Rekening houden met een eventuele functieverandering (flexibel ontwerp) (strategie R1);
- Zo min mogelijk materiaal gebruiken (strategie R2);
- Zo veel mogelijk biobased bouwmaterialen toepassen (voor voorbeelden zie <https://www.biobasedbouwen.nl/>)
- Modulair bouwen, zodat onderdelen relatief eenvoudig ergens anders toegepast kunnen worden
- Zorgen dat bouwmaterialen bij sloop goed uit elkaar te halen zijn, de zogenaamde “Losmaakbaarheid”. Zie de Handreiking Losmaakbaarheid (PIANOo, Expertisecentrum Aanbesteden in samenwerking met Rijkswaterstaat, 2019)
- Materiaalgegevens vastleggen in een grondstoffenpaspoort.

Of bouwmaterialen uit elkaar te halen zijn is onder meer afhankelijk van de bouwmethode. Zo hangt het bij prefab af of een “natte” of een “droge” methode toegepast is. Bij de natte methode worden prefab elementen aan elkaar gegoten, die kunnen dan wellicht net zo moeilijk gescheiden worden als bij gegoten beton (Beers, 2019). Bij een droge methode worden elementen losmaakbaar aan elkaar bevestigd, waardoor ze goed gedemonteerd kunnen worden.

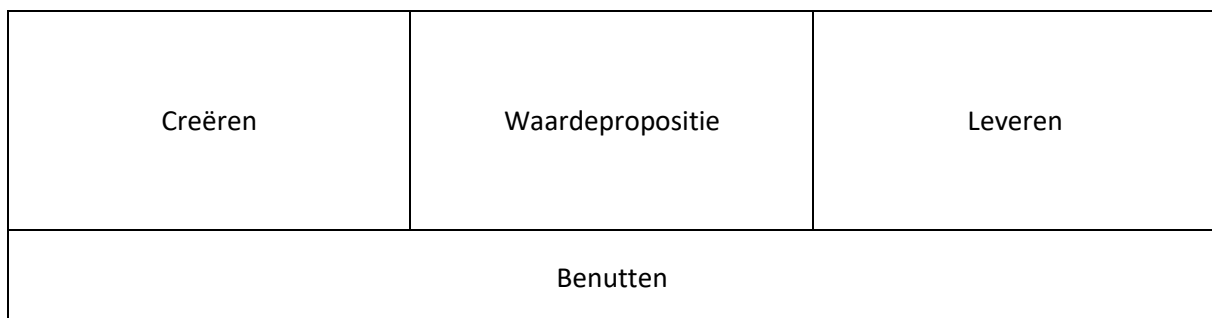
Bij het toepassen van hergebruikte bouwmaterialen moet uiteraard ook voldaan worden aan de wettelijke eisen. Deze eisen zijn (nog) niet toegespitst op circulair bouwen. Zo staat in het Bouwbesluit 2012 (Overheid.nl, sd) hoe hoog deuren moeten zijn, in de loop der tijden is de hoogte

van de deur gewijzigd. Wat kan je dan nu nog met deuren uit oude gebouwen die te kort zijn volgens de huidige eisen van het Bouwbesluit? Daarnaast moeten bouwmaterialen ook voldoen aan de constructieve eisen. Maar hoe bepaal je die voor hergebruikte materialen?

2.3 Waardecreatie en businessmodellen

De circulaire strategieën uit paragraaf 2.2.2 bieden nieuwe mogelijkheden aan bedrijven. Ten eerste omdat grondstoffen en materialen beter benut worden. Ten tweede gaat circulaire economie om meer waarden dan enkel financiële waarde. En dat leidt tot nieuwe kansen. Deze *business opportunities* verklaren voor een belangrijk deel de hype rondom de circulaire economie. Het levert namelijk nieuwe mogelijkheden tot toegevoegde waarde

Hoe een bedrijf waarde probeert te creëren wordt duidelijk gemaakt met de waardepropositie. Die waardepropositie is dan ook de kern van een businessmodel, dat verder bestaat uit een uiteenzetting over hoe de waarde wordt gecreëerd, geleverd en benut. Schematisch ziet dat er als volgt uit, zie figuur 2.4.



Figuur 2.4: vereenvoudigde weergave van een businessmodel.

Osterwalder & Pigneur (2009) werkten daarvoor de volgende negen bouwstenen uit:⁴

Creëren

1. Key partners: Welke partijen heeft het bedrijf nodig?
2. Kernactiviteiten: Wat is de alledaagse gang van zaken in het bedrijf?
3. Key resources: Welke en wat voor grondstoffen, mensen, machines, etc. zijn er nodig?

Toegevoegde waarde

4. Waardepropositie: Wat doet het bedrijf voor de klant. Welke producten en/of diensten worden er geleverd?

Leveren

5. Klantrelatie: Hoe wordt er een relatie onderhouden met de klantsegmenten?
6. Kanalen: Hoe worden producten en/of diensten geleverd?
7. Klantsegmenten: Welke klanten zijn er te onderscheiden?

Benutten

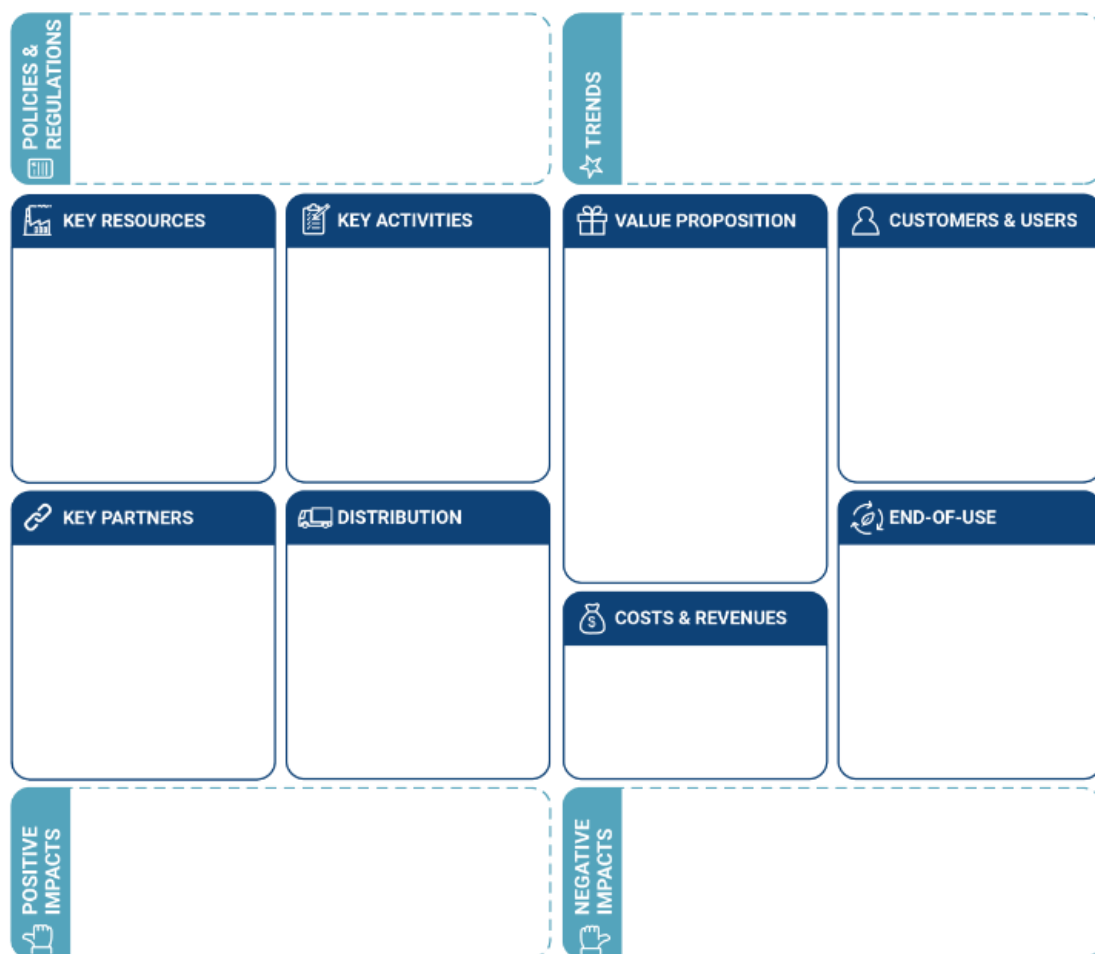
8. Kostenstructuur: Wat zijn de belangrijkste kosten?
9. Inkomstenbronnen: Wat zijn de belangrijkste inkomsten?

⁴ Via de website van *Design a better business* vind je een bruikbare online tool om het standaard BMC uit te werken: <https://www.designabetterbusiness.tools/tools/business-model-canvas>

Het beschrijven van businessmodellen gebeurt veelal traditioneel, wat betekent dat er vooral aandacht is voor financiële waarde. Het gevolg is dat de meeste hulpmiddelen voor het analyseren van de waardepropositie en het businessmodel weinig of geen expliciete ruimte bieden voor niet-financiële waarden, zoals sociale, het milieu en behoud van grondstoffen. Om hier wel aandacht aan te besteden wordt er in de circulaire economie gesproken van meervoudige waardecreatie. Dit houdt in dat de waarde van materialen wordt behouden en dat producten meer dan alleen financiële waarde creëren (Jonker, 2018).

Naast het traditionele Business Model Canvas bestaan er alternatieven. Zo zoomt de Value Proposition Canvas (Strategyzer AG, 2021) in op de waardepropositie van een bepaald product of dienst. Het vraagt onder andere: welk gemak probeert het bedrijf te leveren; of welk ongemak probeert het weg te nemen; en op welke manier kan dit de klant helpen. Dat kan helpen om ook niet-financiële voordelen uit te diepen. Daarnaast bestaan er toevoegingen op het BMC. De Social Enterprise Model Canvas zijn twee bouwstenen toegevoegd voor respectievelijk sociale en milieukosten en opbrengsten (Sparviero, 2019).

Figuur 2.5 geeft een voorbeeld van een Circular Business Model Canvas. Hierin zijn in donkerblauw de bouwstenen weergegeven, waarbij ten opzicht van het originele BMC distributie en end-of-use zijn toegevoegd. Daarnaast is er bovenaan ruimte voor het in kaart brengen van relevante context, met name beleid & regelgeving en trends. Onderdaan is er ruimte voor positieve en negatieve effecten, zoals het effect op de samenleving, het milieu en de kwaliteit van materialen en grondstoffen.



Figuur 2.5: Circular Business Model Canvas (Van der Vegt, Velzing, & Rietbergen, 2020).

2.4 Opdrachten

Opdracht 1

Figuur 2.3 geeft een overzicht van de R-strategieën in de bouwketen.

- a. De R-strategieën zijn terug te vinden in de zogenaamde “Butterfly Diagram” van de EllenMacarthurfoundation: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/explore/the-circular-economy-in-detail> Index 6.
Waar in de Butterfly vind je de verschillende R'en terug? Hoe zou je de linkerkant van de Butterfly toe kunnen passen in de bouwketen?
- b. Geef een toelichting van de 6 R-strategieën in de figuur 2.2 (op basis van de definities van PBL). Zoek voorbeelden op.

Opdracht 2

Paragraaf 2.3 gaat in op waardecreatie en meervoudige waardecreatie.

- a. Wat is meervoudige waardecreatie? Zoek een definitie en bedenk of zoek voorbeelden.
- b. Verdiep je in een bedrijf dat producten maakt voor de bouw en ga na op welke manier dit bedrijf meervoudige waardecreatie kan toepassen. Maak hierbij gebruik van de Circular Business Model Canvas uit figuur 2.5.

3. Stromenanalyse van een systeem

Duurzame en circulaire ontwikkeling gaat niet enkel om het verbeteren van één of twee zaken, maar het gaat om het geheel. Er is dus geen duurzame bedrijfsvoering als de verbeteringen zich beperken tot bijvoorbeeld zonnecellen of afvalvermindering. Om te komen tot een meer circulaire manier van werken door het sluiten van kringlopen is het van belang om inzicht te hebben in het systeem. Een systeem is een doelmatig geordend samenhangend geheel van bij elkaar horende dingen en hun onderdelen (Van Dale, 2020). Dat kan gaan om een groter of kleiner systeem, bijvoorbeeld een gebied, een bedrijf of een productieproces. De afbakening van het systeem is dan ook essentieel.

Een systeemanalyse begint met een inventarisatie van alle relevante aspecten, zoals: welke processen er zijn, welke grondstoffen nodig zijn, wat het energieverbruik is, wie er bij betrokken zijn, wat de input en de output van het systeem zijn. Daarna volgt een analyse van het geheel, zodat er inzicht is in de onderlinge samenhang. Als het systeem goed in kaart gebracht is, dan valt na te gaan op welke wijze kringlopen weer zijn te sluiten. Dat sluiten kan op grotere (ruimte of tijds)schaal, maar ook op kleinere schaal. Het heeft de voorkeur om kringlopen zo klein mogelijk te maken, omdat daarmee de input aan de benodigde inspanning (zoals energie) zo klein mogelijk is (zie 2.2).

Desondanks geldt in het algemeen dat: “hoe complexer en waardevoller het materiaal of product, hoe groter de geografische schaal waarop kringloopsluiting plaatsvindt” (Witteveen + Bos; Metabolic, 2018)

Een onderdeel van een systeemanalyse is een stromenanalyse: een “systematische beoordeling van materialen en stoffen en voorraden van (grond)stoffen binnen een systeem, met een gedefinieerde scope voor wat betreft ruimte en tijd” (Witteveen + Bos; Metabolic, 2018). Een stromenanalyse kan zowel voor materialen (bouwmaterialen, voedsel, afval, enz.) als voor energie en water uitgevoerd worden. Visualisatie helpt bij de analyse van de stromen. Dat kan met behulp van de veelgebruikte Sankey-diagrammen. Een Sankey-diagram visualiseert hoeveel materiaal (of energie of water) het gebied/bedrijf in komt, wat er mee gebeurt in het gebied/bedrijf en hoeveel en in welke vorm het uiteindelijk het gebied/bedrijf uit gaat en hoe het kan worden verwerkt. Inzicht in deze stromen helpt om te bepalen waar de (grootste) mogelijkheden liggen om de stromen kleiner te maken, oftewel om het gebied/bedrijf meer circulair te maken door ketens te sluiten.

Zo kan bijvoorbeeld bij een materiaalstroom nagegaan worden op welke manieren het materiaal opnieuw gebruikt kan worden binnen het gebied of hoe hetzelfde gemaakt kan worden met minder materialen. Bij de energiestromen kan bekeken worden of de binnenkomende stromen meer met hernieuwbare bronnen opgewekt kunnen worden of dat energieopwekking in het gebied zelf mogelijk is of welke energiebesparende maatregelen mogelijk zijn binnen het gebied. Bij water kan onderzocht worden op welke wijze afvalwater hergebruikt kan worden, hoe de neerslag in het gebied zelf opgeslagen kan worden en hoe neerslag gebruikt kan worden voor bepaalde processen (binnen bedrijven of binnen huishoudens, zoals voor toiletspoeling).

In de volgende paragrafen staat een stromenanalyse op gebiedsniveau. Dit is het resultaat van verschillende stromenanalyses (bouwgrondstoffen, energie en water) van het Utrechtse Werkspoorkwartier.

3.1 Stromenanalyses Werkspoorkwartier⁵

Het Werkspoorkwartier (WSK) is een binnenstedelijk industriegebied in Utrecht. In het begin van de 20^e eeuw was het een industriegebied aan de rand van de stad, nu ligt het er middenin. Ondanks de centrale locatie was er leegstand, wat maakte dat men ging proberen om creatieve bedrijven naar het gebied te trekken en er een circulaire broedplaats van te maken (EFRO-WSK.nl, 2021).

De gemeente Utrecht beoogt het Werkspoorkwartier te ontwikkelen tot een circulair gebied. Inzicht in de verschillende stromen maakt dat het op systeemniveau ook mogelijk is om de circulariteit te beoordelen. In de volgende paragrafen komen aan bod: bouwmaterialen (paragraaf 3.2), energie (paragraaf 3.3) en water (paragraaf 3.3).

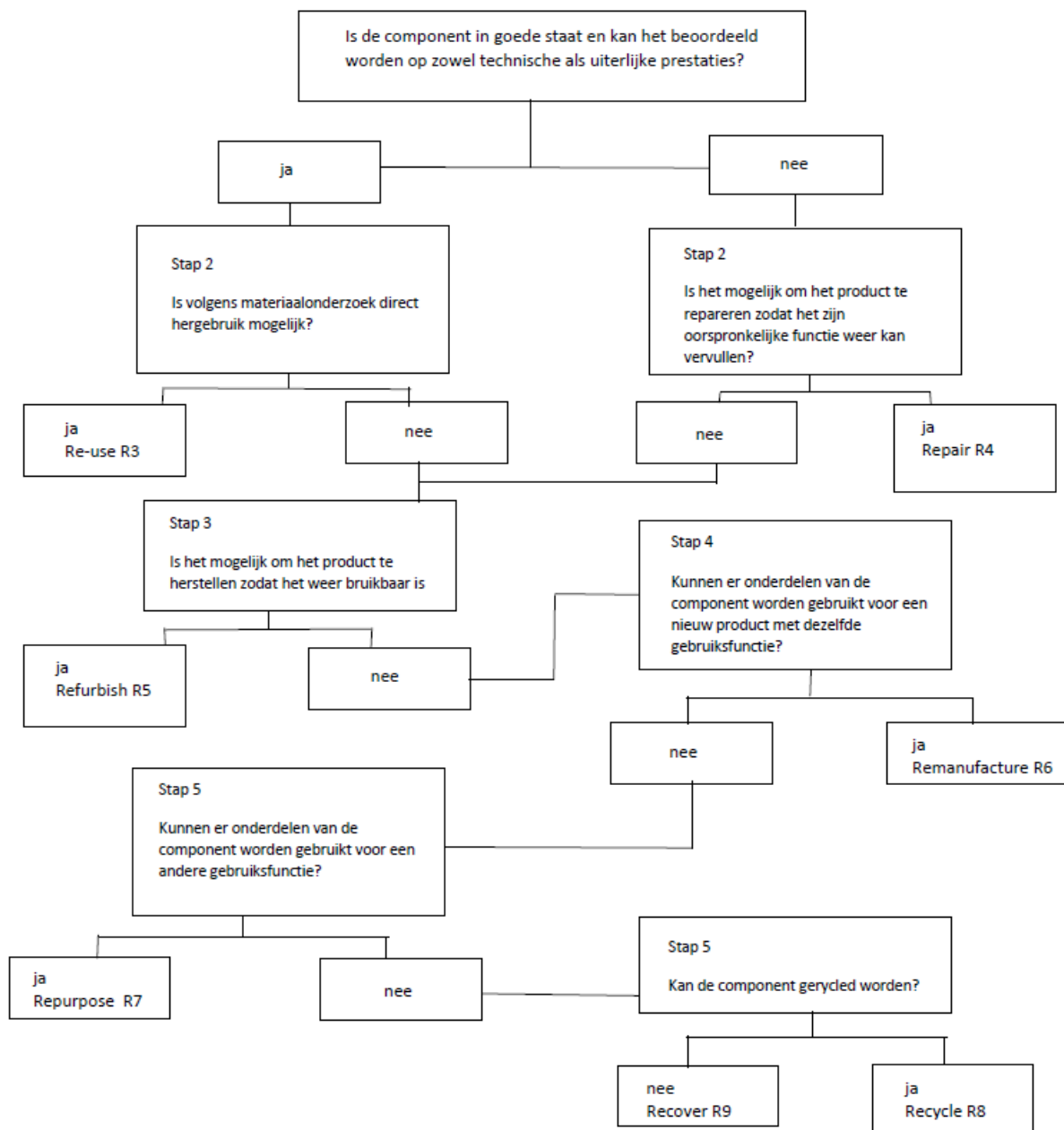
3.2 Bouwmaterialen (WSK)

Er is een inventarisatie uitgevoerd naar de aanwezige bouwmaterialen die in het Werkspoorkwartier gebruikt zijn voor de gebouwen. Het idee achter deze inventarisatie is dat deze materialen vrijkomen als de gebouwen gesloopt worden en dat een gestructureerd overzicht helpt om ze dan weer opnieuw te gebruiken voor nieuwe gebouwen. Het is als het ware de ‘voorraad’ bouwmaterialen aanwezig in het gebied. Of deze materialen na sloop ook daadwerkelijk weer gebruikt kunnen worden hangt van veel factoren af, zoals de tijdsplanning, de nieuwbouwplannen en de toestand van de bouwmaterialen.

Drie studentgroepen hebben na elkaar gewerkt aan de inventarisatie van bouwmaterialen. De nieuwe groep bouwde telkens voort op de gegevens van de voorgaande groep, zodat het niveau van de inventarisatie en analyse telkens kon worden verbeterd. Hier worden de resultaten van de laatste projectgroep gepresenteerd (Grim, et al., 2019).

Van 5 gebouwen is geïnventariseerd welke en hoeveel van de bouwmaterialen beton, staal, hout, kunststof en glas gebruikt zijn voor de bouw. De inventarisatie is uitgevoerd op basis van bouwtekeningen en een locatiebezoek. Naast het type en de hoeveelheid materiaal is ook gekeken naar de staat van het materiaal (onaangetast of beschadigd) en de manier waarop het gemonteerd is in het gebouw (losmaakbaarheid). Alle gegevens zijn ingevoerd in Excel. Hiermee zijn volumes en oppervlaktes berekend van de materialen. Aan de hand van in de literatuur gevonden dichtheden van de materialen is alles omgerekend naar kilogram en ton. Met behulp van een beslisboom (zie figuur 3.1) is vervolgens bepaald met welke circulaire strategie (op basis van de 10 R-en, zie paragraaf 2.2.1) de materialen eventueel opnieuw gebruikt zouden kunnen worden.

⁵ Deze paragraaf is een samenvatting van studentenprojecten over de periode 2018 tot en met 2020: (Bola, Lek, Arnold, Oudshoorn, & Mikael, 2018), (Bos, Huisman, Kruistum, Nissan, & Slootweg, 2018), (Grim, et al., 2019)

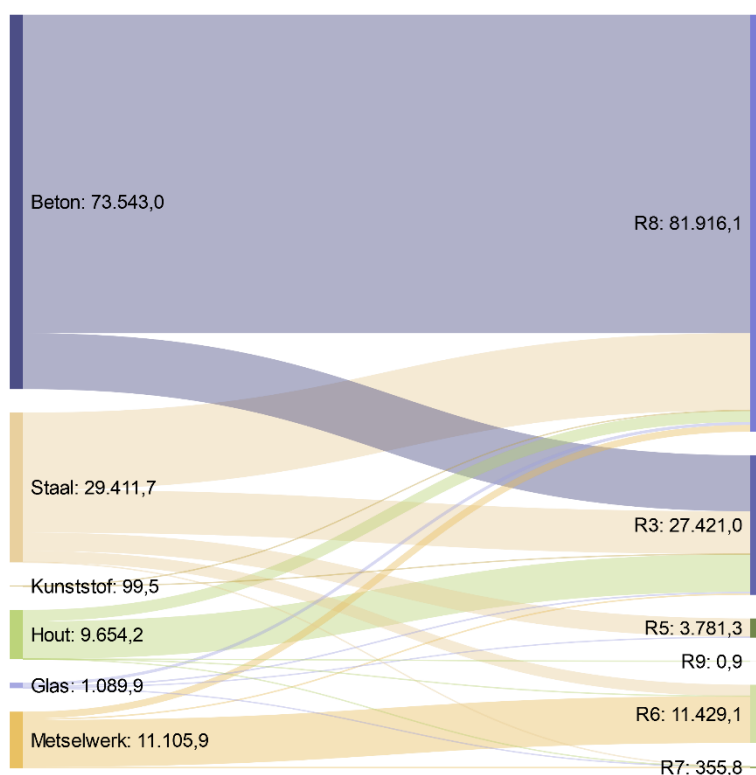


Figuur 3.1 Beslisboom indeling bouwmaterialen inventarisatie in R-en. Overgenomen uit (Grim, et al., 2019).

Om de resultaten van de geïnventariseerde gebouwen te extrapoleren naar het hele gebied Werkspoorkwartier is een indeling in gebouwtypologieën gemaakt. Er zijn zes verschillende typologieën onderscheiden. Hierbij zijn ook de vijf geïnventariseerde gebouwen van de vorige projectgroep (Bos, Huisman, Kruistum, Nissan, & Slootweg, 2018) meegenomen. Per typologie is bepaald wat de gemiddelde hoeveelheid en type bouw materiaal is per vierkante meter. Voor ieder gebouw in het Werkspoorkwartier is aangegeven onder welk gebouwtypologie het valt. Vervolgens is op basis van het bruto vloeroppervlak van de gebouwen het totaal aan bouwmaterialen berekend. De resultaten van de het hele gebied staan in tabel 3.1

Tabel 3.1 Resultaten bouwmaterialinventarisatie Werkspoorkwartier onderzoek oktober 2019. Hoeveelheden afkomstig uit (Grim, et al., 2019).

Gebiedsoverzicht per materiaal		Extrapoleren van typologie naar gebied					
Materiaal	Totaal gewicht (ton)	Verdeling R (ton)					
		R3	R5	R6	R7	R8	R9
Beton	73542,9	10996,6	0,0	0,0	0,0	62546,4	0,0
Glas	1089,9	296,4	179,5	0,0	0,0	576,5	0,0
Hout	9654,2	7408,3	0,0	1,6	1,7	2241,7	0,9
Kunststof	99,5	54,7	0,0	0,0	0,0	44,8	0,0
Metselwerk	11105,8	285,0	0,0	9196,3	286,9	1337,7	0,0
Staal	29411,8	8380,0	3601,8	2231,2	29,7	15169,0	0,0
Alle materialen samen							
Totaal in ton	124904,1	27421,0	3781,3	11429,1	355,8	81916,1	0,9
Totaal in %	100,0%	22,0%	3,0%	9,2%	0,3%	65,6%	0,0%



Figuur 3.2 Aanwezige bouwmaterialen in de gebouwen van Werkspoorkwartier verdeeld naar de R-strategieën.

Vergelijking van de hoeveelheden zijn gegeven in Tabel 3.1 Resultaten bouwmaterialinventarisatie Werkspoorkwartier onderzoek oktober 2019. Hoeveelheden afkomstig uit). Een vergelijking met de twee voorgaande inventarisaties (Bola, Lek, Arnold, Oudshoorn, & Mikael, 2018) en (Bos, Huisman, Kruistum, Nissan, & Sloomweg, 2018) laat zien dat er nog al wat verschillen zijn (tabel 3.2). Dit is deels te verklaren doordat er steeds meer gebouwen geïnventarisatiseerd zijn. De eerste groep heeft 3 gebouwen globaal geïnventarisatiseerd en op basis daarvan geëxtrapoleerd, waarbij ook de woningen aan de Cartesiusweg meegenomen zijn. De tweede groep heeft 5 andere gebouwen geïnventarisatiseerd, waarbij de gebouwen ook daadwerkelijk bezocht zijn. Op basis daarvan zijn 5 typologieën onderscheiden waarmee geëxtrapoleerd is. De laatste groep, waarvan de eindresultaten in tabel 3.1 staan, heeft weer 5 andere gebouwen geïnventarisatiseerd. Bij de uitwerking zijn ook de gegevens van de gebouwen van de vorige groep meegenomen, dat betekent dat er op basis van de

inventarisatie van 10 verschillende gebouwen 6 gebouwtypologieën onderscheiden zijn. Opvallend is dat er vrij grote verschillen zijn tussen de ingeschatte hoeveelheden. De uitkomsten hangen sterk af van de gebouwinventarisatie en de interpretatie van de mogelijkheden voor hergebruik. Voor de diverse materialen liggen de verschillen in hoeveelheden tussen beide laatste onderzoeken tussen een factor 1,8 en 5. De gegeven hoeveelheden moeten dan ook gezien worden als een orde van grootte en niet een nauwkeurige bepaling van de hoeveelheid aanwezige bouwmaterialen.

Tabel 3.2 Vergelijking uitkomsten onderzoek bouwmaterialen Werkspoorkwartier.

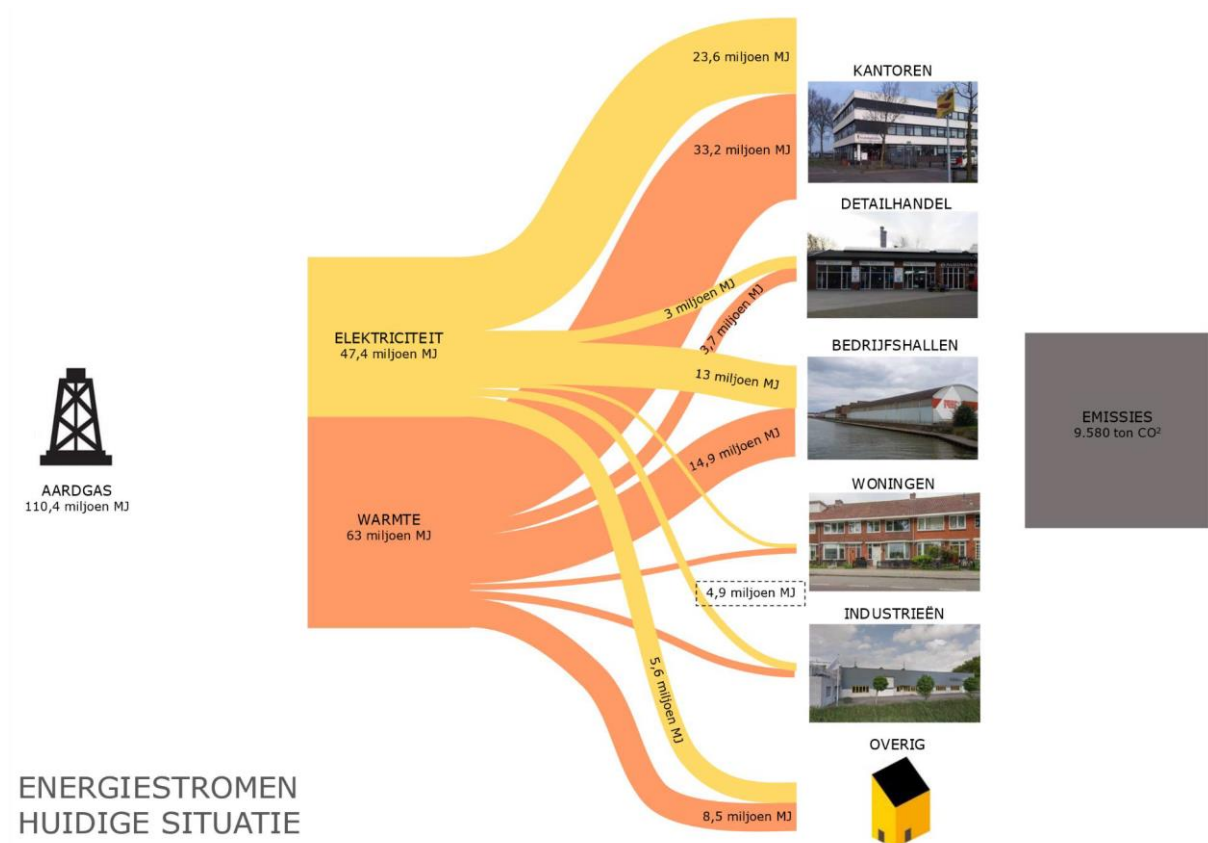
	aantal geïnventariseerde gebouwen	beton (ton)	glas (ton)	hout (ton)	kunststof (ton)	metselwerk (ton)	metaal (ton)
maart 2018	3	83760	315	111		1967	
oktober 2018	5	225573	2706	1904	54,2	2492	17071
oktober 2019	5+5 = 10	73543	1090	9654	100	11106	29412

Wat willen deze resultaten nu zeggen? Het zegt niks over de circulariteit van het gebied. Het is een inventarisatie van de aanwezige bouwmaterialen en de mogelijkheden om die opnieuw te gebruiken als de gebouwen gesloopt worden. De getallen geven een indicatie. Het zal afhangen van de plannen voor nieuwbouw in Werkspoorkwartier of omgeving (gemeente Utrecht?), het ontwerp van de nieuwe gebouwen en de planning van sloop en nieuwbouw of de materialen daadwerkelijk opnieuw gebruikt zullen worden. Het is wel duidelijk dat in potentie heel veel bouwmaterialen hergebruikt kunnen worden, waarvan zo'n 22 procent zelfs op productniveau direct her te gebruiken is.

3.3. Energie Werkspoorkwartier

Naast materialen is energie een belangrijk thema voor duurzaamheid en circulariteit. Daarom analyseerden Bola et al (2018) de energiestromen in het Werkspoorkwartier. De inventarisatie van de energiegegevens is uitgevoerd door het gemeten gas- en elektriciteitsverbruik per postcode te achterhalen via de website Energie in Beeld⁶ en deze gegevens aan te vullen met behulp van energie kentallen (ECN, 2016). De resultaten van de inventarisatie zijn te vinden in figuur 3.3.

⁶ www.energieinbeeld.nl



*Figuur 3.3 Energiestromen huidige situatie Werkspoorkwartier.
Overgenomen van (Bola, Lek, Arnold, Oudshoorn, & Mikael, 2018).*

Voor het bepalen van mogelijke maatregelen is onderzoek gedaan aan de hand van de trias energetica (Duijvestein, 1997):

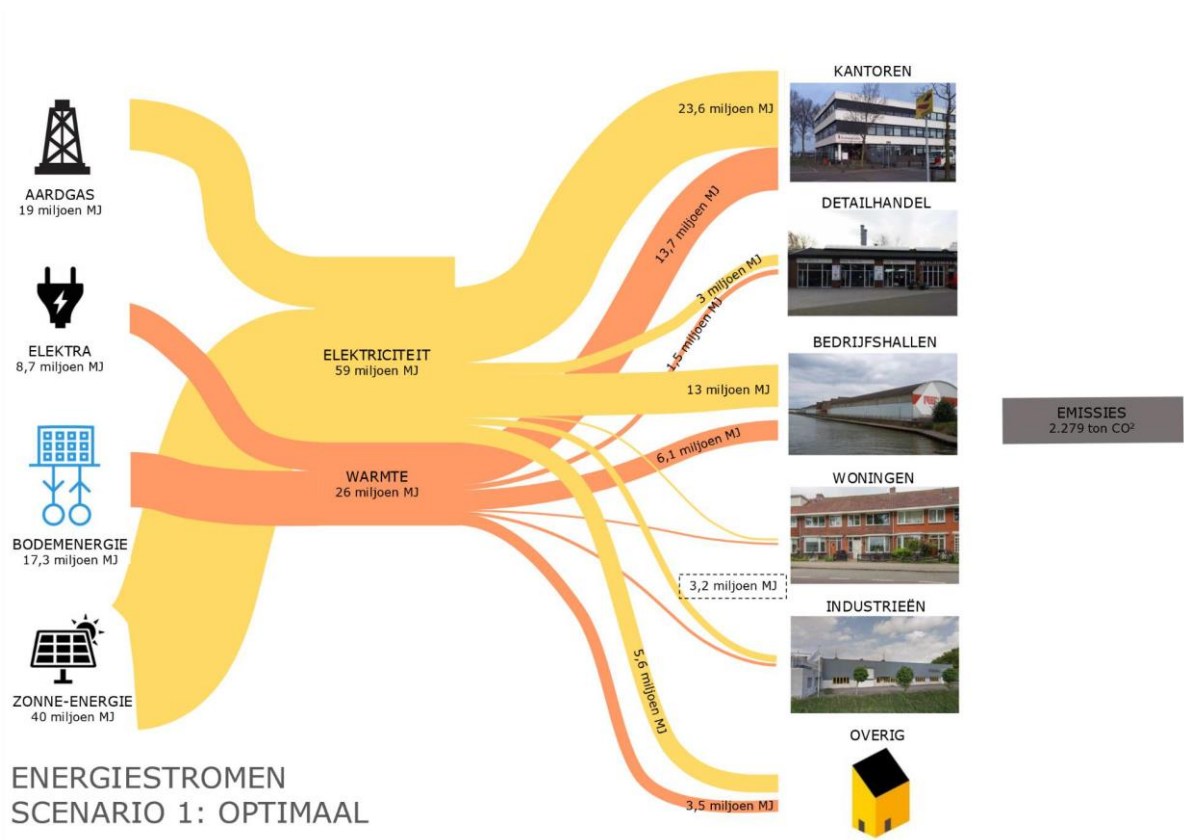
1. Beperk het gebruik van energie
2. Gebruik energie uit hernieuwbare (duurzame) energiebronnen
3. Ga zo efficiënt mogelijk gebruik om met fossiele brandstoffen

Voor het verminderen van het energieverbruik is nagegaan hoeveel te bereiken is door het isoleren van de gebouwen. Voor drie referentiegebouwen is berekend wat het effect van isolatie zal zijn. Dit is geëxtrapoleerd voor alle gebouwen in Werkspoorkwartier.

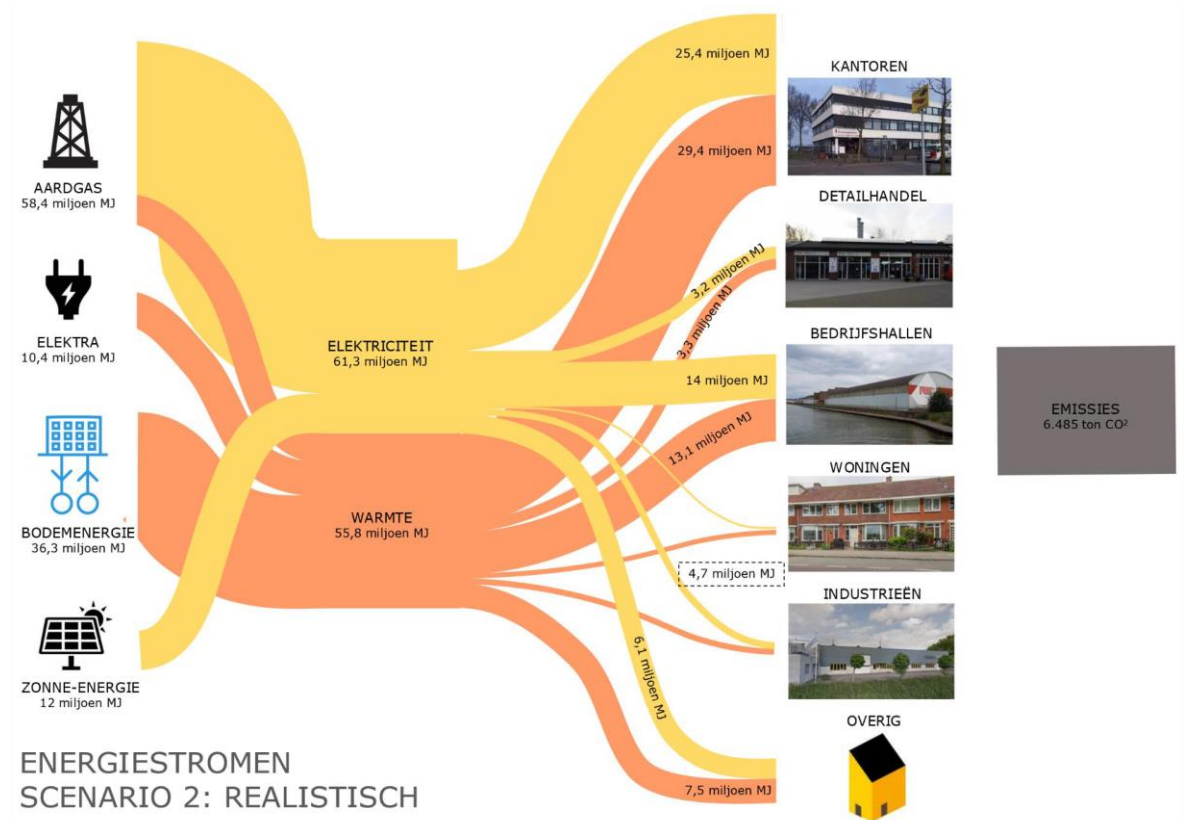
Voor de duurzame opwekking van energie zijn de mogelijkheden van zonnepanelen, zonneboilers, elektrische warmtepompen (individueel en collectief) en een mini warmtekrachtkoppeling onderzocht. Dit leidde tot twee scenario's:

- Scenario 1 (meest gunstig): alle gebouwen isoleren, 100% benutting van de daken voor zonnepanelen, alle warmte opwekken door middel van elektrische individuele warmtepompen (bodemenergie).
- Scenario 2 (realistisch): 50 % van de gebouwen wordt geïsoleerd, 30% benutting van de daken voor zonnepanelen, toepassen elektrische collectieve warmtepomp voor warmte.

De resultaten van de energiestromen van deze twee scenario's staan in de figuren 3.4 en 3.5.



Figuur 3.4 Energiestromen scenario 1 Werkspoorkwartier.
Overgenomen van (Bola, Lek, Arnold, Oudshoorn, & Mikael, 2018).



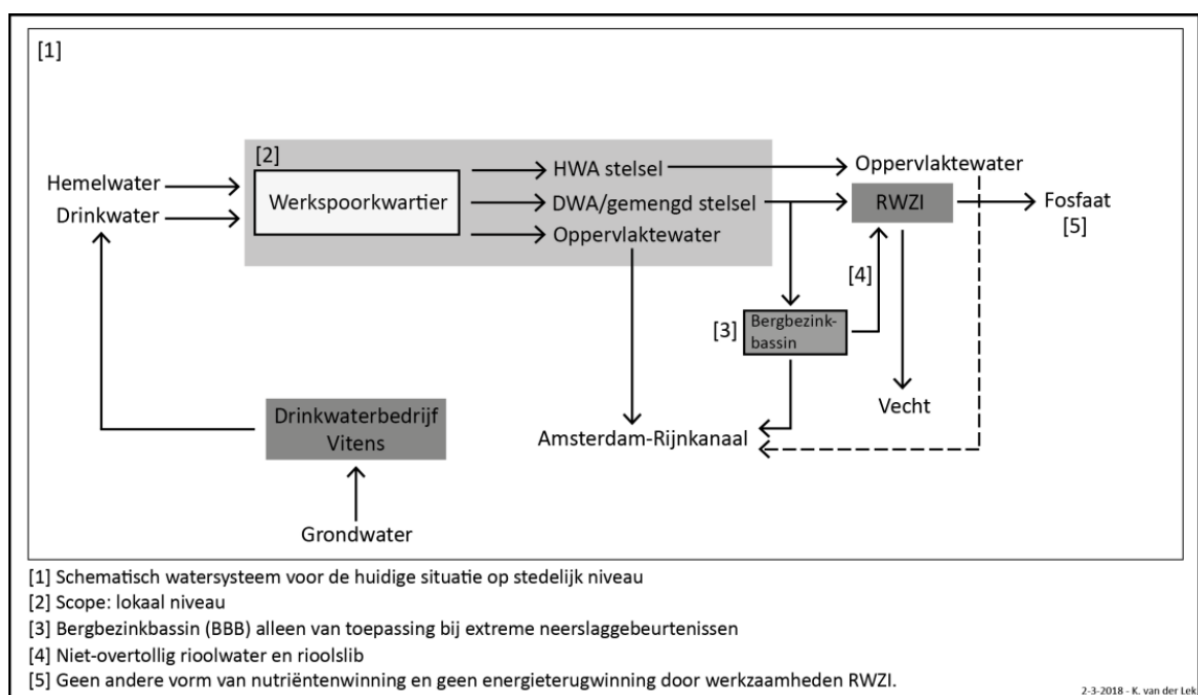
Figuur 3.5 Energiestromen scenario 2. Werkspoorkwartier.
Overgenomen van (Bola, Lek, Arnold, Oudshoorn, & Mikael, 2018).

De Sankey-diagrammen uit de bovenstaande figuren maken inzichtelijk wat de effecten zijn van duurzame keuzes die gemaakt kunnen worden. Uit deze energieanalyse van het Werkspoorkwartier blijkt dat er veel kansen zijn om de energiestromen te verduurzamen.

3.4 Water Werkspoorkwartier

Als het gaat om circulaire ketens dan krijgt water niet direct aandacht. Het is echter van groot belang om de waterkringlopen slim te organiseren, omdat schoon water schaars kan zijn. Om die reden maakten Bola et al (2018) eveneens een inventarisatie en analyse van de waterstromen in Werkspoorkwartier.

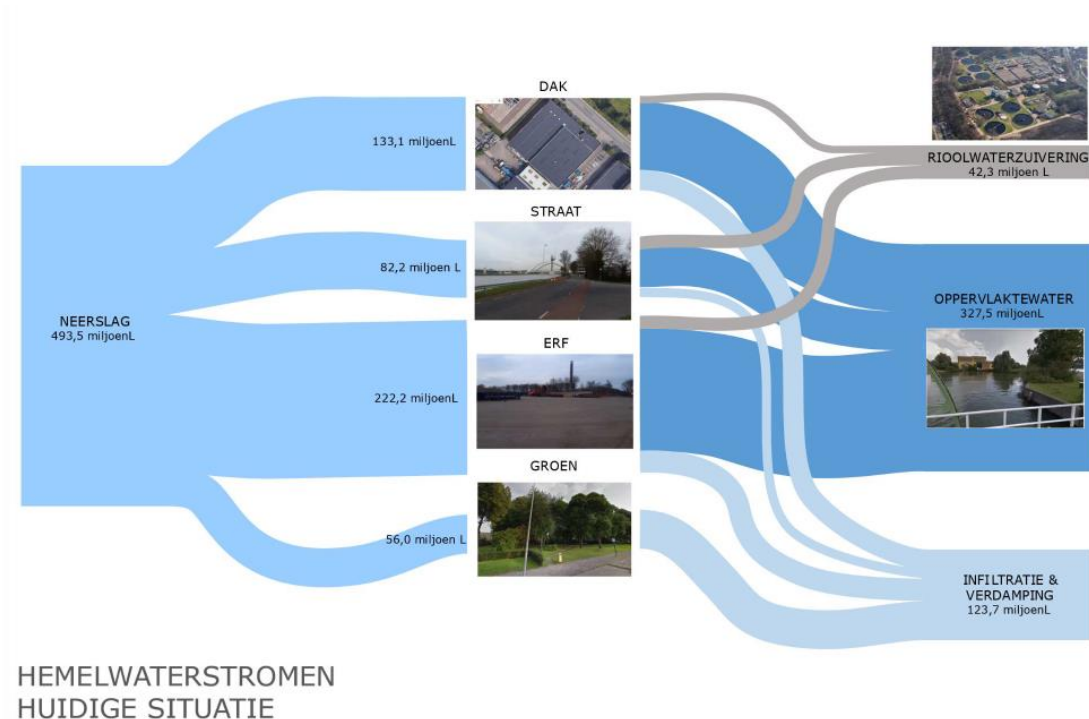
Het watersysteem van het gebied is schematisch weergegeven in figuur 3.6. De belangrijkste stromen zijn het hemelwater, het drinkwater, het riool (waar afvalwater en hemelwater op wordt geloosd) en de afvoer van rioolwater naar de rioolwaterzuivering.



Figuur 3.6 Schematisch watersysteem Werkspoorkwartier en omgeving.
 Overgenomen van (Bola, Lek, Arnold, Oudshoorn, & Mikael, 2018).

Het hemelwater valt op het gebied, dit zal gedeeltelijk in de bodem infiltreren (in het niet verharde gebied) en gedeeltelijk afgevoerd worden naar het riool. In Werkspoorkwartier ligt zowel een gescheiden stelsel als een gemengd stelsel van waterafvoer. In een gescheiden stelsel wordt hemelwater en afval water apart afgevoerd. Het hemelwater gaat naar het oppervlaktewater (in dit geval het Amsterdam-Rijnkanaal) en het afvalwater naar de rioolwaterzuivering. In een gemengd stelsel wordt zowel hemelwater als afvalwater opgevangen en afgevoerd naar de rioolwaterzuivering. Als er veel neerslag valt, dan kan het gemengde riool het niet meer aan en zal het gemengde water (afvalwater en hemelwater) in de Industriehaven geloosd worden via een overstort. Voor deze lozing gaat het water nog door een bergbezinkbassin, waardoor het gezuiverd wordt, zodat het geloosde water een stuk schoner is.

Er is een hemelwaterbalans opgesteld, waarin aangegeven wordt welk deel van het hemelwater verdampt, naar oppervlaktewater gaat en afgevoerd wordt naar de rioolwaterzuivering, zie figuur 3.7.



*Figuur 3.7 Hemelwaterstromen Werkspoorkwartier.
Overgenomen van (Bola, Lek, Arnold, Oudshoorn, & Mikael, 2018).*

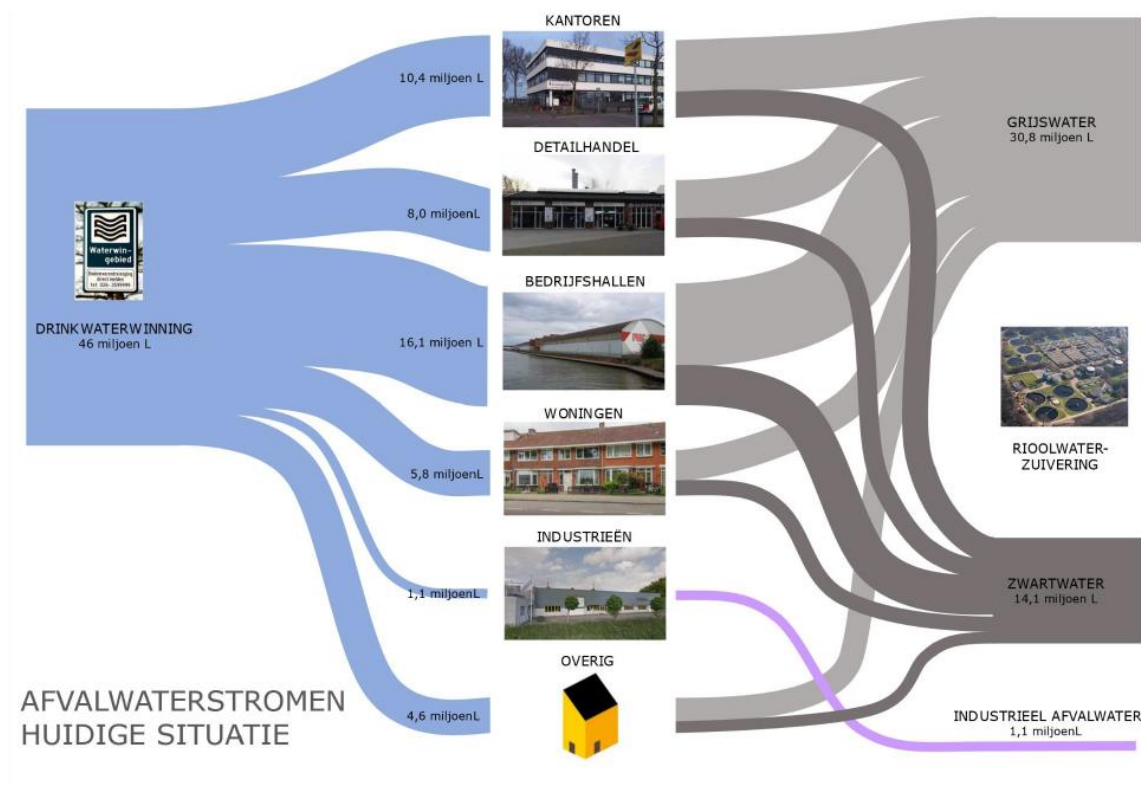
Een andere waterstroom die het Werkspoorkwartier binnenkomt is drinkwater. Dit wordt gebruikt door bedrijven (en huishoudens) en vervolgens via het riool afgevoerd als afvalwater. Bij het afvalwater kan onderscheid gemaakt worden in:

- Grijs water: afkomstig van keuken, wastafels, bad/douche en wasmachine.
- Zwart water: afkomstig uit het toilet.

Daarnaast is er nog een onderscheid in:

- Bedrijfsafvalwater: afkomstig van alle panden met een bedrijfsfunctie. Het gaat met name om kantoren, detailhandel en bedrijfshallen (grijs en zwart water)
- Industrieel afvalwater: afkomstig van bedrijfsprocessen

Op basis van het drinkwaterverbruik, type bedrijven en kentallen is een schatting gemaakt van de hoeveelheid grijs, zwart en industrieel afvalwater (Bola, Lek, Arnold, Oudshoorn, & Mikael, 2018) – zie figuur 3.8. Industrieel water is apart gehouden, omdat niet duidelijk is welke mogelijke verontreinigingen hier inzitten.



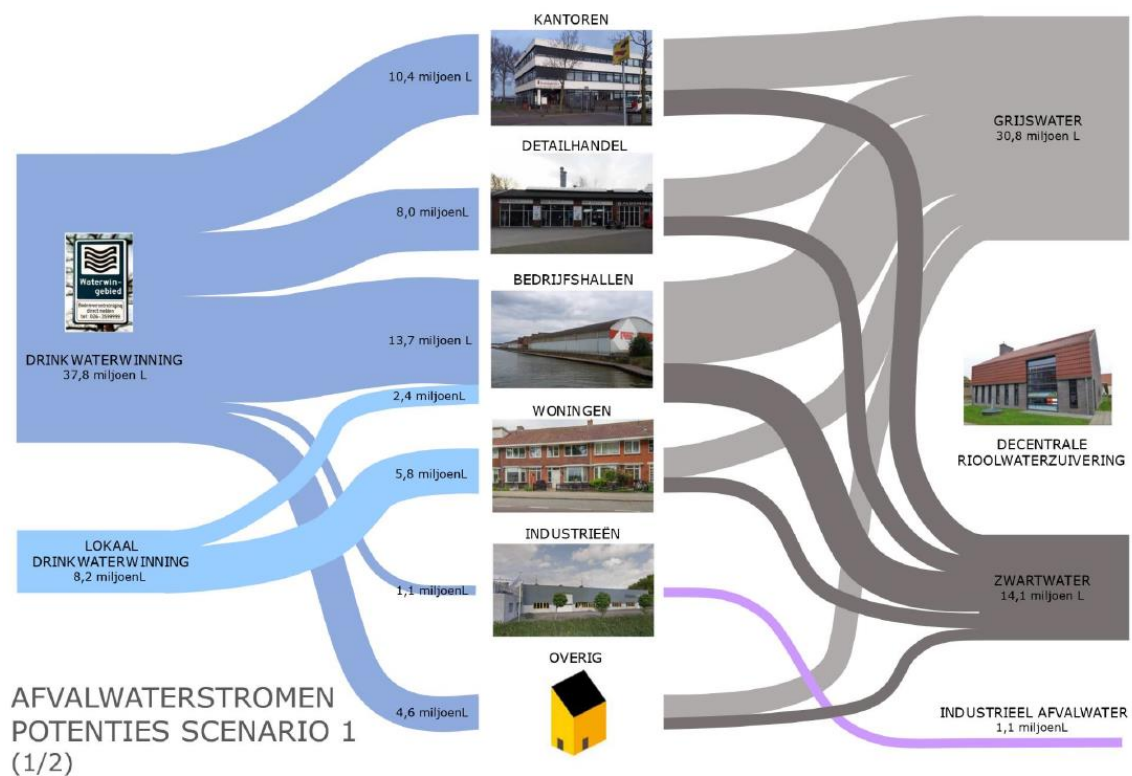
Figuur 3.8 Afvalwaterstromen Werkspoorkwartier.
Overgenomen van (Bola, Lek, Arnold, Oudshoorn, & Mikael, 2018).

Bertelkamp et al (2017) onderzochten de mogelijkheden om drinkwater te produceren uit hemelwater. In het algemeen geldt dat het produceren van drinkwater uit hemelwater op huishoudelijk niveau niet haalbaar is vanwege de hoge kosten, de risico's voor de volksgezondheid en de niet constante aanvoer van. Twee scenario's zijn opgesteld:

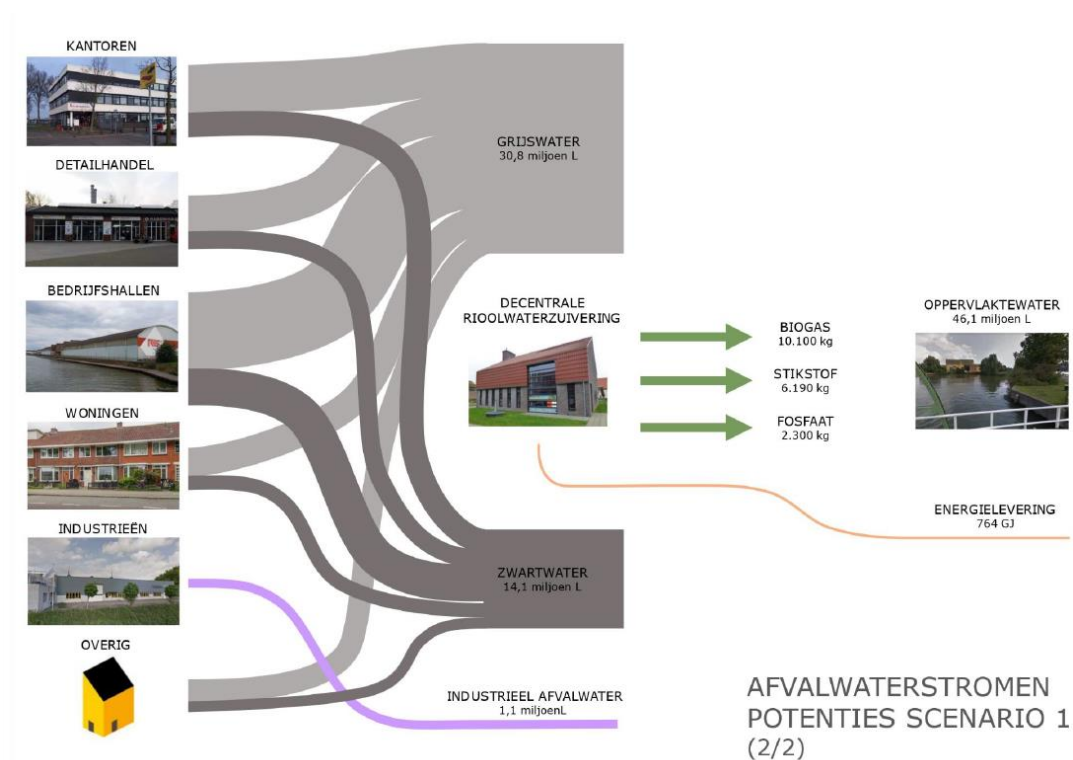
- Scenario 1: lokale drinkwaterproductie met hemelwater afkomstig van het dak van Astrimex BV (Cartesiusweg 127). Hiermee kan ca. 8.200 m³ /jaar drinkwater geproduceerd worden. Voldoende voor alle woningen in het Werkspoorkwartier.
- Scenario 2: Het hemelwater gebruiken dat via het hemelwaterriool afgevoerd zou worden. Hiermee zou ca. 160.000 m³/jaar drinkwater geproduceerd kunnen worden. Deze hoeveelheid zal lager worden als de "first flush" niet meegenomen wordt. De hoeveelheid geproduceerd drinkwater is voldoende voor alle gebouwen in het Werkspoorkwartier en omliggende gebieden (bijvoorbeeld een deel van de Cartesiusdriehoek).

Het effect van beide scenario's is dat er minder drinkwater van buiten hoeft te komen (minder verbruik van grondwater). De productie van drinkwater uit hemelwater verdient nog wel nader onderzoek.

Voor het afvalwater is onderzocht wat de mogelijkheden zijn van een decentrale afvalwaterzuivering, waarbij grondstoffen teruggewonnen worden (de voedingsstoffen fosfaat en stikstof) en er energie gewonnen wordt in de vorm van biogas. Op basis van het project Waterschoon (STOWA, 2014) is berekend wat de opbrengst aan grondstoffen en energie is als jaarlijks 30.800 m³ grijswater en 14.100 m³ decentraal gezuiverd wordt. De berekende energielevering is slechts een klein deel (0,7%) van de totale behoefte. De resultaten van de berekening zijn terug te vinden in onderstaande figuren 3.9 en 3.10.



Figuur 3.9 Afvalwaterstromen en drinkwater scenario 1 deel 1 Werkspoorkwartier.
Overgenomen uit (Bola, Lek, Arnold, Oudshoorn, & Mikael, 2018).



Figuur 3.10 Afvalwaterstromen en drinkwater scenario 1 deel 2 Werkspoorkwartier.
Overgenomen uit (Bola, Lek, Arnold, Oudshoorn, & Mikael, 2018).

3.5 Afsluiting en opdrachten

In het voorgaande zijn enkele voorbeelden van stromenanalyses besproken. Hieruit blijkt dat het maken van een stromenanalyse een geschikte methode is om een systeem goed in kaart te brengen. Dit geldt niet alleen op gebiedsniveau, maar ook op bedrijfsniveau.

Als duidelijk is hoe het huidige systeem in elkaar zit, kan aan de hand van scenario's of toekomstige ontwikkelingen nagegaan worden welke circulaire mogelijkheden er zijn en wat de impact hiervan is, welke knelpunten er zijn en wie er bij betrokken moeten worden (o.a. afhankelijk van de betreffende ketens). Dit vormt het begin van een verdere uitwerking van maatregelen.

Opdrachten

Opdracht 1

In dit hoofdstuk zijn stromenanalyses voor het gebied Werkspoorkwartier beschreven. Het is ook mogelijk om een stromenanalyse voor een bedrijf op te stellen. Een voorbeeld daarvan is *“Vallei en Veluwe circulair; Energie- en grondstofstromenanalyse, kansen en ontwikkelpaden en monitoring”* (Witteveen + Bos; Metabolic, 2018). Daar worden andere (grondstof)stromen onderzocht.

- a. Bekijk dit rapport en vergelijk de energie analyse voor het WSK met de energie analyse voor het waterschap. Zijn deze analyses vergelijkbaar? Waarom wel/niet? Wat is het grote verschil?
- b. Naar welke energie-aspecten zou je kijken als je een stromenanalyse voor een supermarktketen zou maken? En naar welke grondstoffen?

Opdracht 2

In tabel 3.2 staan de resultaten van 3 verschillende onderzoeken. De uitkomsten verschillen. Hoe nauwkeurig zou zo'n onderzoek moeten zijn? Is het een probleem dat de uitkomsten verschillen? Waar kan je deze uitkomsten wel en niet voor gebruiken?

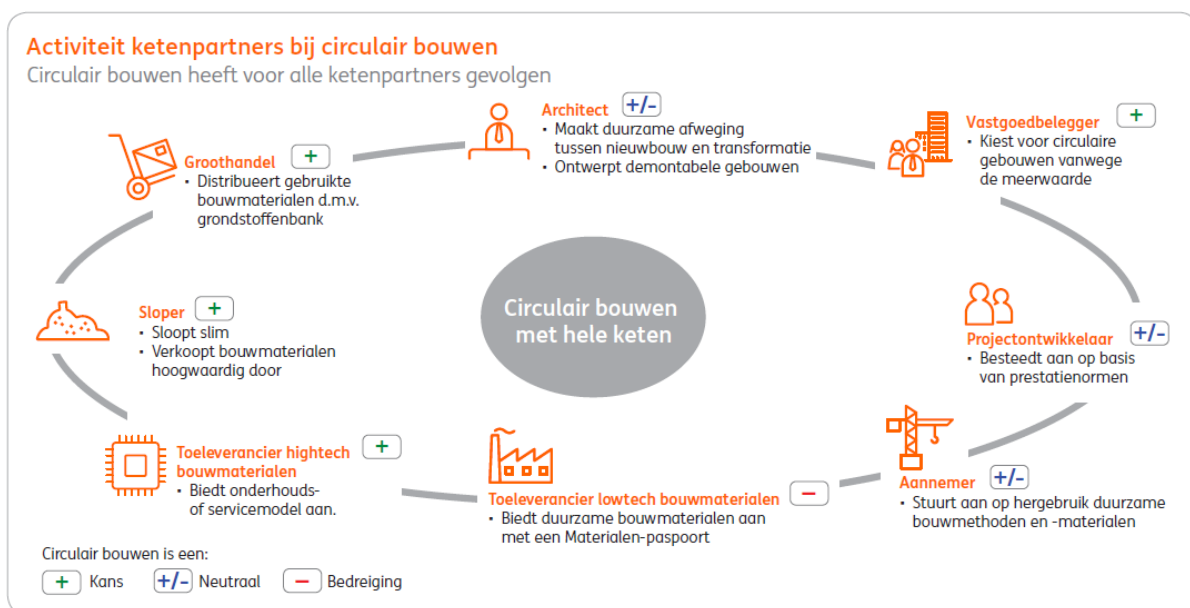
Opdracht 3

De resultaten van de inventarisatie en analyse wordt in de vorm van Sankey-diagrammen gegeven. De hiervoor gegeven diagrammen verschillen, afhankelijk van de onderzochte stroom. Kijk eens naar de figuren 3.4 en 3.5 (2 scenario's energie). Wat kan je uit deze figuren halen en wat niet? Zou jij ze op dezelfde manier opzetten of zou je ook andere informatie gebruiken?

4. Hergebruiksmogelijkheden van basismaterialen

De bouwsector is een grote gebruiker van grondstoffen en zorgt voor veel afval. In 2016 produceerde de bouwsector het meeste afval van alle sectoren, maar de bouw is ook goed voor ruim de helft van het gebruik van alle gerecyclede materialen (Nederland Circulair in 2050, 2016). Van de gebruikte materialen in de bouw was in 2016 bijna 38 procent hergebruikt (CBS, 2020). Hierbij is geen onderscheid gemaakt naar de wijze van hergebruik oftewel van welke R-strategie sprake is.

Om meer bouw materiaal zo hoogwaardig mogelijk te kunnen hergebruiken is de hele bouwketen nodig. Voor R1 en R2 (Refuse en Refuse) zijn de opdrachtgever en de architect belangrijke actoren, zij maken de afweging of een gebouw gesloopt of gerenoveerd wordt. Daarnaast speelt de architect natuurlijk ook een rol bij de andere R-strategieën, dat heeft immers te maken met het ontwerp van het gebouw (zie 2.2.2). Andere partijen die hierbij betrokken zijn onder andere de aannemers, de sloopbedrijven en de groothandels – zie figuur 4.1.



Figuur 4.1- Ketenpartners bij circulair bouwen. Overgenomen uit (ING Economisch Bureau, 2017).

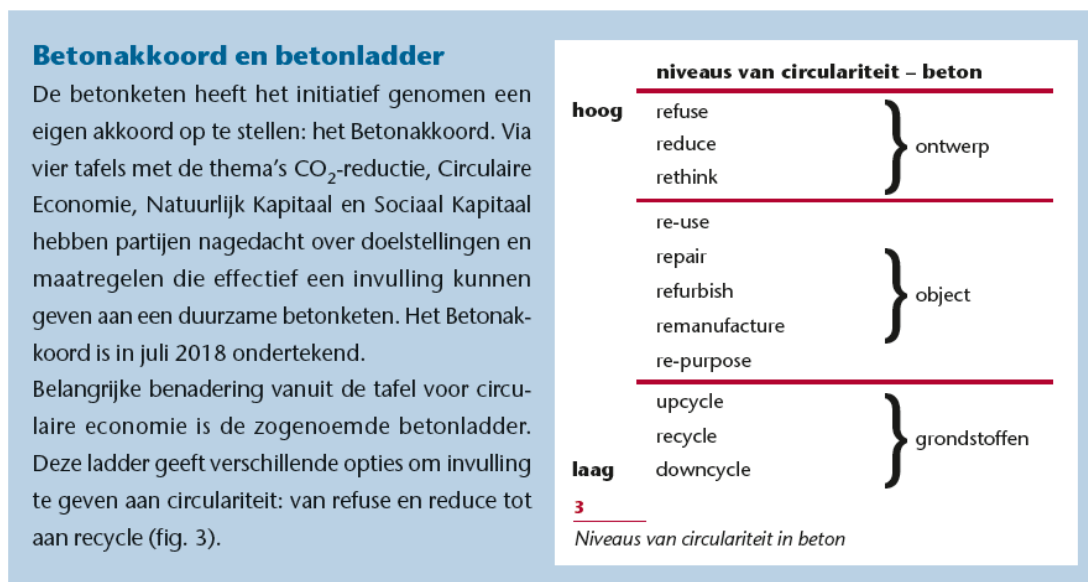
Dit hoofdstuk focust op een aantal basismaterialen voor de bouw: beton (paragraaf 4.1), hout (paragraaf 4.2), metaal (paragraaf 4.3) en kunststof (paragraaf 4.4). Daarbij gaat het met name om het deel van de keten (zie figuur 4.1) met de 'sloper', de 'groothandel' en de 'toeleverancier lowtech bouwmaterialen'. De analyse geeft inzicht in vragen als: Hoe kunnen materialen worden hergebruikt? Wat is er mogelijk met vrijgekomen bouwmaterialen? Wat voor type bedrijven zijn daarbij betrokken? Hoofdstuk 5 gaat in op de ketens van specifieke producten.

Dit hoofdstuk geeft de stand van zaken aan per begin 2020. Er zijn voortdurend nieuwe ontwikkelingen.

4.1 Beton

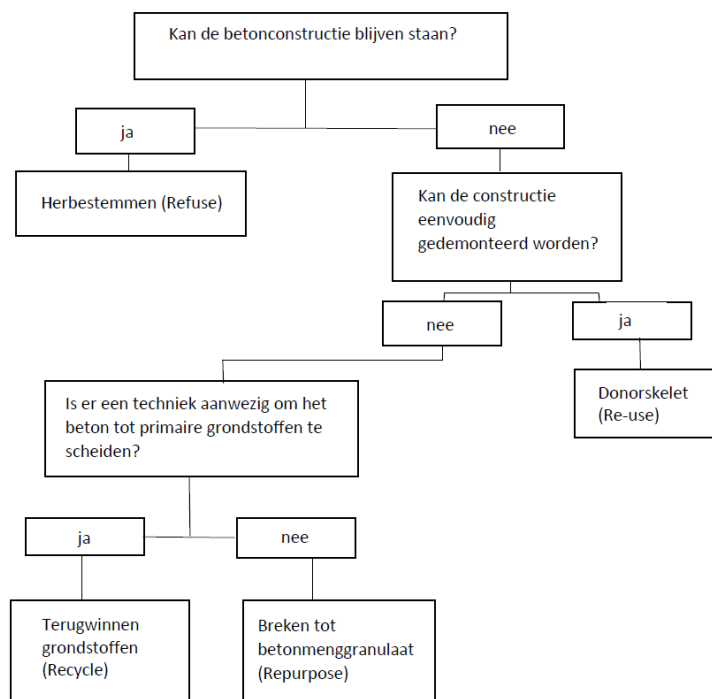
Beton is een veel gebruikt bouw materiaal, jaarlijks wordt circa 13 miljoen m³ beton geproduceerd en toegepast (CementBetonCentrum, 2020). Beton bestaat uit een mengsel van cement, fijne en grove toeslagmaterialen, eventueel hulp- en vulstoffen en water. De milieu-impact van de productie van beton is groot. Dat komt met name door het cement dat nodig is. Bij de productie van cement zijn hoge temperaturen vereist (kost veel energie) en komt direct veel CO₂ vrij bij de chemische reacties die plaatsvinden.

Momenteel wordt al het beton in principe hergebruikt, het grootste gedeelte wordt evenwel toegepast als relatief laagwaardige wegfundering (R5) (Vermeulen & Vissering, 2018). Om het hergebruik te verbeteren werkt de betonbranche aan een duurzame betonketen, zie figuur 4.2.



Figuur 4.2 Betonakkoord en betonladder. Overgenomen van (Vermeulen & Vissering, 2018).

In figuur 4.3 staat een beslisboom waarmee in een gegevens situatie een zo 'hoog' mogelijk hergebruik van beton is te bepalen.



Figuur 4.3 Beslisboom hergebruikpotenties beton. Overgenomen van (Hoeven, Arnold, & Huisman, 2019).

Tabel 4.1 geeft een overzicht van mogelijkheden om beton te hergebruiken met vermelding van de R-strategie.

Tabel 4.1 Overzicht mogelijkheden hergebruik beton.

R-strategie	“producenten”	bewerking	Voorwaarden/opmerkingen
3	Slopers Repurpose https://www.repurpose.nl/ Insert https://insert.nl/ New Horizon https://newhorizon.nl/	Hergebruik betonelementen Donorskelet	De elementen moeten bij de sloop in zijn geheel verwijderd kunnen worden. Gebouwen ouder dan 30 jaar zijn gemaakt met gestort beton, demonteren moeilijk. Ontwerp nieuw gebouw baseren op beschikbare elementen.
5	Algemeen toegepast	Gemalen beton (betongranulaat) gebruiken als grindvervanger in nieuw beton	Volgens de CUR-aanbeveling 112 mag tot 50% grind vervangen worden door betongranulaat. Als menggranulaat in beton gebruikt wordt zit daar een maximum aan vanwege de sterkte. Als je dan bijvoorbeeld een kolom met dezelfde sterker wil maken als een kolom van “virgin” beton dan zal de kolom met menggranulaat mogelijk groter moeten zijn om dezelfde krachten te kunnen dragen. Dan gaat het om de balans volume besparen en hergebruik beton.
5		Gemalen beton (menggranulaat) toepassen als wegfundering	Betonpercentage vanaf 50%
ONTWIKKELINGEN			
5	“Smartliberator” “Smartcrusher” van Rutte Groep en New Horizon https://www.smartcp.nl/ https://www.slimbreker.nl/ - C2Ca https://www.c2ca-technology.nl/	Terugwinning cement, opnieuw gebruiken voor productie beton	Deze technieken zijn nieuw, weinig grote praktijkervaring en nog in ontwikkeling

In Nederland worden Hoogovenslakken en poederkoolvliegass gebruikt als cementvervanger.

4.2 Hout

Hout wordt gebruikt in gebouwen: constructiehout, deuren, ramen, kozijnen, dakbeschot en plaatmateriaal. Het kan gaan om massief hout, spaanplaat of MDF. Daarnaast wordt hout tijdens het bouwproces gebruikt voor bekisting en voor steigerbouw. Hout komt vrij bij het bouwproces (bekisting, etc.) en bij het slopen van gebouwen.

Bij het hergebruiken van hout wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende typen hout (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2021):

- A-hout: niet behandeld en geverfd
- B-hout: geverfd, gelakt en/of verlijmd, niet zijnde A- of C-hout
- C-hout: geïmpregneerd hout, zijnde behandeld hout waar stoffen al dan niet onder druk zijn ingebracht om de gebruiksduur te verlengen.

C-hout mag niet 'nuttig' toegepast worden, maar moet worden verbrand of gestort (afhankelijk van het gebruikte impregneringsmiddel). Een uitzondering is het recyclen van gecreosoteerd hout onder voorwaarden (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2021).

Hergebruik van hout kan onderscheiden worden in:

- R3: het hergebruik van elementen zoals deuren en kozijnen
- R4: het opknappen van elementen en die weer gebruiken
- R5: bijvoorbeeld het versnipperen van hout, waarvan vervolgens onder andere spaanplaat gemaakt wordt. Of het hergebruiken van houten planken of platen voor het maken van meubels, kozijnen enz.
- R6: het verbranden van houtsnippers met energierugwinning

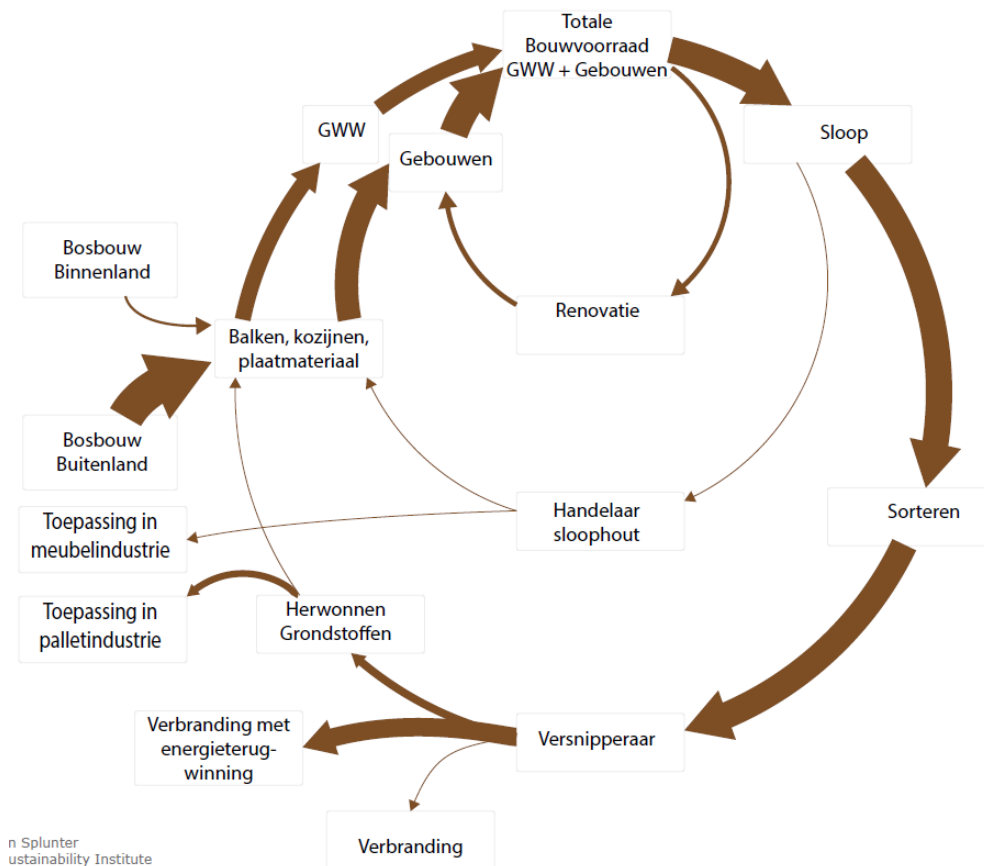
Houten kozijnen kunnen in principe hergebruikt worden in hun oorspronkelijke functie (R3) of een andere functie krijgen binnen een gebouw (R4). Een voorbeeld van R4 is het gebruik van kozijnen in het gebouw van Circl als interne scheidingswand. Het probleem bij het gebruik in de oorspronkelijke functie is dat er door de huidige hogere eisen aan de Rc-waarde een ander type glas (dubbel of driedubbel glas) ingezet zal worden, dat betekent dat aanpassingen aan het kozijn nodig zijn. Onderhoud kan de levensduur van kozijnen in hoge mate verlengen. De levensduur van kozijnen is afhankelijk van het type hout en de praktijkomstandigheden waarin het houten kozijn is toegepast (vocht, drogen en weer en wind).

Voor het hergebruik van hout in de bouwsector zijn de volgende aspecten van belang (BTG, 2014):

- Bij het ontwerp en de constructie van hout er rekening mee houden dat het uit elkaar gehaald kan worden, bijvoorbeeld geen hout en isolatiemateriaal met lijm aan elkaar vastmaken en houten balken niet verven.
- Het efficiënter scheiden van A-, B- en C-hout maakt hergebruik makkelijker.
- Het verlengen van de levensduur van houten constructies door:
 - De juiste detaillering te gebruiken om ophoping van vocht te voorkomen.
 - Het hout te conserveren, bijvoorbeeld door het verwijderen van scheuren en knoesten (om het risico van zwelling te voorkomen), de chemische structuur van hout aan te passen (bijvoorbeeld door de acetylering van hout) of het hout te bewerken met conserveermiddelen als Borax.

Figuur 4.4 geeft een overzicht van de houtketen (Splunter, 2016A). Met onderhoud en renovatie kunnen houten onderdelen hun functie behouden in het gebouw. Na sloop van het gebouw zal het vrijkomende hout worden gesorteerd, waarbij 'bruikbaar' hout meteen ingezet kan worden voor de fabricage van onder andere kozijnen, deuren en meubels (R4). Een ander deel van hout gaat naar de

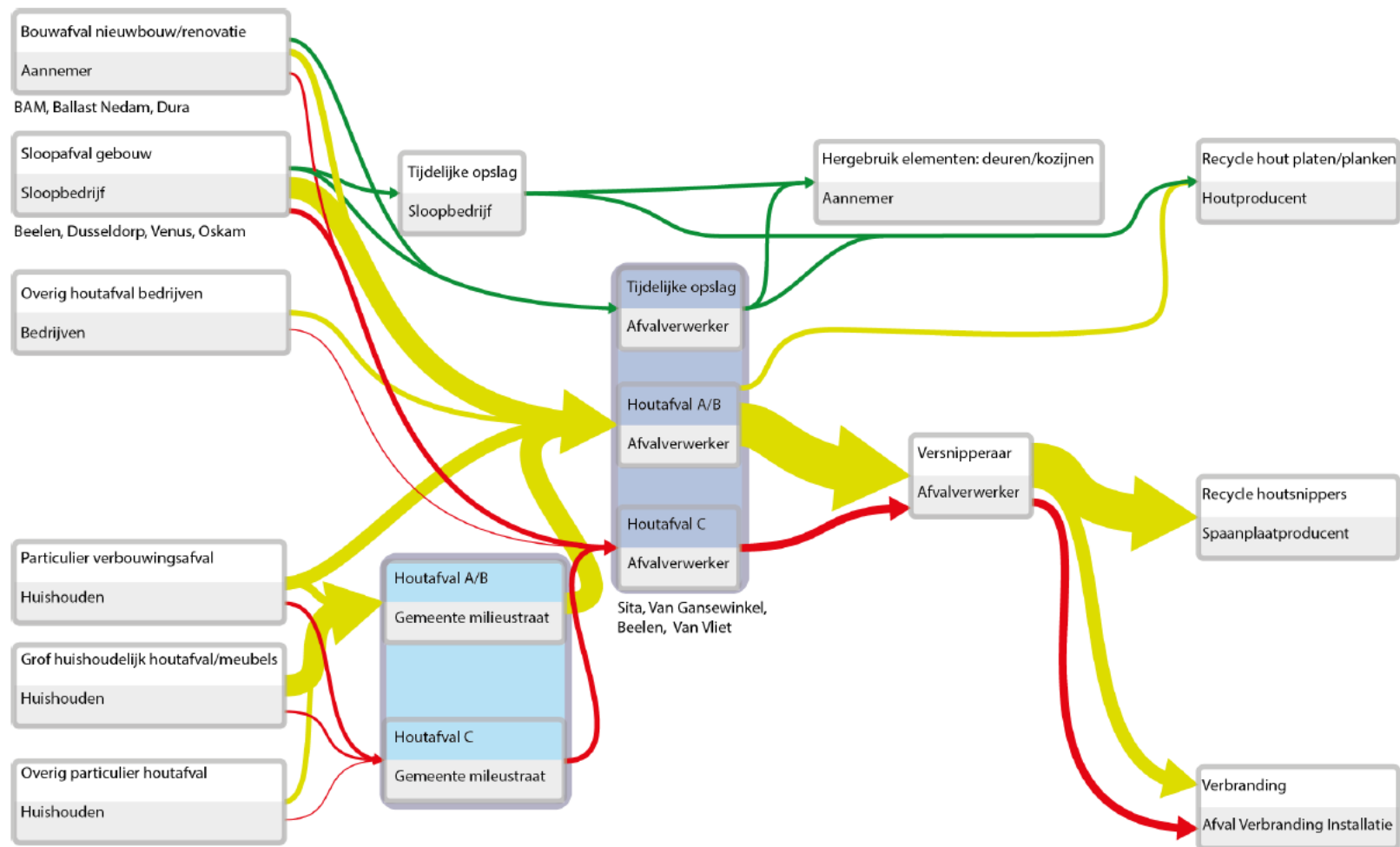
versnipperaar. Een deel van de snippers wordt verbrand (R6) en van een ander deel worden nieuwe materialen gemaakt zoals spaanplaat en pallets (R5).



Figuur 4.4 De houtafvalketen.
Overgenomen uit (Splunter, 2016A).

De houtkringloop is voor de regio Utrecht in beeld gebracht (Splunter, 2016B), zie figuur 4.5. Voor wat betreft het bouw- en sloopafval, zijn de betrokkenen in dit deel van de keten:

1. Aanleveren van het hout: aannemer en sloopbedrijf
2. Opslag: sloopbedrijf en afvalverwerker
3. Toepassing "hergebruikt" hout: aannemer en houtproducent
4. Toepassing "versnipperd" hout: afvalverwerker, spaanplaatproducent, afvalverbrandingsinstallatie



Figuur 4.5 Verwerking houtafval in de regio Utrecht. Overgenomen uit (Splunter, 2016B).

Tabel 4.2 geeft een overzicht van mogelijkheden om hout her te gebruiken met vermelding van de R-strategie.

Tabel 2 Overzicht mogelijkheden hergebruik hout

R-strategie	“producenten”	bewerking	Voorwaarden/opmerkingen
2		Kozijnen onderhouden	
3		Kozijnen repareren/aanpassen	In verband met hogere eisen aan de Rc waarde zal er een ander type glas (dubbel of driedubbel glas) ingezet moeten kunnen worden, zodat de kozijnen aangepast moet worden
3,4,5	Buurman https://www.buurman.in/		Gericht op de particulier
3,4	Slopers bijv.: Schijf winkel Restoric https://www.restoric.nl/ Van Baal http://www.vanbaal-herveld.nl/ Van Liempd https://www.avanliempd.nl/gebruikte-bouwmaterialen Beelen https://www.beelen.nl/circulair-1 New Horizon https://newhorizon.nl/ Repurpose https://www.repurpose.nl/ Insert https://insert.nl/	“marktplaats” Tijdelijke opslag	Marktplaats (Insert https://marktplaats.insert.nl/) o.a. houten balken en deuren Oogstkaart (https://www.oogstkaart.nl/)
4	Repurpose	Gebruik van deuren of kozijnen in andere functie in gebouw bijvoorbeeld wanden (Circl)	
5	Afvalverwerkers o.a. Renewi https://www.renewi.com/nl-nl Suez https://www.suez.nl/nl-nl Veolia https://www.veolia.nl/	Versnipperen van het hout Alleen voor hout A(/ B)	Recyclen houtsnippers, bijvoorbeeld door spaanplaatproducenten
6	Afvalverwerkers	Met name hout (B/) C	Verbranden

R-strategie	“producenten”	bewerking	Voorwaarden/opmerkingen
ONTWIKKELINGEN			
5	Moet nog opgeschaald worden	Bewerken van houten deuren: metalen verwijderen, glas- en kitresten verwijderen, dorpels er af zagen, slotkasten er uit, eventueel aangetaste delen wegzagen, de delen worden op ruwe maten gezaagd, waarbij vrijwel alle verflagen/resten verwijderd worden.	Demonstratieproject “Circulair hout is goud waard” (TNO Innovatiecentrum Bouw, 2018)
5	Velux en A.van Liempd Sloopbedrijven (https://www.avanliempd.nl/gebruikte-bouwmaterialen)	dakramen gemaakt zijn van 100 jaar oud sloophout	https://www.bouwwereld-nl.hu.idm.oclc.org/duurzaamheid/dakramen-gemaakt-van-100-jaar-oud-hout/ Velux: https://www.velux.nl/ons-bedrijf/maatschappelijk-verantwoord-ondernemen/circulaire-economie-en-nul-afvalproductie

4.3 Metalen

Er bestaan vele metaalsoorten. Bijna altijd zijn er echter bewerkingen nodig om metalen ook toe te kunnen passen. In de toepassing van metalen worden ferro- en non-ferrometalen onderscheiden:

- Ferrometaal, waarbij ijzer het belangrijkste bestanddeel is; staal is een bekend voorbeeld (paragraaf 4.3.1); en
- Non-ferrometaal, waar geen of enkel een klein percentage ijzer in zit; dit zijn onder andere aluminium, koper en lood (paragraaf 4.3.2).

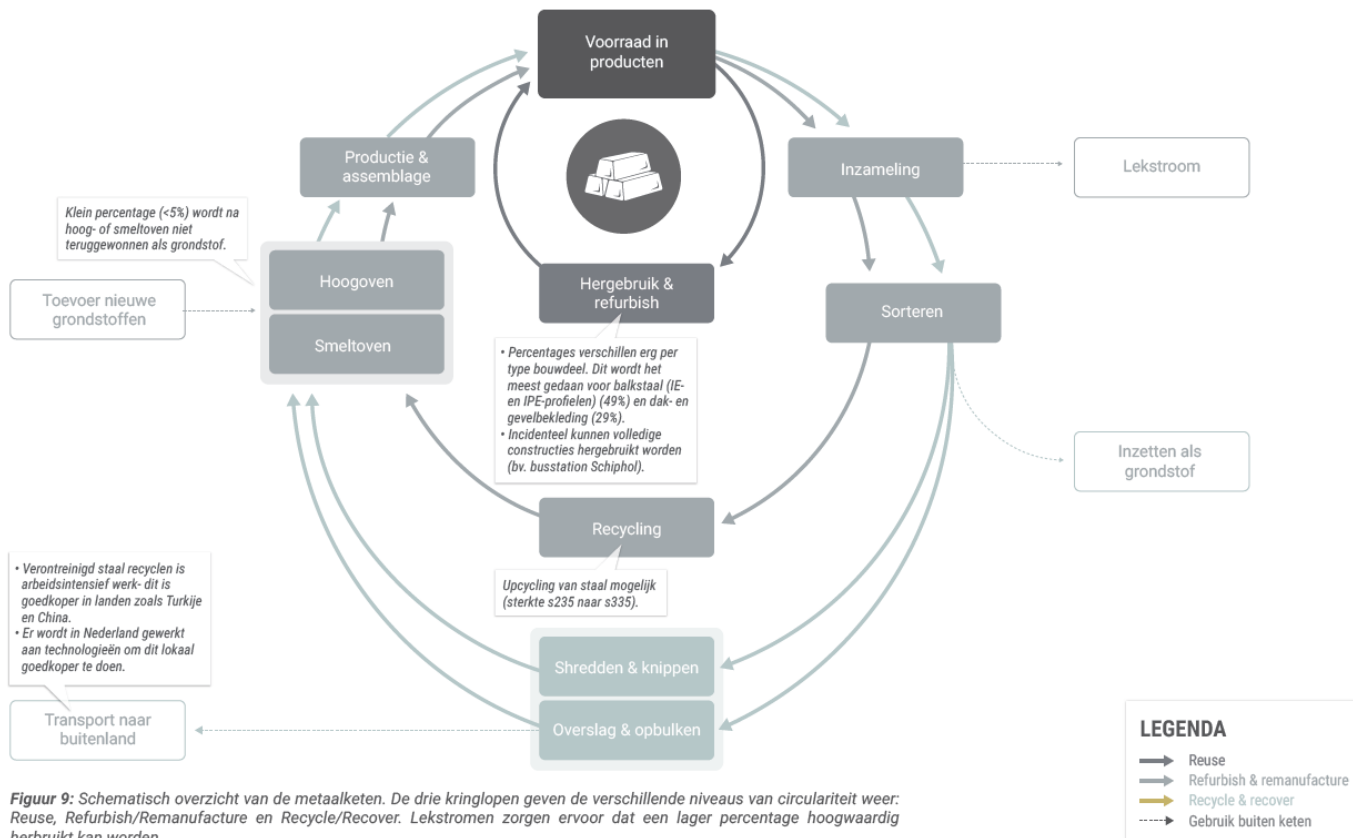
Er zijn tal van verschillende metalen en legeringen. Paragraaf 4.3.1 behandelt het bekendste en meest toegepaste voorbeeld van ferrometaal: staal. Een veelgebruikt voorbeeld van non-ferrometaal is aluminium (paragraaf 4.3.2).

4.3.1 Staal (Ferro)

Staal bestaat voor het overgrote deel uit ijzer, met een klein percentage koolstof. Sommige staalsoorten bestaan uit een legering met andere elementen, zoals mangaan of silicium. Het hangt van de toepassing van het staal af welke legering gebruikt wordt. Staal is verkrijgbaar in verschillende kwaliteiten. Deze kwaliteiten ontstaan door de manier waarop het staal wordt geproduceerd (zoals warmgewalst en koudgewalst staal) en het type en de hoeveelheid legeringsmateriaal. Staal wordt in de bouw toegepast:

- Als constructiemateriaal, in de vorm van o.a. balken en buizen, en in de wapening;
- Bij binnenwanden, kozijnen en dak- en gevelbekleding;
- In stalen damwanden in de civiele sector;
- Bij “losse” toepassingen als radiatoren en hekken.

Stalen constructiedelen (balken, kolommen) worden na sloop voor een groot deel weer opnieuw gebruikt als bouwmaterieel. Het staal heeft een lange levensduur, tot wel 100 jaar (Splunter, 2016A). Voor stalen bouwmaterialen is het mogelijk om het staal te upcyclen (sterker staal) waardoor er minder volume aan staal nodig is voor de constructie (Splunter, 2016A). Dat betekent wel dat het staal gerecycled wordt. Figuur 4.6 geeft de staalketen weer.



Voor de productie van staal wordt ijzererts gebruikt. In Nederland (Tata Steel in IJmuiden) kan tot 30% schroot ingezet worden voor de productie van staal. In het buitenland wordt in een electrostaalfabriek (zoals van ArcelorMittal in Luxemburg) staal volledig uit schroot gemaakt (geen primaire grondstoffen nodig) (Bouwen met staal, sd). Op dit moment is er nog te weinig schroot beschikbaar om aan de vraag te voldoen. Verwacht wordt dat er in de toekomst steeds meer schroot beschikbaar geval zal zijn, waardoor er dus minder ijzererts nodig is. Een korte algemene beschrijving van schrootrecycling is te vinden in bijlage 3.

Een aandachtspunt voor het ontwerp van stalen constructies is dat het de voorkeur heeft gangbare profielen (voor onder meer kolommen en liggers) toe te passen, omdat die eenvoudiger toe te passen zijn in andere bouwprojecten (Duurzaam in staal, sd). Naast de bouwmaterialen (voor gebouwen) worden ook metalen materialen als radiatoren, leuningen, hekken en poorten hergebruikt (Icibaci, 2019). In tabel 4.3 wordt een overzicht gegeven van mogelijkheden om staal her te gebruiken met vermelding van de R-strategie.

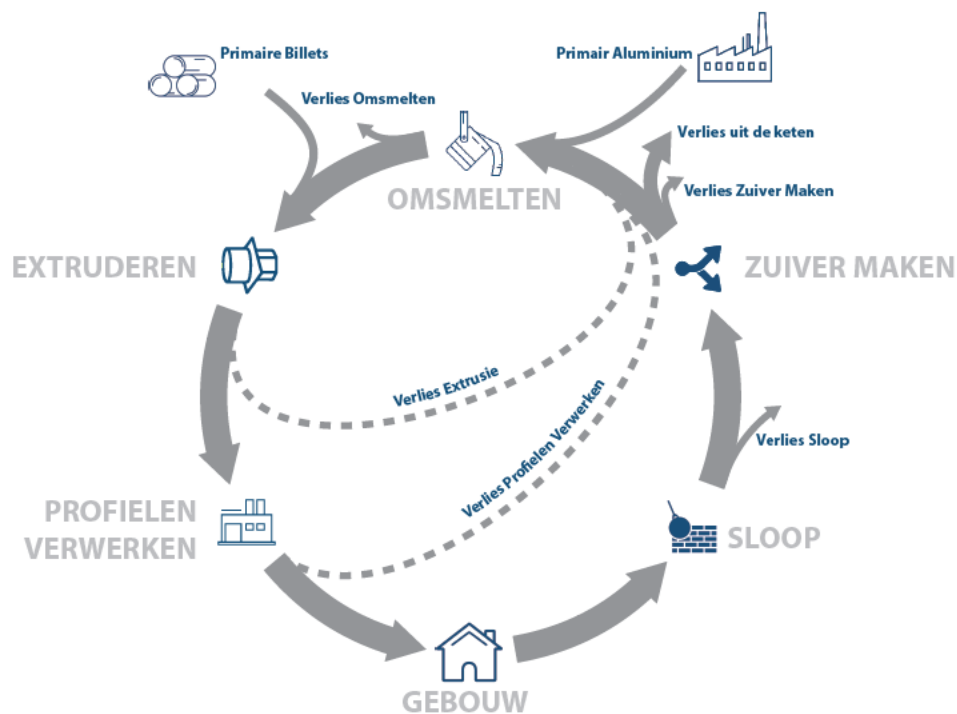
Tabel 4.3 Overzicht mogelijkheden hergebruik staal.

	“producenten”	bewerking	voorwaarden/opmerkingen
3,4	Slopers zoals: Schijf winkel Restoric https://www.restoric.nl/ Van Baal http://www.vanbaal-herveld.nl/ Van Liempd https://www.avanliempd.nl/gebruikte-bouwmaterialen Beelen https://www.beelen.nl/circulair-1 Van den Brink Staalbouw http://circulairstaal.nl/over-circulairstaal.html New Horizon https://newhorizon.nl/ Insert https://insert.nl/ Repurpose https://www.repurpose.nl/	Hergebruik van stalen constructiedelen (balken). 49 % van de staalprofielen wordt hergebruikt (Bouwen met staal, sd) Of andere stalen materialen, bijvoorbeeld kabelgoten. Gebruik donorskelet. Markplaats.	De onderdelen moeten makkelijk uit een gebouw gehaald kunnen worden. Garanties/kwaliteit/keuren is nog een moeilijk punt. Bij ontwerp al nadenken over de te gebruiken materialen. Constructeur moet ook circulair meedenken (flexibel zijn: zo nodig overdimensioneren als er “dikkere” balken beschikbaar zijn).
3	Civiele techniek	Hergebruik stalen damwanden	
5		Onderdelen gebruiken of op een andere wijze toepassen.	Bijvoorbeeld de spoorstaven.
5	Metaalrecycling sector (een groot deel verenigd in de MRF https://www.mrf.nl/index.php/informatie.html) o.a. HKS Metals https://www.hksmetals.eu/	Staal verkleinen tot staalschroot en scheiden. Vervolgens weer naar de smelterijen/gieterijen om er nieuw staal van te maken.	De samenstelling van het staal is belangrijk (welke legering). Veel staalschroot wordt nu nog in het buitenland verwerkt.
5		Upcyclen staal naar sterkere staalsoort (s235 naar s355 en s460)	Gebruik van sterker staal kan de benodigde hoeveelheid staal in constructies sterk verminderen.

4.3.2 Aluminium (non-Ferro)

Aluminium wordt onder andere gebruikt als constructiemateriaal in de bouw (licht materiaal). Daarnaast zit aluminium in raamkozijnen, deuren, vliesgevels en elementgevels. In de civiele sector wordt aluminium toegepast in onder andere lichtmasten en brugdekken. Aluminium wordt in de bouw toegepast in de vorm van legeringen. Als er een kleine hoeveelheid (0,5 – 3%) van een ander metaal (koper, magnesium, mangaan, silicium en zink) wordt toegevoegd zorgt dat voor een betere sterkte en hardheid. Aluminium is goed recyclebaar, waarbij de mechanische eigenschappen behouden blijven (Soetens, 2015).

De aluminiumketen is vergelijkbaar met de staalketen (zie figuur 4.7), het grootste deel van het ingezamelde aluminium wordt verwerkt tot schroot, waar vervolgens weer nieuwe materialen van worden gemaakt. Het aandeel gerecycled grondstof in de productie van aluminium is de afgelopen jaren toegenomen. De internationale keten van partijen voor het recyclen van schroot van aluminium is goed georganiseerd. Ongeveer 80 procent van het schroot gaat naar landen buiten Europa en wordt daar verwerkt. Het aluminium schroot afkomstig van bijvoorbeeld gevelmaterialen is vaak vervuild met andere materialen zoals glasresten en rubbers. Er zijn in Nederland twee bedrijven (E-Max en Roba Metals) die het 'vervuilde' schroot kunnen en mogen verwerken in de ovens (Hurdeman, 2017). Aluminium komt niet alleen vrij bij de sloop van gebouwen, maar ook bij de fabricage van aluminium producten.



Figuur 4.7 Aluminium stromen uit de gevelindustrie. Overgenomen uit (Hurdeman, 2017).

Tabel 4.5 geeft een overzicht van mogelijkheden om aluminium her te gebruiken met vermelding van de R-strategie.

Tabel 4.5 Overzicht mogelijkheden hergebruik aluminium

	“producenten”	bewerking	voorwaarden/opmerkingen
3	Hergebruik aluminium kozijnen		
4	New Life systeem Hydro (voorheen Sapa) (https://www.shapesbyhydro.com/en/sustainable_design/circular-economy-is-turning-cities-into-smart-cities/)	De oude lichtmasten worden teruggenomen door Hydro, ontdaan van armatuur, bekabeling en andere niet aluminium componenten. De lichtmast wordt op de juiste lengte afgezaagd, weer voorzien van onder andere armatuur en kan dan weer gebruikt worden als lichtmast.	
5	Metaalrecycling sector (een groot deel verenigd in de MRF (https://www.mrf.nl/index.php/informatie.html) Schroothandelaren Slopers	Aluminium verkleinen tot schroot. Vervolgens weer naar de smelterijen/gieterijen om er nieuw aluminium van te maken.	
5	Take Back systeem Hydro (voorheen Sapa) (https://www.shapesbyhydro.com/en/sustainable_design/circular-economy-is-turning-cities-into-smart-cities/)	Wanneer een opdrachtgever lichtmasten wil vervangen, kan gekozen worden voor het take back systeem. Bij de levering van de nieuwe lichtmasten worden de oude meegenomen. Het aluminium uit de oude masten wordt omgesmolten en dan grondstof voor nieuwe masten.	

4.4 Kunststof⁷

Kunststoffen bestaan uit chemische verbindingen die vervaardigd worden uit aardolie en andere componenten, afhankelijk van het type kunststof. Zo zijn de belangrijkste grondstoffen voor de productie van PVC (polyvinylchloride) etheen (geproduceerd door de raffinage van aardolie) en chloor (geproduceerd uit zout).

De drie meest voorkomende toepassingsmogelijkheden van kunststof in de bouw zijn: gevelbekleding, dakranden en kozijnen. Daarnaast wordt kunststof ook toegepast in het interieur van het gebouw. Kunststof heeft zelf een lange levensduur en kan goed tegen weersinvloeden. Waar hout nadelig beïnvloed wordt door het weer, denk aan rotting of schimmelvorming, is kunststof daar tegen bestand (Bentham, 2020).

In principe kunnen kunststof kozijnen na sloop opnieuw gebruikt worden, maar vanwege de hogere eisen aan de isolatie worden veel kunststofkozijnen vervangen. De (vaak) verouderde kozijnen zijn niet geschikt voor triple glas. De Vereniging Kunststof Gevelelementen industrie (VKG) houdt zich bezig met de organisatie en het stimuleren van het recycling proces. Momenteel wordt ongeveer 75 procent van de kunststofkozijnen gerecycled.

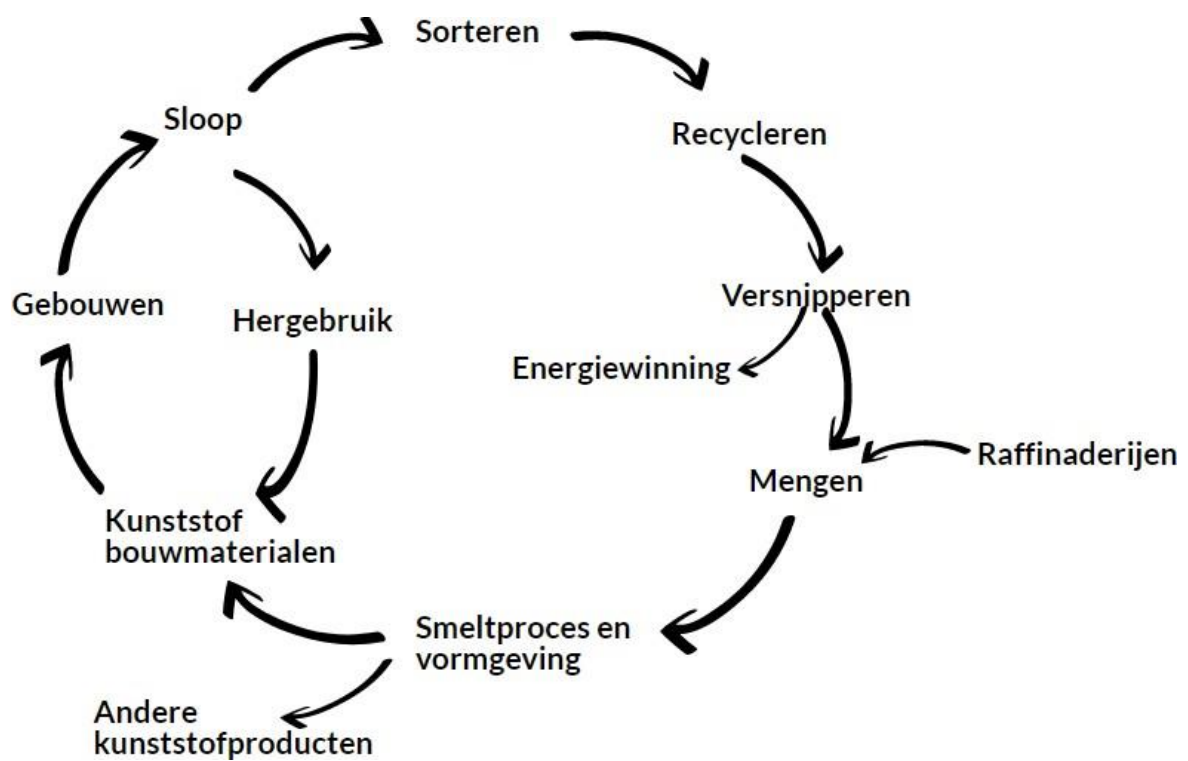
Er is een onderscheid te maken tussen renovatie en sloop. Bij renovatie is het demonteren en gescheiden afvoeren van de kozijnen een belangrijk onderdeel van de werkzaamheden. Bij totale sloop worden houten en metalen kozijnen vaak wel gescheiden afgevoerd, maar worden kunststof kozijnen verwijderd met het gemengde sloopafval (Tauw, 2017). Dan moet er nog na afvoer een scheiding plaatsvinden.

Het VKG heeft een inzamelnetwerk voor kunststof kozijnen. In principe kunnen de kozijnen daar gratis ingeleverd worden. De oude verzamelde kunststof kozijnen worden ontdaan van ijzer, rubber en glas en vervolgens. De kunststofkozijnen worden vervolgens vermalen tot korrels die als basis dienen voor nieuwe kunststof kozijnen. Dit proces kan tien keer herhaald worden zonder dat er kwaliteitsverlies optreedt (VKG, 2019).

Via het inzamelnetwerk van de VKG wordt het merendeel van de kunststof kozijnen ingezameld. Kozijnen kunnen gratis afgeleverd worden bij een VKG-inzamelpunt brengen (vaak een fabriek waar kozijnen gemaakt worden). Dit ingezamelde materiaal gaat naar recyclers in Duitsland en België om vermalen en verder verwerkt te worden (Tauw, 2017). Uiteindelijk worden er weer nieuwe kunststof ramen van gemaakt. Ook andere kunststof bouwmaterialen (PVC dakbedekking, kunststof buizen) worden verzameld en opnieuw gebruikt voor de productie van kunststof producten. Kunststof materiaal kan ook een nieuwe functie krijgen. Bijvoorbeeld een gevelbekleding gebruiken voor de vloer of een scheidingswand van de raamkozijnen (R4).

De kunststofketen is hieronder globaal weergegeven (figuur 4.8). Kunststofkozijnen kunnen in principe direct hergebruikt worden, mits in het kozijn het juiste glastype geplaatst kan worden en wanneer het nog in goede staat verkeerd, vandaar dat na de sloop de keten terug gaat naar het product. Wanneer dat niet het geval is zal het opnieuw verwerkt worden tot granulaat en opgenomen worden in de volgende productielijn kunststofproducten.

⁷ Deze paragraaf is een bewerking op basis van (Bentham, 2020).



Figuur 4.8 Kunststofketen. Overgenomen van (Bentham, 2020)

Tabel 4.6 geeft een overzicht van mogelijkheden om kunststoffen her te gebruiken met vermelding van de R-strategie.

Tabel 4.6 Overzicht mogelijkheden hergebruik kunststof (Bentham, 2020)

R	“producenten”	bewerking	voorwaarden/opmerkingen
3,4	Slopers Hergebruik kunststof kozijnen, deuren enz.	De materialen hergebruiken, eventueel in een nieuwe functie.	
5	VKG: houdt zich bezig met de organisatie en het stimuleren van het recycling proces https://vkgkeurmerk.nl/vkg-recyclesysteem/ Kunststof dakbanen: Roof collect, gevestigd in Duitsland https://www.roofcollect.com/index.cfm Kunststof leiding: BureauLeiding https://www.bureauleiding.nl/bis-buizeninzamelsysteem/ Afvalverwerkers Deceuninck https://www.deceuninck.nl/nl-nl/deceuninck-recycling Wastenet https://wastenet.nl/bouw-en-sloopafval/ Virol (https://www.virol.nl/afvalstromen/kunststof/) Algemeen Federatie NRK (https://www.nrk.nl/) Rethinkplastic (https://www.rethinkplastics.nl) Plastic Europe (https://www.plasticseurope.org/nl)	De producten worden vermalen tot korrels, die weer de grondstof zijn voor nieuwe producten.	Federatie NRK lanceerde in 2017 Rethinkplastic. In Rethink trekken NRK, PlasticsEurope Nederland en de lidbedrijven in de branche samen op. Bij inzamelen zo veel mogelijk de types kunststof uit elkaar houden.

4.6 Afsluiting en opdrachten

In plaats van een tijdelijke opslag kan er ook gewerkt worden met een soort marktplaats, waar vraag en aanbod bij elkaar komen, Voorbeelden van een dergelijke marktplaats zijn Insert (<https://insert.nl/>) en Repurpose (<https://www.repurpose.nl/>).

Opdrachten

Opdracht 1

Het project “Circulair Hout is goud waard” (TNO Innovatiecentrum Bouw, 2018)

TNO (Innovatiecentrum Bouw) heeft samen met een aantal bedrijven een demonstratieproject uitgevoerd om te laten zien wat er met houten deuren gedaan kan worden. Er komen bij renovatie- en sloopprojecten zo’n 200.000 – 300.000 deuren per jaar vrij in Nederland. Die worden nu verwerkt tot houtsnippers. De ingezamelde deuren zijn bewerkt, wat halffabricaten oplevert (pakketten planken) waarvan weer producten als ramen, deuren en kozijnen gemaakt kunnen worden. In bijlage 2 is een visualisatie van de bewerking van de ingezamelde deuren gegeven.

- a. Verdiep je in het project “Circulair Hout is goud waard”. Teken de keten met de betrokken partijen.
- b. De deuren worden bewerkt voordat ze weer hergebruikt worden. Wat kan je zeggen over de “duurzaamheid” van deze wijze van opnieuw gebruiken van de deuren. Wat is de grootste winst? Waar zie je nog verbeterpunten?
- c. Zoek uit hoe het nu staat met het project. Is het kansrijk en is er al sprake van opschaling? Zijn er andere gelijksoortige initiatieven?

Opdracht 2

Ondergrondse infrastructuur: in Nederland liggen veel kabels in de grond. Kabels bestaan uit een kern (in veel gevallen van metaal) en mantelmateriaal (vaak kunststof).

- a. Onderzoek op welke wijze deze materialen op dit moment opnieuw gebruikt worden. Een mooie start hiervoor is het rapport “Kabels en leidingen in de circulaire economie” (Circle Economy, 2017)
- b. Welke partijen spelen hierbij een rol? Zijn er nieuwe partijen bij betrokken?

Opdracht 3

Er zijn veel initiatieven en ideeën voor het hergebruik van bouwmaterialen.

- a. Probeer er achter te komen hoeveel % van de bouwmaterialen beton, hout en kunststof op dit moment opnieuw gebruikt worden.
- b. Hoe komt het dat er grote verschillen zijn tussen de drie materialen?
- c. Wat zijn de knelpunten bij het materiaal waarvan het % hergebruik het laagste is?

5. Circulaire ketens voor specifieke producten

In hoofdstuk 4 staan de hergebruiksmogelijkheden van vier veelvoorkomende bouwmaterialen. Dat hoofdstuk geeft evenwel niet meer dan een algemene beschrijving en indruk. Om daadwerkelijk producten opnieuw te kunnen gebruiken zijn veel veranderingen nodig: de organisatie rond sloop, het inkopen van grondstoffen, het ontwerp van producten, de manier van produceren en de eisen van de klant. Dat betekent een aangepaste keten van toelevering en productie, levering aan de klant en sloop. De overgang van een lineaire keten naar een circulaire keten wordt niet voor niets een transitie genoemd. Materialen gaan, al dan niet na een bewerkstap, na sloop of gebruik weer terug de keten in. De circulaire keten bestaat voor een deel uit andere partners dan de lineaire keten.

In dit hoofdstuk wordt voor enkele producten beschreven hoe de nieuwe circulaire keten eruit ziet. De genoemde veranderingen maken duidelijk dat het dan nodig is om zowel naar de bouw als naar de industrie te kijken. Het moet voor de gehele levenscyclus duidelijk worden welke bedrijven betrokken zijn en waar er ruimte is voor nieuwe type bedrijven. Om daar goed inzicht in te krijgen is het nodig om naar specifieke producten te kijken. Dan gebeurt de analyse op het niveau van een specifieke groep bedrijven. Paragraaf 5.1 gaat over de overgang naar een circulaire keten voor plafondplaten en paragraaf 5.2 gaat over een circulaire keten voor kranen. In paragraaf 5.3 staat isolatiemateriaal centraal en wordt ten opzichte van de andere paragrafen dieper ingegaan op de grondstoffen en de productieprocessen.

5.1 Keten voor refurbished plafondplaten⁸

Op basis van een inventarisatie van types plafondplaten is gekozen om de harde doorligplaten verder uit te werken. Deze platen worden toegepast in een blootgesteld systeemplafond, dat is een systeemplafond waarbij het frame zichtbaar is. Deze platen worden toegepast in kantoren, scholen, overheidsgebouwen, etc. Naast de harde doorligplaten bestaan er ook zachte doorligplaten. Momenteel worden de zachte doorligplaten het meest gebruikt, maar in het verleden waren dat de harde. Deze harde platen zullen dan ook als eerste vrijkomen bij de sloop of renovatie van gebouwen. Vandaar dat ze interessant zijn voor het onderzoek naar hergebruik.

Hard minerale plafondpanelen bestaan uit verschillende grondstoffen: steenwol voor de akoestiek, perliet, cellulose, klei/glas of gerecycled papier voor de opvulling en stijfseel als bindmiddel. Na het mengen van de grondstoffen krijgt het materiaal een warmtebehandeling en wordt het verder afgewerkt met een coating. Een eigenschap van deze platen is dat ze een goede geluidsabsorptie hebben.

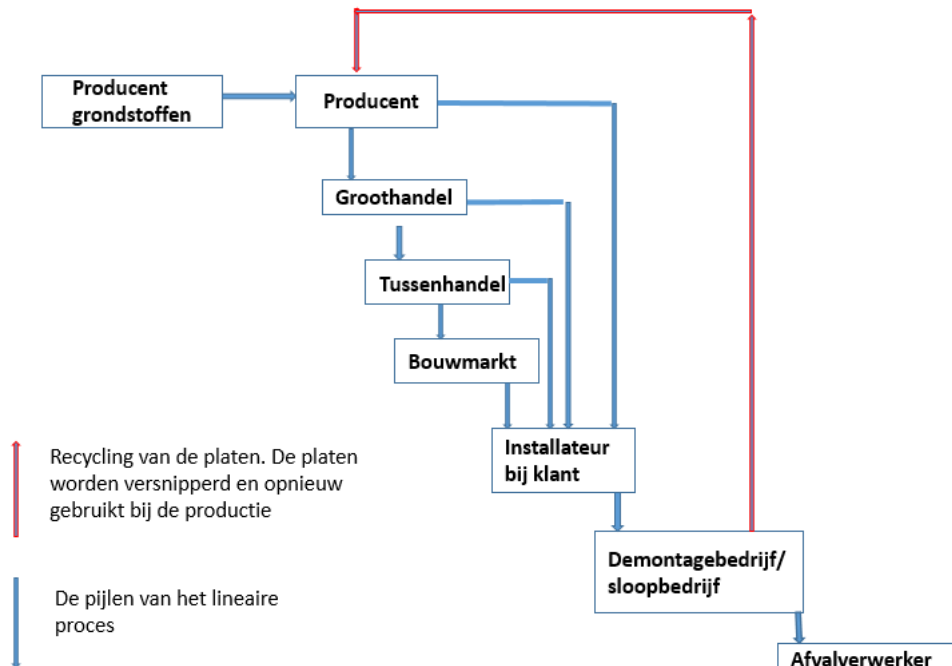
Plafondplaten moeten aan verschillende eisen voldoen (Beverloo, Blauw, Bruinessen, Hoobroeckx, & Huijbens, 2019):

- Vochtbestendigheid
- Brandklasse: afhankelijk van waar de platen toegepast worden en in combinatie met welke andere bouwmaterialen.
- NRC-waarde: dit is de nagalmcoëfficiënt en heeft te maken met de akoestiek van de plaat. Deze waarde wordt uitgedrukt in een getal tussen 0 en 1.
- Lichtreflectie: dit geeft aan hoe veel licht de plaat reflecteert.

⁸ Een groep studenten van Hogeschool Utrecht heeft onderzoek gedaan hoe een proces ingericht kan worden voor het op nieuw toepassen van gebruikte plafondplaten (Beverloo, Blauw, Bruinessen, Hoobroeckx, & Huijbens, 2019). Zij hebben dit onderzoek uitgevoerd in opdracht van Buro BOOT, Insert en het lectoraat Building Future Cities. Deze paragraaf is een weergave van dit studentenproject.

- Als de plafondplaten in een ruimte hangen waarin met voedingsmiddelen gewerkt wordt, dan moeten ze ook voldoen aan HACCP (Hazard Analysis Critical Control Points) eisen.

In figuur 5.1 is de huidige lineaire keten van bedrijven voor productie en toepassing van plafondplaten gegeven. Producenten van plafondplaten zamelen onder bepaalde voorwaarden plafondtegels weer in, versnipperen die en gebruiken dat als grondstof voor de productie van nieuwe platen (R5 volgens de R-strategieën).

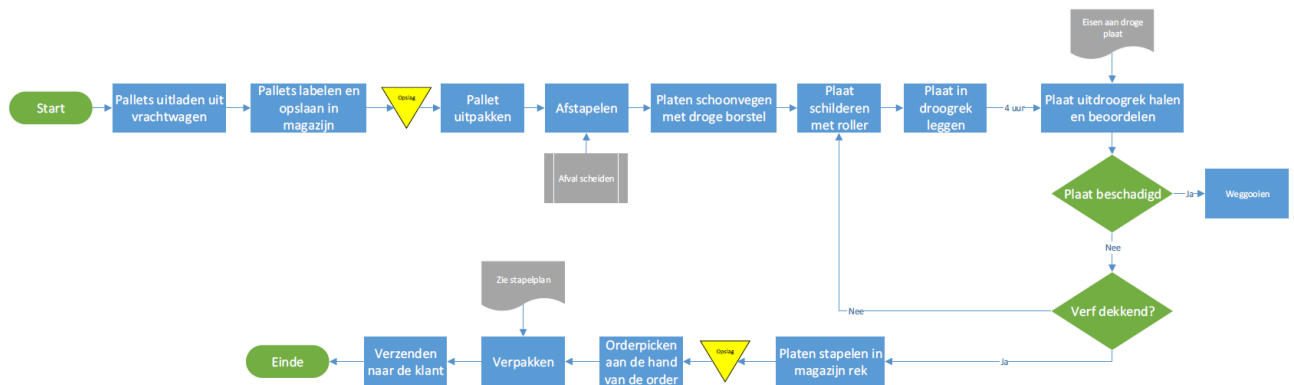


Figuur 5.1 Huidige lineaire keten plafondplaten met één vorm van hergebruik.
Bron (Beverloo, Blauw, Bruinessen, Hoobroeckx, & Huijbens, 2019).

Er is dus al op kleine schaal sprake van het sluiten van een kringloop, maar er is veel meer circulaire winst te halen door van een “betere” R-strategie uit te gaan. De studenten hebben daarom onderzocht hoe de plafondplaten, na opknappen, opnieuw gebruikt kunnen worden (R4). In dit proces van hergebruik worden grofweg de volgende stappen onderscheiden – een meer gedetailleerde weergave staat in figuur 5.2:

- **Demonderen** Indien een gebouw vernieuwd of helemaal gesloopt gaat worden, dan is het van belang om eerst de plafondplaten uit het gebouw te halen voordat er verder gesloopt of verbouwd wordt. Dan blijft de kwaliteit van de platen behouden.
- **Transport** Dit kan gebeuren door de platen te stapelen op pallets en die vervolgens te vervoeren naar de bewerkingslocatie.
- **Bewerking** De plafondplaten worden uitgepakt, waarna de gebruikte verpakkingsmaterialen en de pallets zo veel mogelijk worden hergebruikt. Uit onderzoek van de studentengroep is gebleken dat de platen niet schoongemaakt hoeven te worden, alleen het schoonvegen met een veger volstaat. Vervolgens worden de platen geschilderd, dit kan met een roller of met een spuit (grotere hoeveelheden). In het rapport van de studenten is er van uitgegaan dat het schilderen met een roller uitgevoerd wordt. Na het verven moeten de platen drogen, dit kan in een droogrek.

- **Opslag** Als de platen droog zijn, dan kunnen ze gestapeld en opgeslagen worden.
- Na het drogen dient er een **kwaliteitscontrole** uitgevoerd te worden. Dit kan een visuele controle zijn, omdat de platen alleen maar geschilderd zijn en er verder niks gewijzigd is aan de platen.



Figuur 5.2 Flowchart proces. Overgenomen van (Beverloo, Blauw, Bruinessen, Hoobroeckx, & Huijbens, 2019). Een grotere versie van figuur 27 is te vinden in bijlage 5.

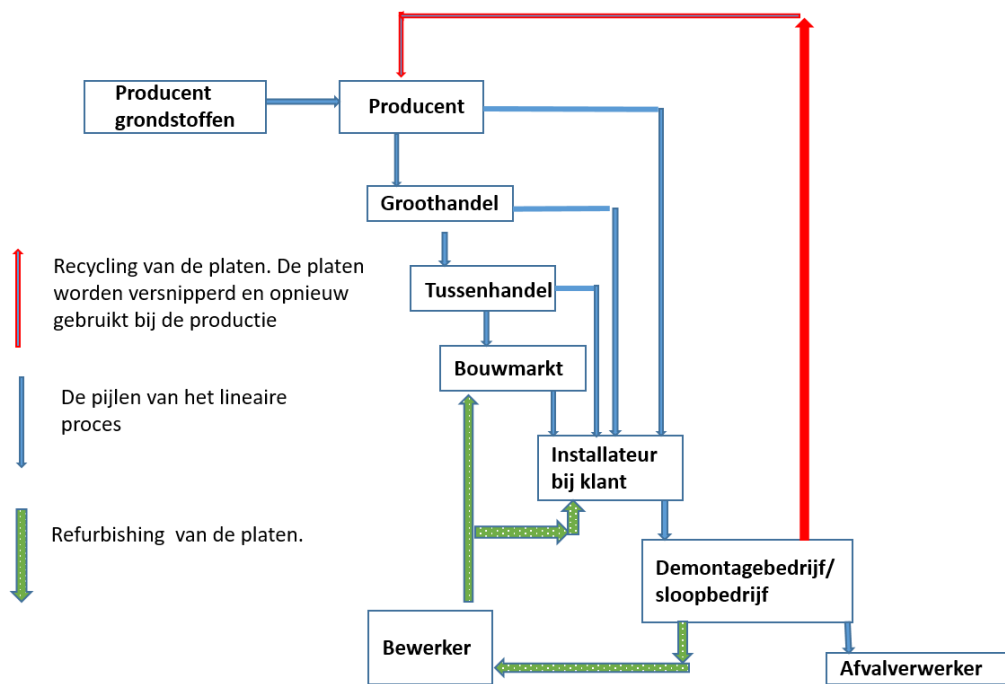
Essentieel is de vraag: voldoen de bewerkte plafondplaten nog aan de wet- en regelgeving? Dat is als volgt verantwoord:

- Lichtweerkaatsing: door de juiste keuze van de te gebruiken verf (voldoet aan EN 13300 norm) is de lichtweerkaatsing voldoende
- Akoestiek: de laag verf die aangebracht is zorgt voor een kleine verandering van de akoestiek. Er zijn geen wettelijke regels voor akoestiek. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen wat de invloed van de verflaag is op de akoestiek.
- Brandveiligheid: na de bewerking moet de brandveiligheid onveranderd zijn of tenminste voldoen aan brandklasse B van de NEN-EN 13501 norm. Een beperkt onderzoek (Beverloo, Blauw, Bruinessen, Hoobroeckx, & Huijbens, 2019) heeft laten zien dat er geen verschil is tussen de oorspronkelijk plaat en de geverfde plaat. Als het proces opgeschaald wordt, zal dit nog wel verder onderzocht moeten worden.

Er is voor deze casus een businesscase opgesteld. De kosten zijn afhankelijk van het aantal plafondplaten dat uit een gebouw verwijderd kan worden, de afstand tussen dat gebouw en de bewerkingslocatie en de afstand tussen de bewerkingslocatie en de eindafnemer. Met een verkoopprijs die op het zelfde niveau ligt als de prijs van nieuwe plafondplaten lijkt het opknappen en opnieuw gebruiken van de plafondplaten rendabel te kunnen zijn.

Er zijn ook niet financiële baten (deze baten zijn niet kwantitatief uitgezocht in dit onderzoek) bij het gebruik van opgeknapte plafondplaten:

- Geen verbruik van de basis grondstoffen (alleen verf).
- Geen transport van de basis grondstoffen (alleen de verf) naar de fabrikant.
- Geen emissie/uitstoot door de fabricage van plafondplaten.
- Het is waarschijnlijk dat ook transport minder zal zijn. Dit is evenwel niet verder uitgezocht in het project. Het is wel duidelijk dat de milieu-impact van de opgeknapte plafondplaten minder is dan die van nieuwe plafondplaten.



Figuur 5.3 Lineaire en circulaire ketens plafondplaten.
 Bewerking van figuur uit (Beverloo, Blauw, Bruinessen, Hoobroeckx, & Huijbens, 2019)

In figuur 5.3 is de keten van de opgeknapte plafondplaten toegevoegd aan de lineaire keten. De keten is gesloten en kleiner geworden. Het is nog niet helemaal bekend hoe de stap van bewerker naar de afnemer (bouwmarkt en installateur) georganiseerd zou kunnen worden. Dat zou ingevuld kunnen worden door het bedrijf dat de platen bewerkt of het demontage-/sloopbedrijf of een derde partij. Aanbieden van de plafondplaten kan onder andere via een online platform zoals een marktplaats voor bouwmaterialen (bijvoorbeeld [Insert](#)).

5.2 Keten voor hergebruik van kranen⁹

Bij het slopen en renoveren van gebouwen komen veel kranen vrij. Er zijn vele typen kranen, er is in dit project voor gekozen om de focus te leggen op een zwenk kraan en een mengkraan voor de badkamer. Verwacht wordt dat het aanbod van deze types het grootst zal zijn. Onderstaande modellen zijn aangehouden voor de uitwerking.

⁹ Een groep studenten (Bruin, Goede, Jaarsveld, & Zwetsloot, 2020) heeft onderzoek gedaan naar het hergebruik van kranen: *Hoe kunnen verschillende stakeholders gezamenlijk de keten van waterkranen herinrichten, zodanig dat de huidige keten een circulaire keten wordt waarbij het verkopen van deze kranen financieel rendabel kan worden?*. Deze paragraaf is een weergave van dit studentenproject.

Costa L
Wastafelmengkraan

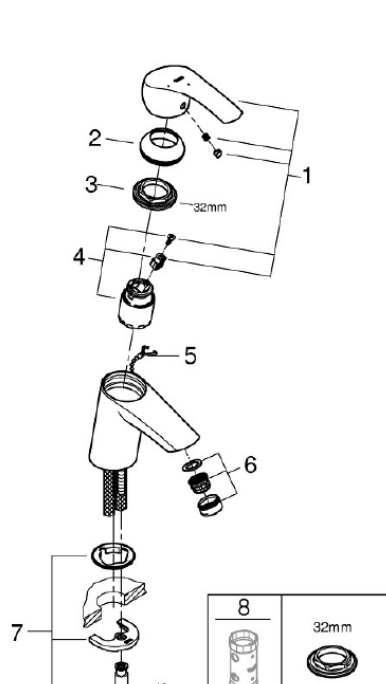


Eurosmart
Wastafelmengkraan
S-Size



Figuur 5.4 Voorbeeld van kranen die onderzocht zijn. Bron (Grohe, 2020).

Een kraan bestaat uit een aantal componenten. De meeste componenten bestaan uit nikkel met een laagje chroom. Het laagje chroom is corrosie werend en daarnaast ook decoratief.



Pos.-nr.	Omschrijving	Art. nr.	St. verpakt
1	Greep	46902000	1
2	Stofkap	46492000	1
3	Schroefverbinding	46460000	1
4	Kardoes	46863000	1
5	Ketting	06815000	1
6	Mousseur	48159000	1
7	Kraanmontageset	46671000	1
Speciale accessoires			
8	Pijpsleutel	19332000	1
9	Pijpsleutel	19017000	1

Figuur 5.5 De onderdelen van een mengkraan (Grohe Eurosmart). Bron (Grohe, 2020).

Kranen zijn voor de afdichting voorzien van een kraanleertje (met name de oudere kranen) of een keramische schijf. De keramische schijven zijn heel hard en glad afgewerkt, zij slijten beperkt.

Mogelijke problemen met kranen:

- Beschadiging van de kraan aan de buitenkant door onzorgvuldig gebruik
- Lekkage. Als een kraanleertje vervormd raakt, ontstaat er lekkage. Dit kan gerepareerd worden door vervanging van het leertje. Bij keramische schijven kan er lekkage ontstaan

door vuil dat tussen de platen terecht is gekomen. In dat geval moet de platen vervangen worden. Lekkage bij keramische platen komt minder vaak voor dan bij het gebruik van een rubbertje.

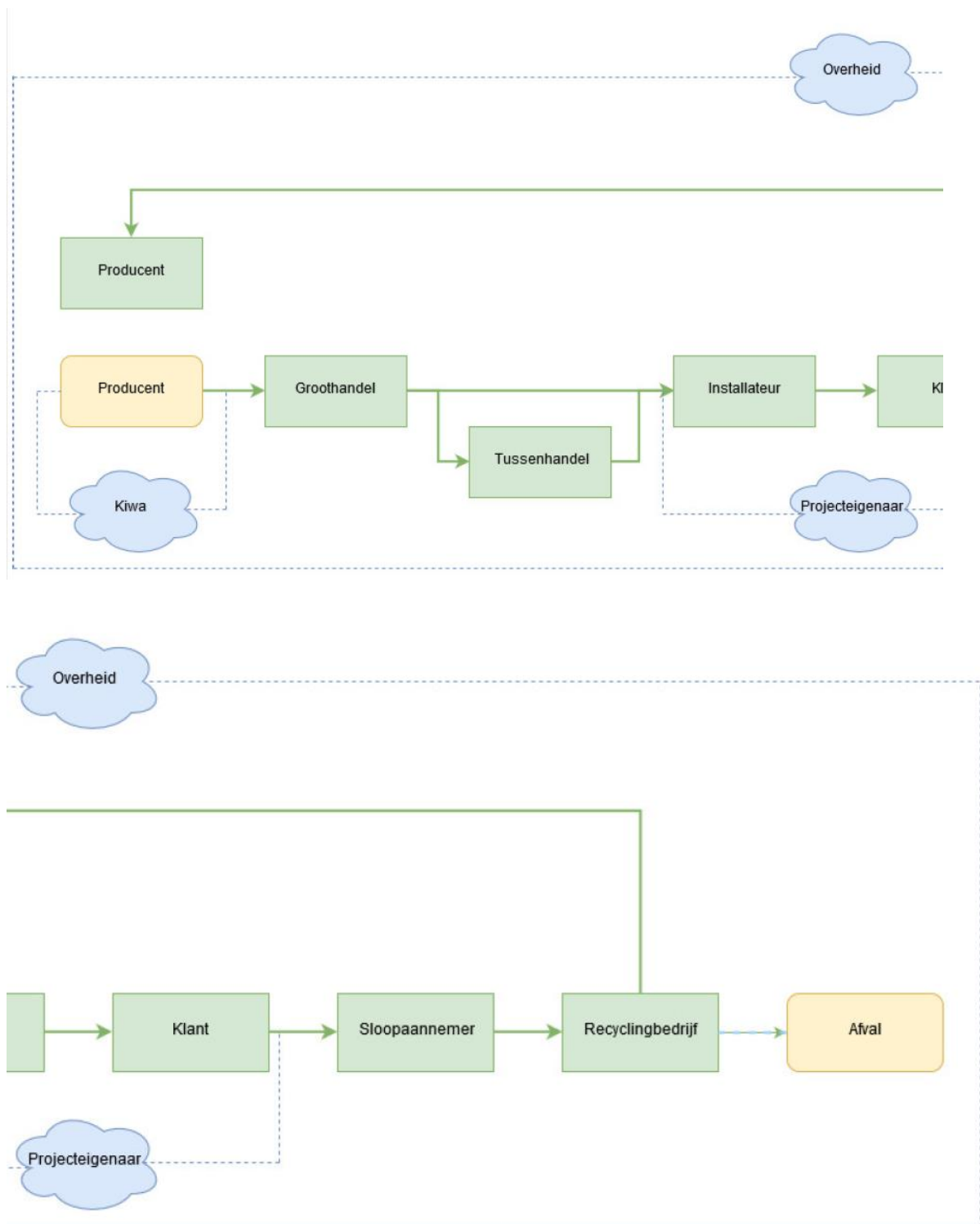
- Lage waterdruk. Door kalkaanslag kan er minder water uit een kraan komen.

In Nederland kunnen kranen worden voorzien van een KIWA keurmerk. De KIWA-test van producten worden toegepast in industriële en huishoudelijke waterinstallaties. De beoordeling wordt uitgevoerd op basis van BRL's (beoordelingsrichtlijnen): BRL-K607 voor sanitaire kranen/instelbare mengkranen en BRL-K610 voor thermostatische mengkranen. Volgens de BRL-K607 worden de volgende punten getest (KIWA):

- Geschiktheid voor contact met drinkwater. "Producten en materialen die in contact (kunnen) komen met drinkwater of warm tapwater mogen geen stoffen afgeven in hoeveelheden die schadelijk kunnen zijn voor de gezondheid van de consument of anderszins de waterkwaliteit aantasten" (KIWA)
- De eisen aan het product die zijn vastgelegd in NEN-EN 817 "Sanitaire kranen –Mechanisch instelbare mengkranen (PN10) –algemene technische eisen"
- Daarnaast zijn er nog aanvullende eisen aan corrosievastheid, flexibele aansluitleidingen, keerkleppen, schuimstraalmondstukken en minimale volumestroom.

De minimale volumestroom bij wastafelmengkranen moet 0,07 l/s drinkwater en 0,042 l/s warm tapwater bij een gebruiksdruk van 100 kPa zijn. Gebruikte kranen moeten uiteraard ook voldoen aan bovenstaande eisen.

De huidige lineair keten van kranen is te vinden in figuur 5.6. In bijlage 6 staat de keten in een groter figuur. Met de groene pijlen wordt de weg van de kranen aangegeven. Van de producent, via de groothandel en eventueel een tussenhandel naar de installateur. Die installeert de kraan bij de klant. Bij renovatie of sloop wordt de kraan verwijderd, die vervolgens naar een recyclingbedrijf gaat. Daar wordt het metaal uit de kraan gewonnen, dit metaal kan dan weer grondstof zijn voor elke producent die metaal nodig heeft (R5 recycling). Zo zal dit metaal vaak in een andere productieketen terecht komen. De keten is wel min of meer gesloten, maar gezocht wordt naar een betere R-strategie. De stakeholders, die niet fysiek met de kraan te maken hebben, zijn in het blauw weergegeven.



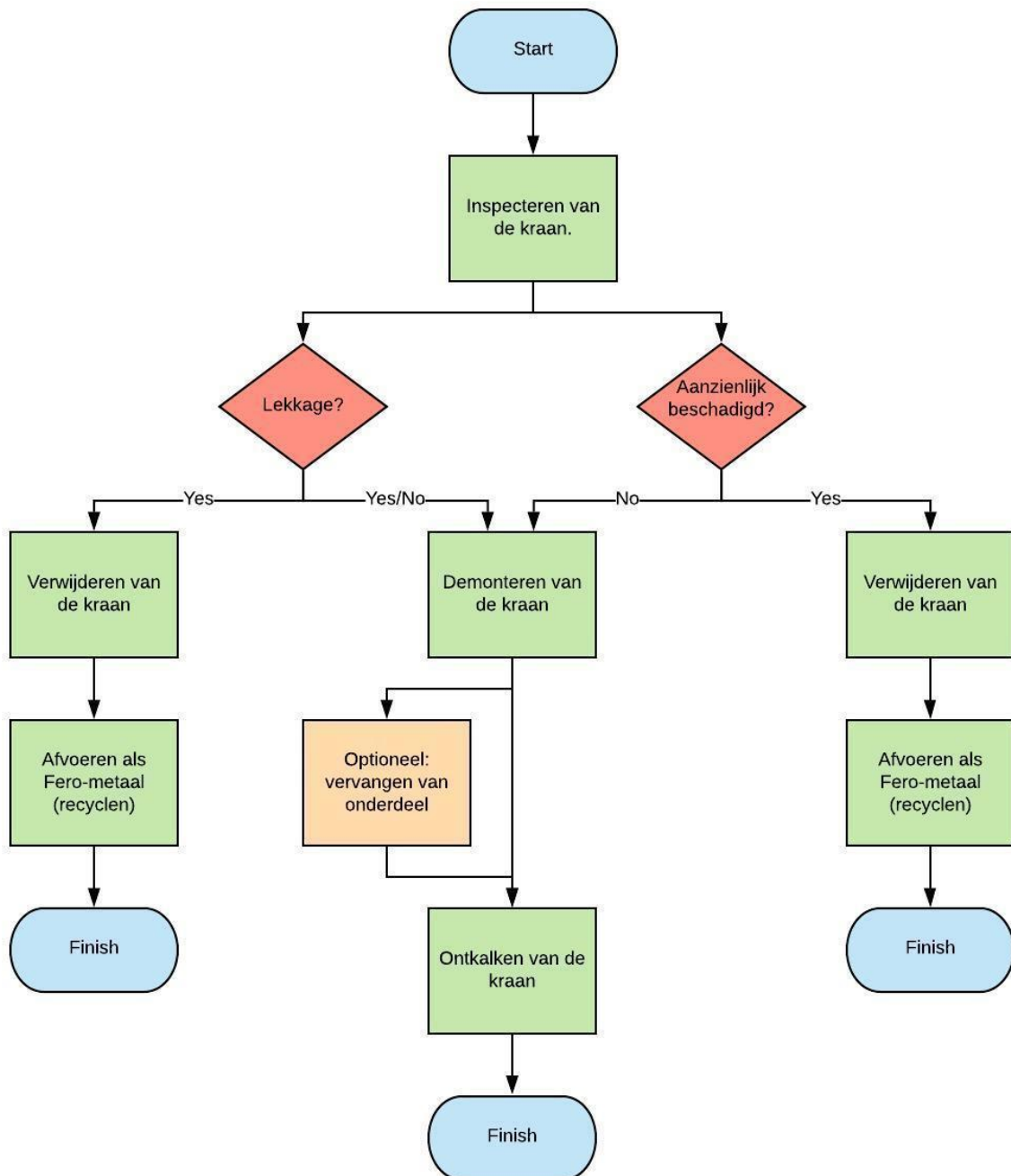
Figuur 5.6 Huidige keten kranen. Overgenomen uit (Bruin, Goede, Jaarsveld, & Zwetsloot, 2020).

Voor het hergebruiken van kranen worden de volgende processtappen onderscheiden:

1. Inspectie van de kraan
2. Demonteren
3. Transport
4. Ontkalkproces

5. Opslag

Voordat de kraan verwijderd wordt, vindt er een inspectie plaats. Tijdens deze inspectie wordt nagegaan of de kraan nog goed functioneert en hoe die er uit ziet. De beslisboom is te vinden in figuur 5.7.

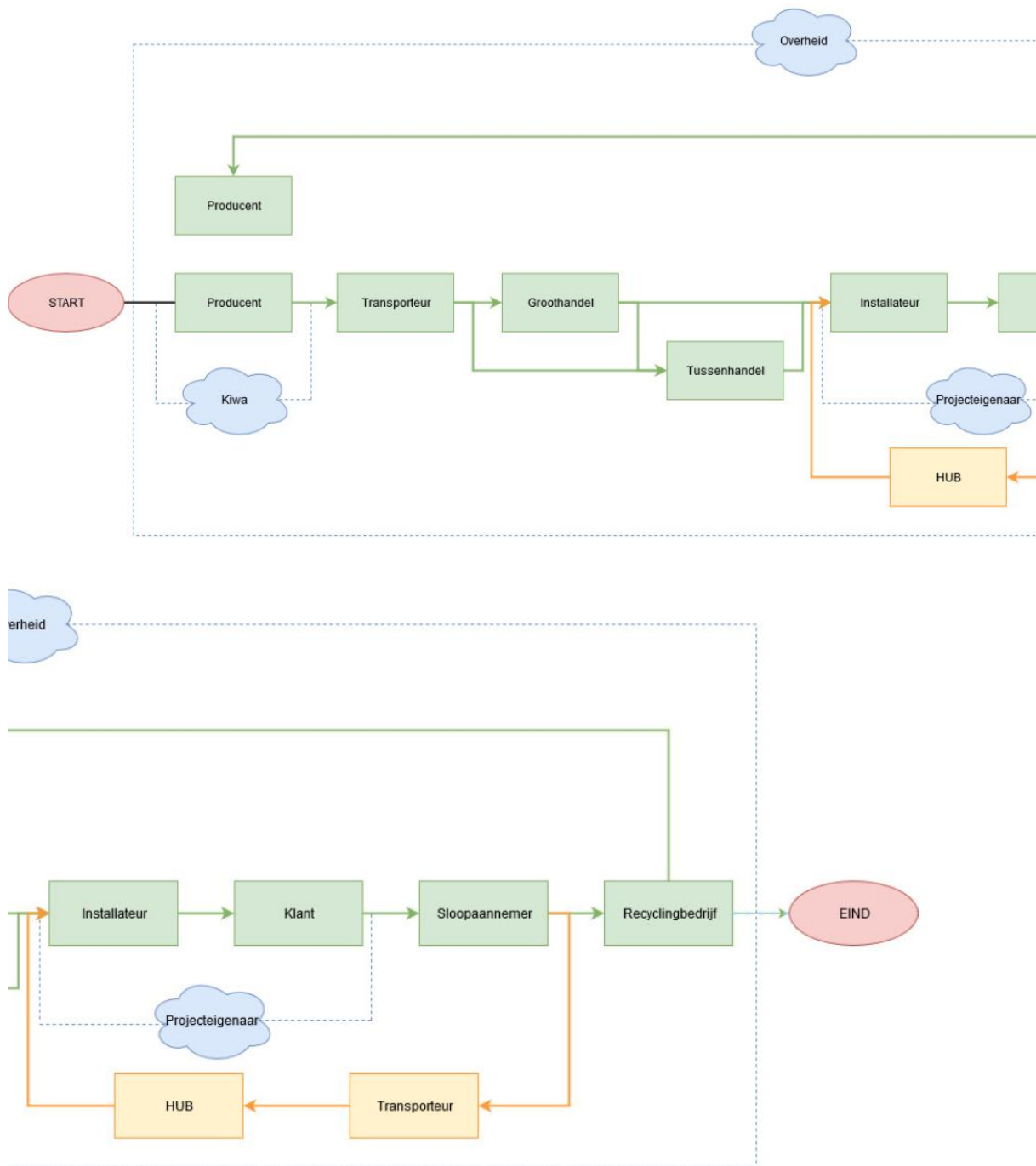


Figuur 5.7 Beslisboom kranen. Overgenomen uit (Bruin, Goede, Jaarsveld, & Zwetsloot, 2020).

De sloper dient zelf de keuze te maken of een kraan eventueel gerepareerd wordt. Het reparereren zal met name gaan om het vervangen van het kraanleertje of de keramische schijven. De demontage van de kranen dient zorgvuldig uitgevoerd te worden. Na demontage worden de kranen ingepakt in een schuimzak, die weer in een box wordt geplaatst voor het transport. De gedemonteerde kraan zal tijdelijk opgeslagen worden in een HUB, waar ook de bewerking plaats zal vinden. De HUB is een

grote hal waar materialen opgeslagen kunnen worden. Er zijn diverse sloopbedrijven die zo'n HUB hebben.

De volgende stap is het ontkalken van de kranen. Hiermee wordt het uiterlijk van de kranen "vernieuwd". Als ontkalkingsmiddel kan schoonmaakazijn gebruikt worden. Het ontkalken vindt plaats in een ladesysteem: de lade wordt gevuld met azijn, de kranen worden er een nacht ingelegd, vervolgens worden de kranen er uitgehaald, afgespoeld en gedroogd. Als de kraan ontkalkt is, zal die verpakt worden in een kartonnen doos. De kraan is dan klaar om weer verkocht te worden.



Figuur 5.8 Toekomstige keten kranen. Overgenomen van (Bruin, Goede, Jaarsveld, & Zwetsloot, 2020).

In de circulaire keten van kranen (figuur 5.8) is de keten kleiner geworden en grotendeels gesloten (R4). Er zal altijd een deel van de kranen naar het recyclingbedrijf gaan, maar dat zal beduidend minder zijn dan in de huidige keten. Het idee is dat de kranen via een online platform verkocht worden.

In de toekomstige keten zullen de stakeholders een andere rol vervullen of juist toegevoegd zijn aan de keten:

- Sloopaannemer: inspectie van de kranen, zorgvuldig demonteren en inpakken
- Transporteur: transport van de kranen naar de Hub
- Klant- en eindgebruiker: bewust worden dat een refurbished kraan net zo goed is als een nieuwe en goedkoper
- Hub eigenaar: ruimte beschikbaar hebben voor opslag en bewerking van de kranen
- Uitvoerend personeel (via een sociale werkplaats): ontkalken en inpakken
- Online platform: verkoop van kranen

Op basis van een aantal aannames (o.a. transportafstanden, aantal kranen, verkoopprijs, afzet kranen) is een businessplan opgesteld (Bruin, Goede, Jaarsveld, & Zwetsloot, 2020). Daaruit volgt dat het hergebruik van kranen in principe rendabel is. Hierbij is een verkoopprijs gehanteerd die lager ligt dan die van een nieuwe kraan.

Uitgangspunt bij circulaire ketens is dat er “waarde” toegevoegd wordt, in dit geval is dat:

- Minder grondstoffen nodig voor de productie van nieuwe kranen als er meer gebruikte kranen opnieuw verkocht worden.
- Maatschappelijk verantwoord ondernemen door een deel van het werk uit te laten voeren door mensen met een arbeidsbeperking.
- Bewustwording van de klanten om te kiezen voor een hergebruikt product.

Er zijn ook risico's:

- Kiezen de klanten wel voor refurbished kranen? Hoe krijg je de klanten zo ver?
- Willen de bedrijven kranen hergebruiken, terwijl er nu nog geen markt voor is?
- Hoeveel kranen komen er vrij bij renovatie- en sloopprojecten en zijn dat er wel voldoende om het rendabel te krijgen?

In dit onderzoek is uitsluitend gekeken naar kranen die vrijkomen bij renovatie- en slooptrajecten. Wellicht is het zinvol om ook een keer onderzoek te doen naar de kranen die in de huishoudens vrijkomen bij vervanging.

5.3 Levenscyclus (keten) van isolatiematerialen en de milieueffecten¹⁰

In de vorige paragraaf is een ander type keten beschreven dan in deze. Daar ging het met name om de betrokken bedrijven, terwijl het in deze paragraaf draait om de grondstoffen en productieprocessen. Meer precies zijn van drie typen isolatiemateriaal de levenscyclus en de milieu-impact bepaald in de verschillende fases.

De milieu-impact van een product wordt bepaald met behulp van een levenscyclusanalyse (LCA). Bij het uitvoeren van een LCA wordt als eerste stap geïnterpreteerd welke activiteiten er in de hele keten van een product plaatsvinden. Per activiteit worden de grondstoffen, processen, tussenproducten en het energieverbruik bepaald. Vervolgens wordt met behulp van milieudata berekend wat de milieueffecten zijn van de activiteiten. De studenten hebben zelf geen LCA uitgevoerd, maar hebben gebruik gemaakt van de database van NIBE¹¹ waarin de milieu-impact van bouwmaterialen te vinden is. In de NIBE database worden 4 groepen milieueffecten onderscheiden (emissies, uitputting van grondstoffen, landgebruik en hinder), die weer onderverdeeld worden in totaal 17 milieueffectcategorieën (zie tabel 5.1). Bij een LCA wordt per milieueffectcategorie berekend hoe groot het effect is, waarbij de eenheid van het effect per categorie verschillend is. Om te komen tot één getal voor het totale milieueffect, worden alle berekende effecten omgezet naar de zogenaamde “milieukosten”. Hiermee kunnen verschillende producten met elkaar vergeleken worden. De milieukosten zijn gedefinieerd als de preventiekosten (schaduwkosten), dat zijn kosten van preventieve maatregelen waarmee een bepaalde milieubelasting kan worden voorkomen. De milieukosten zijn niet hetzelfde voor de verschillende milieueffectcategorieën. Tabel 5.1 geeft een overzicht van de milieueffect categorieën met de gebruikte eenheid en de milieukosten.

Bij de hierna gepresenteerde ketens zijn ook de transportafstanden opgenomen, zowel van de grondstoffen, de halffabricaten als de eindproducten. Transport heeft veel invloed op de milieu-impact.

¹⁰ Een groep studenten heeft een onderzoek uitgevoerd naar de milieu impact van kozijnen en isolatiematerialen (Alejandrino, et al., 2020). Voor 3 typen kozijnen en 3 typen isolatiemateriaal zijn de ketens (levenscyclus) bepaald en per fase in de levenscyclus is aangegeven wat de milieu impact is. Deze paragraaf is een weergave van dit studentenproject.

¹¹ www.nibe.org

Tabel 5.1 Overzicht milieueffectcategorie, bijbehorende eenheid en milieukosten bron (NIBE, sd)

Groep	Milieueffectcategorie	Eenheid	Milieukosten
Emissies	Klimaatsverandering - GWP	CO ₂ eq.	€0,05 / kg CO ₂ eq.
	Aantasting ozonlaag - ODP	CFK-11 eq.	€30,00 / kg CFC-11 eq.
	Humane Toxiciteit - http	1,4 DCB eq.	€00,09 / kg 1,4-DB eq.
	Zoetwater aquatische ecotoxiciteit - FAETP	1,4 DCB eq.	€0,03 / kg 1,4-DB eq.
	Terrestrische ecotoxiciteit - TETP	1,4 DCB eq.	€0,06 / kg 1,4-DB eq.
	Fotochemische oxydantvorming - POCP	C ₂ H ₂ eq.	€2,00 / kg C ₂ H ₂ eq.
	Verzuring - AP	SO ₂ eq.	€4,00 / kg SO ₂ eq.
	Vermesting - EP	PO ₄ eq.	€9,00 / kg PO ₄ eq.
Uitputting van grondstoffen	Uitputting abiotische grondstoffen - ADP	Sb eq.	€0,042202 / mdp
	Uitputting fossiele energiedragers	Sb eq.	€0,016 / kg Sb eq.
	Uitputting biotische grondstoffen - BDP	mbp.	€0,016 / kg Sb eq.
Landgebruik	Landgebruik	PDF*m2yr	€0,20482 / PDF*m2yr
Hinder	Hinder t.g.v. stank	OTVm3	€0,0000000233/ OTV m3
	Hinder t.g.v. geluid door wegtransport	DALY	€321,946 / DALY
	Hinder t.g.v. geluid door productieprocessen	mbp	€0,00000149 / mbp
	Hinder t.g.v. licht	mbp	€0,024005 / mbp
	Hinder t.g.v. kans op calamiteiten	mbp	€0,024005 / mbp

Er zijn drie verschillende typen isolatiemateriaal onderzocht: PIR (paragraaf 5.3.1), houtwol (paragraaf 5.3.2) en vlas (paragraaf 5.3.3). Houtwol en vlas zijn voorbeelden van biobased bouwmaterialen, de grondstoffen hiervoor zijn in principe hernieuwbaar. PIR wordt gemaakt uit aardolie. In paragraaf 5.3.4 worden de milieueffecten van de drie isolatiematerialen met elkaar vergeleken. Om de isolatiematerialen met elkaar te vergelijken zijn telkens de zelfde hoofdfasen van de keten besproken: productie, gebruik, hergebruik en einde levenscyclus. Verder is een functionele eenheid gedefinieerd: 1 m² met een Rc waarde van 4,5m²K/W voor de wandisolatie producten. Er wordt uitgegaan van een levensduur van 75 jaar, als het product bijvoorbeeld maar 40 jaar meegaat dan moet het één keer vervangen worden.

5.3.1 PIR isolatiemateriaal

Figuur 5.9 laat de levenscyclus van PIR-isolatiemateriaal zien. Op basis van deze figuur worden achtereenvolgens de productie, de gebruikersfase en het hergebruik en eindelevenscyclus beschreven.

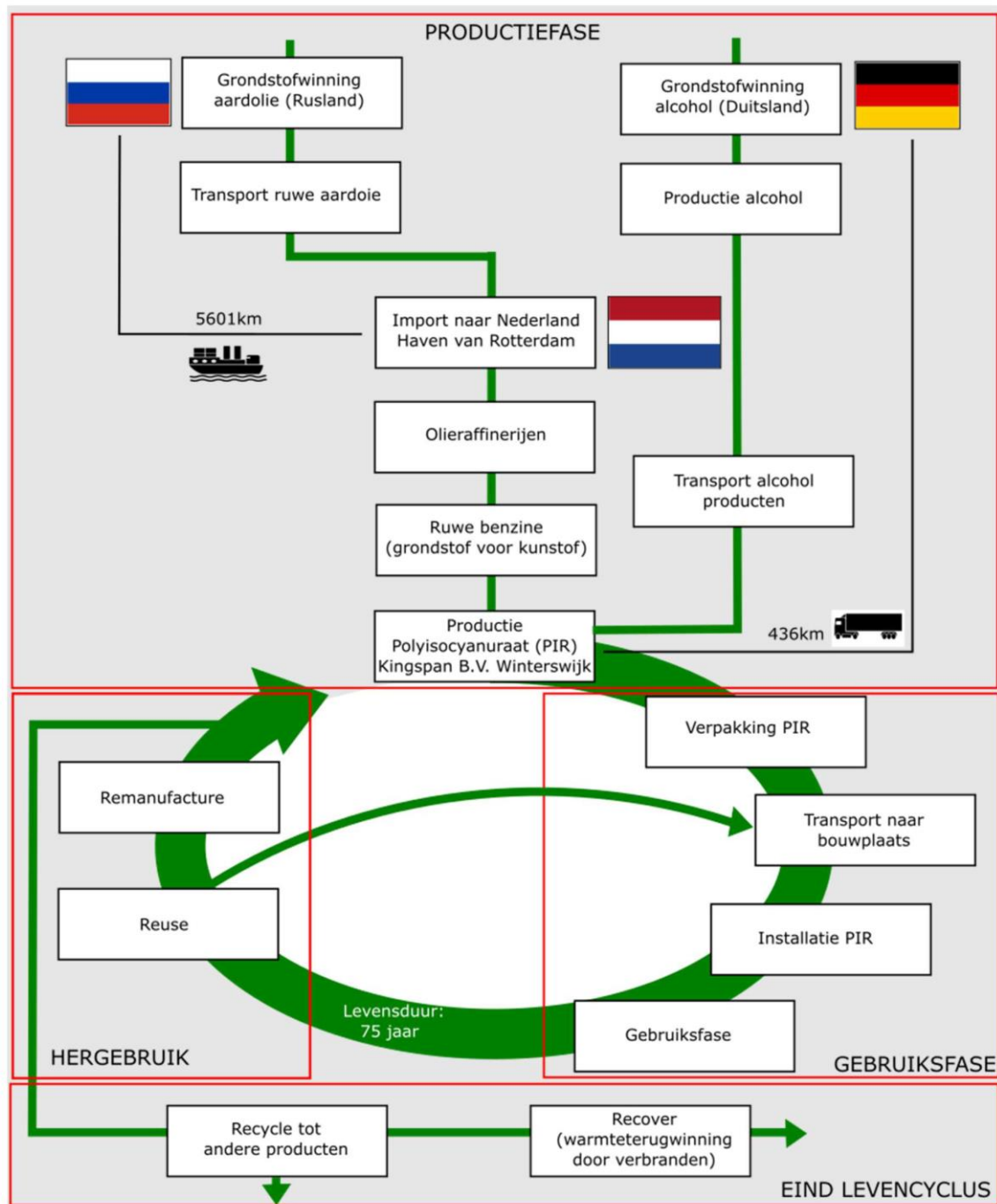
Productiefase

PIR staat voor polyisocyanuraat, het is een kunststof die speciaal gemaakt wordt voor isolatie. Bij de productie van PIR reageren de stoffen methyleendifenyldiisocynaat (MDI) en polyol met elkaar. Daarnaast zijn ook nog enkele katalysatoren nodig. MDI wordt geproduceerd uit ruwe olie door destillatie en andere stappen. Polyol is een alcohol, die onder andere wordt geproduceerd door BASF.

In figuur 5.9 staat de levenscyclus van PIR isolatiemateriaal. Bij het bepalen van de transportafstanden is er van uitgegaan dat de olie (waaruit MDI geproduceerd wordt) uit Rusland komt en de polyol afkomstig is van BASF in Duitsland. De productie van PIR vindt plaats in Nederland. Duidelijk is dat er veel het transport van de grondstoffen plaatsvindt. Dit heeft een grote milieu-impact.

Gebruikersfase

PIR-platen zijn stevige platen met een laag gewicht en ze zijn drukvaster dan PUR-platen en beloopbaar. Ze worden toegepast op de vloer, het platte dak, spouw of buitenmuurisolatie. PIR-isolatie heeft een levensduur van 75 jaar.



Figuur 5.9 Levenscyclus PIR isolatiemateriaal. Overgenomen uit (Alejandrino, et al., 2020)

Hergebruik en einde levenscyclus

Isolatieplaten kunnen, mits ze op de juiste wijze gedemonteerd worden, vrijkomen bij het slopen of renoveren van gebouwen. De PIR-platen slijten niet, deze kunnen dan ook in principe opnieuw gebruikt worden (R3).

Aan het eind van de levenscyclus kan het materiaal van de PIR platen opnieuw gebruikt worden (R4 recycling). Dat kan bijvoorbeeld als vulmiddel in scheidingswanden, als grondstof voor een isolatieplaat met een hogere dichtheid of vermalen als additief voor betonproducten (Alejandrino, et al., 2020).

Als het materiaal van de PIR-platen niet opnieuw gebruikt wordt, dan kan het verbrand worden met energierugwinning (R6). Waarbij wel opgemerkt moet worden dat de verbranding onder de juiste omstandigheden plaats moet vinden in verband met het vrijkomen van giftige stoffen.

5.3.2 Houtwol isolatiemateriaal

Figuur 5.10 laat de levenscyclus van houtwol isolatiemateriaal zien. Op basis van deze figuur worden achtereenvolgens de productie, de gebruikersfase en het hergebruik en eindelevenscyclus beschreven.

Productiefase

Er zijn twee typen houtwolplaten: stabiele en flexibele houtwolplaten. De stabiele platen worden toegepast voor vloeren, wanden en platte daken. De instabiele vinden hun toepassing in dakisolatievloerisolatie en muurisolatie. Bij het onderzoek is uitgegaan van een flexibele houtvezelplaat van Gutex (Alejandrino, et al., 2020).

In figuur 5.10 is de levenscyclus van een flexibele houtwolplaat gegeven. De grondstof voor de platen is het hout dat, in dit geval, afkomstig is van gekapte bomen (Noord Europese Sparren) in het Zwarte Woud. Dit hout is PEFC gecertificeerd, waarmee aangegeven is dat de bossen waaruit het hout afkomstig is, duurzaam beheerd worden. Het hout wordt in de fabriek versnipperd. Deze snippers worden verwarmd en ontvezeld, waarna ze met behulp van lucht worden gemengd met textielvezels (6%) om zo een flexibele plaat te vormen. De plaat wordt geïmpregneerd met ammoniumzouten in verband met de brandwerendheid. De verschillende grondstoffen (hout, textiel en ammoniumzouten) moeten allemaal naar de productielocatie getransporteerd worden.

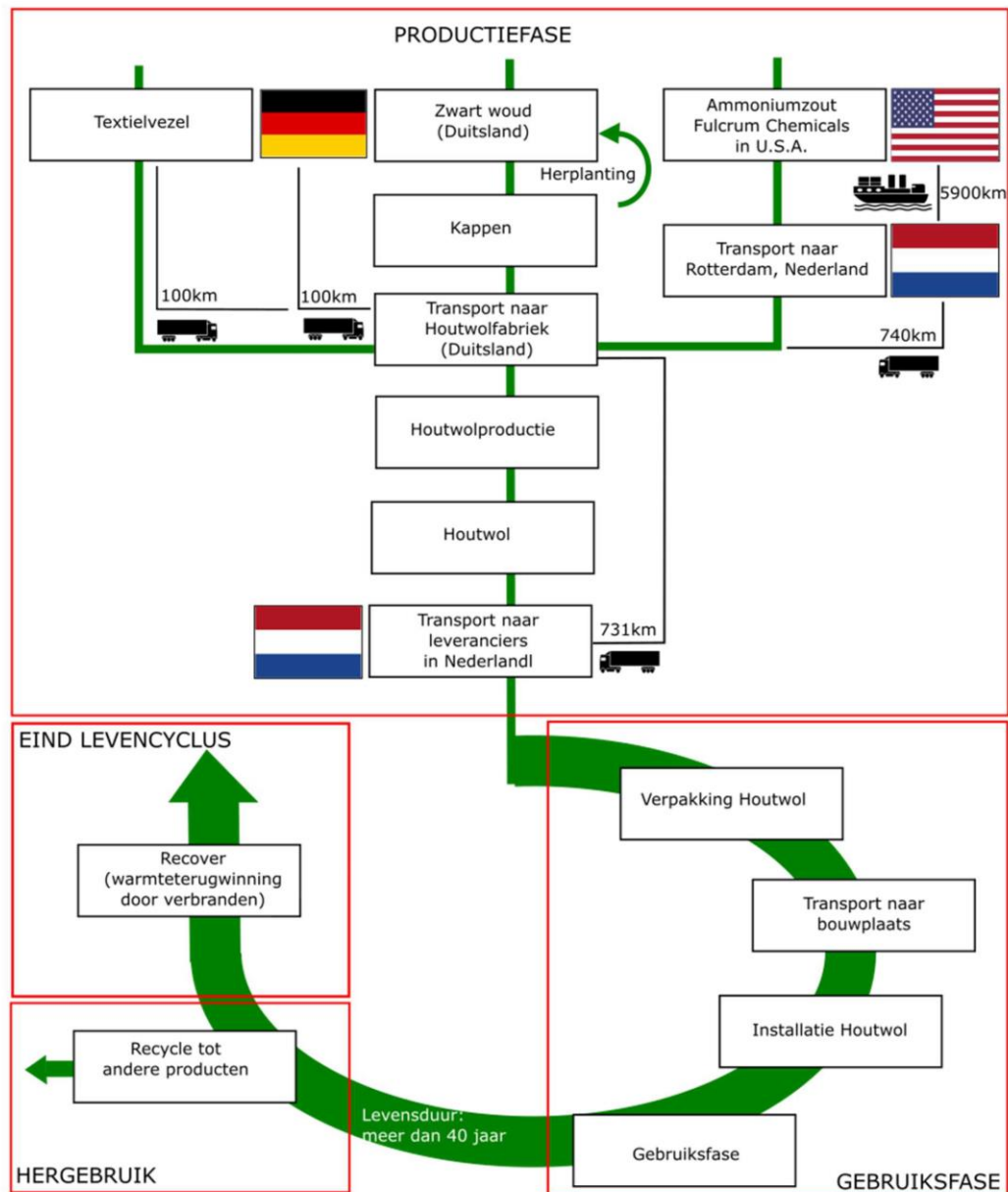
Gebruiksfase

Na productie worden de platen naar de bouwplaats getransporteerd. De platen zijn zwaarder dan de PIR-isolatieplaten. De platen worden op de bouwplaats op maat gesneden. De verwachte levensduur is 40 jaar.

Hergebruik en einde levenscyclus

In principe kunnen de houtwolplaten na demontage opnieuw gebruikt worden. Aandachtspunt daarbij is dat de maat van de platen kloppend moet zijn voor de nieuwe toepassing.

Aan het einde van de levenscyclus (na 40 jaar) kan houtwol niet meer als isolatiemateriaal hergebruikt worden. De houtwolplaten zullen verbrand worden met energierugwinning (R6). Er zijn ontwikkelingen waarbij het in de toekomst wellicht mogelijk is om de lignine in de platen te gebruiken als grondstof voor de productie andere bioproducten (Alejandrino, et al., 2020).



Figuur 5.10 Levenscyclus houtwolplaten. Overgenomen van (Alejandrino, et al., 2020).

5.3.3 Vlas isolatiemateriaal

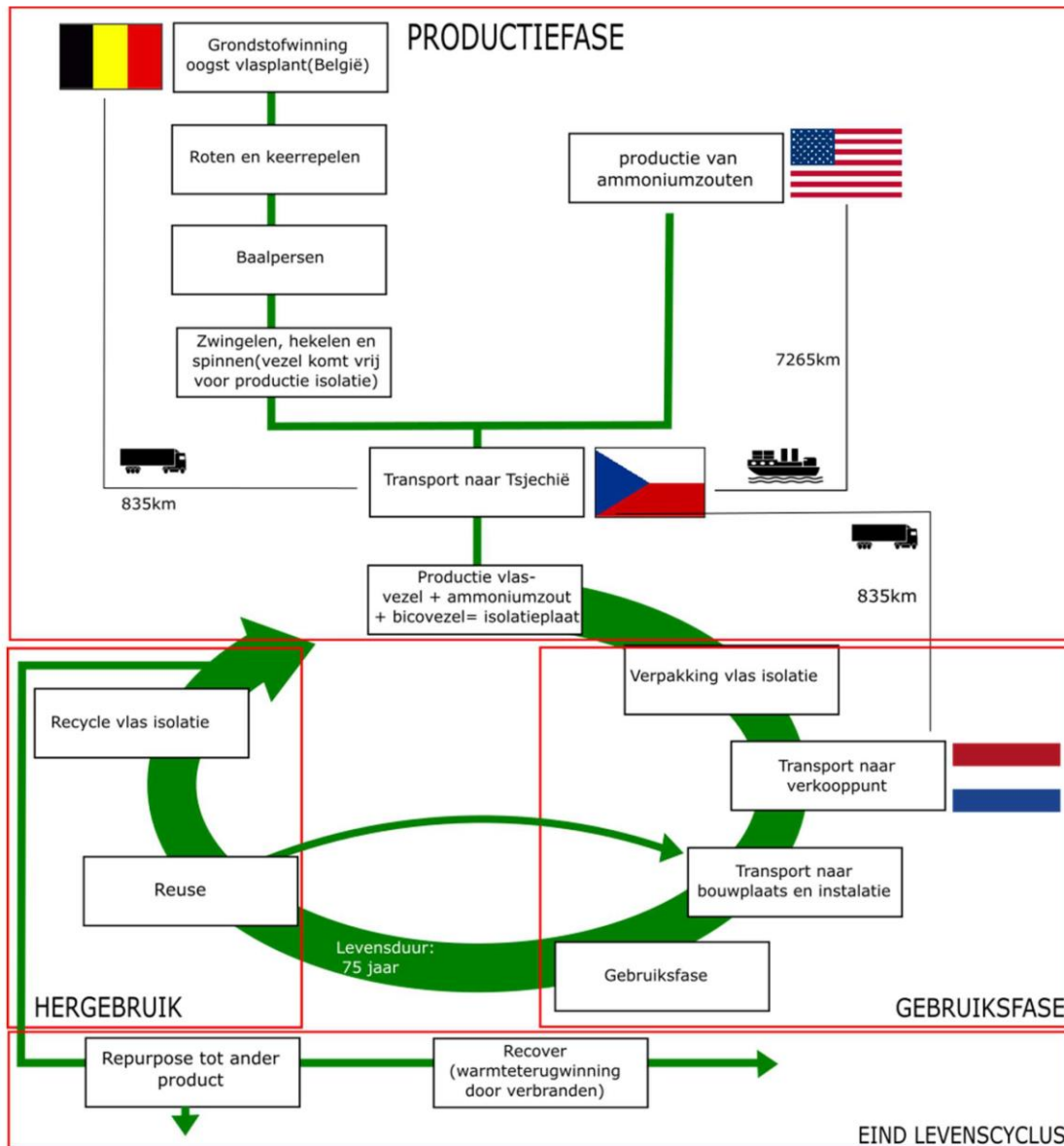
Figuur 5.11 laat de levenscyclus van vlas isolatiemateriaal zien. Op basis van deze figuur worden achtereenvolgens de productie, de gebruikersfase en het hergebruik en eindelevenscyclus beschreven.

Productie

Voor de beschrijving van het vlas isolatiemateriaal wordt uitgegaan van de vlasplaten van Isovlas. Vlas wordt verbouwd omdat het de grondstof is voor de productie van linnen. Bij de productie van linnen komen vlasvezels vrij, die gebruikt worden voor het maken van isolatiemateriaal. De vezels worden vanaf de “linnenfabriek” getransporteerd naar de fabriek van Isovlas.

Bij de productie van vlas isolatiemateriaal worden zeven typen vlasvezelkwaliteiten met elkaar gemengd (83%), waarna het door middel van een blaasproces vermengd wordt met bicovezel (10%)

een polyestervezel van gerecyclede autogordels) en geïmpregneerd met ammoniumzouten (7%) (Alejandrino, et al., 2020). Hiermee bestaan de grondstoffen voor ruim 90% uit afval van een andere productieproces en gerecyclede materialen. Dit is al een grotendeels circulair product.



Figuur 5.11 Levenscyclus vlas isolatiematerialen. (Overgenomen van (Alejandrino, et al., 2020))

Gebruikersfase

De isolatieplaten worden in twee verschillende dichtheden geproduceerd. De platen zijn flexibel en worden op de bouwplaats in de juiste maten gesneden. Volgens de leverancier is de levensduur van de platen minstens 75 jaar. Daarnaast is het onderhoudsvrij, damp-open en de vezel is zelf herstellend omdat het zijn eigen vochthuishouding regelt (Alejandrino, et al., 2020).

Hergebruik en einde levenscyclus

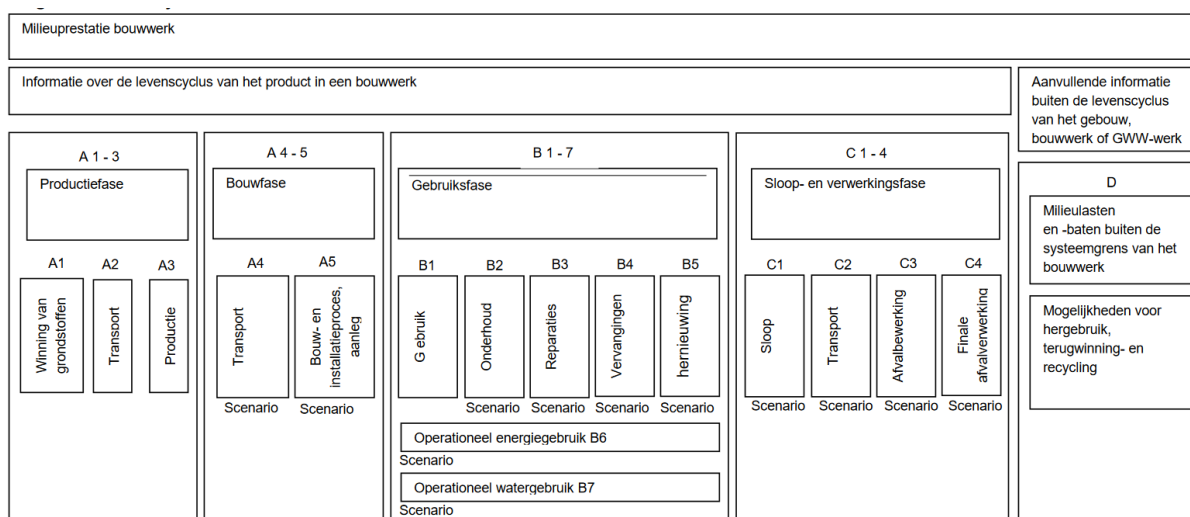
Het grootste deel (95%) van de vlas platen wordt op dit moment bij einde levensduur verbrand (Alejandrino, et al., 2020). Isohlas, de fabrikant van de vlas platen, is bezig met een inzamelsysteem van de platen: het isolatiemateriaal wordt na demontage verzameld en opnieuw gebruikt (R3).

Zoals al beschreven wordt het grootste deel verbrand met energierugwinning. Daarnaast kan er recycling plaatsvinden van de ingezameld platen. Het materiaal kan weer gebruikt worden voor de productie van nieuwe vlasplaten (R5 recycle).

5.3.4 Milieueffecten isolatiematerialen

Om inzicht te krijgen in de levenscyclus is gebruik gemaakt van de milieudatabase van NIBE¹². De milieueffecten zijn uitgedrukt in schaduwkosten (zie 5.3.1). De gegevens in deze database zijn afkomstig van een groot aantal levenscyclusanalyses (LCA's) die voor de betreffende producten uitgevoerd zijn. In de vorige paragraaf zijn transportafstanden gegeven van grondstoffen en producten. In de database van NIBE wordt uitgegaan van standaard afstanden.

Voor de berekening van de milieuprestatie wordt een aantal fasen in de levenscyclus van het betreffende bouw materiaal onderscheiden (figuur 5.12). Deze fasen komen ook weer terug in de berekende milieuprestatie.



Figuur 5.12 LevenscyclusfasenEPD (Environmental Product Declaration) Overgenomen uit (Stichting Bouwkwiteit, 2019)

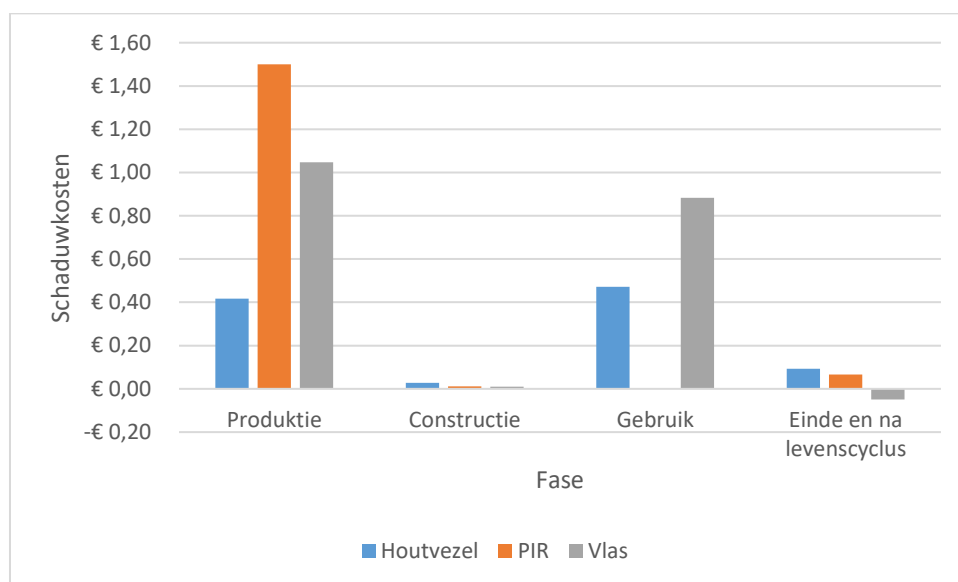
Voor schaduwkosten in tabel 5.2 zijn de gegevens van de volgende producten gebruikt (Alejandrino, et al., 2020):

- PUR/PIRschuim platen (pentaan geblazen)
- Houtvezel flexibele isolatie (55 kg/m³)
- Vlasplaten inclusief dampremmende PE-folie

¹² www.nibe.info

Tabel 5.2 Schaduwkosten isolatiematerialen, uitgesplitst naar fase . Cijfers afkomstig van (NIBE, 2019).

		Schaduwkosten	€ 1,01	€ 1,58	€ 1,89
			Houtvezel	PIR	Vlas
fase	code	omschrijving			
Productie	A1-3		41,3%	94,9%	55,4%
Constructie					
	A4	transport	2,3%	0,5%	0,6%
	A5	constructie/installatie	0,5%	0,2%	-0,1%
Gebruik					
	B1	gebruik			
	B2	onderhoud			
	B3	vervanging			
	B4	reparatie	46,7%		46,7%
	B6	energie verbruik			
	B7	water verbruik			
Einde levenscyclus					
	C2	transport	2,2%	0,4%	0,6%
	C1	demonteren/slopen	7,1%	3,9%	-3,2%
	C3	afvalverwerking			
	C4	stort			
Na de levenscyclus					
	D	re-use, recovery, recycling potential			



Figuur 5.13 Schaduwkosten isolatiematerialen per fase.

De schaduwkosten van einde levenscyclus zijn de kosten van wieg tot graf of bij recycling en bij re-use van graf weer tot de wieg. Deze schaduwkosten zijn niet per mogelijkheid uitgewerkt, wel is het transport apart berekend.

De milieu-impact van transport hangt af van het gewicht van het bouw materiaal. Transport van houtvezel isolatieplaten heeft dan ook een grotere impact dan die van vlas of PIR.

Opvallend aan de getallen in tabel 5.2 is dat de schaduwkosten van vlas het hoogste zijn, terwijl dit een biobased materiaal is en dat de grondstof een afvalproduct is van de linnenproductie. Dat de schaduwkosten van PIR hoger liggen dan die van houtvezel is wel te verwachten. Hout is immers ook een biobased materiaal.

Voor reparatie zijn er veel schaduwkosten opgenomen bij houtwol en vlas. Het is niet duidelijk waar dat vandaan komt. De levensduur van vlas en houtwol is gesteld op 40 jaar en die van PIR op 75 jaar. De beschouwde periode is 75 jaar. In de database staat dat de producten niet vervangen worden. Volgens de berekeningswijze (Stichting Bouwkwiteit, 2019) wordt vervanging van het product wel meegenomen bij de berekening van de milieuprestatie van een gebouw als het betreffende bouw materiaal in het gebouw toegepast wordt. Dat valt niet onder “vervangingen” in de gebruiksfase (dat gaat om onderdelen), maar dat wordt in de hele berekening meegenomen door vermenigvuldiging van de productkaart (de uitkomst van de milieuprestatie per bouw materiaal). Het blijft onduidelijk, maar de indruk bestaat dat voor de kosten voor reparatie mogelijk toch de vervanging van de platen genomen is. Volgens de producent van de vlasplaten is de levensduur van de platen wel 75 jaar (Alejandrino, et al., 2020), dit zal grote invloed hebben op de berekening van de schaduwkosten.

De grootste milieu-impact zit in de productiefase (met uitzondering van de houtvezels). Met name tijdens de productie van PIR treden veel milieu-effecten op. Als gekeken wordt welke milieueffecten het grootst zijn, dan zijn dat voor PIR en vlas broeikasgassen (kg CO₂ eq), humane toxiciteit en verzuring (kg SO₂ eq). Voor houtvezel zijn dat broeikasgassen (kg CO₂ eq) en verzuring (kg SO₂ eq).

Wat zeggen deze cijfers over impact op hergebruik van de materialen:

- Voor een duidelijke uitspraak over de impact van bijvoorbeeld hergebruik zijn deze cijfers niet geschikt. Wil je weten of re-use minder milieu impact heeft dan een nieuw product gebruiken, dan zou je een LCA uit moeten voeren, waarbij dan waarschijnlijk de transportafstand bepalend is voor het milieu effect van re-use. Wil je kijken naar het effect van de recycling, dan zou bijvoorbeeld de hoeveelheid benodigde energie voor het recyclingsproces bepalend kunnen zijn.
- Gezien de milieu-impact van de productie van PIR is het sterk aan te raden om dit materiaal opnieuw te gebruiken, eventueel na reparatie. Dit geldt ook voor vlas en hout.
- De grote milieu-impact voor hout en vlas in de gebruiksfase (door de impact bij “reparatie”) worden mogelijk veroorzaakt door het opnieuw vervangen van het hele product. Om dit te voorkomen zal de levensduur van het product verhoogd moeten worden (of de juiste levensduur moet meegenomen worden in de milieu prestatie berekening).

5.4 Afsluiting en opdrachten

Het onderzoek naar de keten van het hergebruik van plafondplaten is een eerste verkenning geweest. Het is nu duidelijk dat het in principe kan en dat het financieel rendabel lijkt te zijn. Het zou interessant zijn als in deze nieuwe keten gekeken zou worden naar andere businessmodellen. Bijvoorbeeld dat de plafondplaten geleased worden, dan blijft de verkoper eigenaar. Het is dan eenvoudiger te organiseren dat de platen aan het eind lease periode weer op de juiste wijze gedemonteerd worden. Een ander punt van aandacht is de totale levensduur van de plafondplaten, hoe vaak kunnen ze opgeknapt worden?

In paragraaf 5.3 zijn de ketens van isolatiematerialen beschreven. De ketens starten met het winnen van de grondstoffen en gaan tot en met verwerking/bewerking na afloop van de levensduur van de

producten. Door inzicht in de levenscyclus kan je nagaan waar mogelijkheden zijn voor hergebruik. Dit kan gaan om het hergebruik van het hele product (R3), of het hergebruik na opknappen (R4) of het recyclen van het product (R5). Door het koppelen van milieueffecten aan de verschillende fases in de keten, wordt duidelijk welke fase de grootste impact heeft. Bij circulaire economie gaat het om het opnieuw inzetten van producten, waarbij ook rekening gehouden wordt met milieukwaliteit (zie de definitie in H2). Om af te wegen wat de beste circulaire strategie is, is het niet alleen belangrijk dat de R-strategie zo laag mogelijk is, maar moet ook kritisch gekeken worden naar de milieu impact van de keuze. Als er bijvoorbeeld veel transport of ander energiegebruik nodig is voor de betreffende R-strategie, dan ligt een andere keuze wellicht meer voor de hand.

Opdrachten

Opdracht 1

In hoofdstuk 2 is de brede definitie van circulaire economie beschreven.

- a. Wat levert de kleinere gesloten kringloop voor de plafondplaten (paragraaf 5.1) meer op dan minder grondstoffen, impact op het milieu (inclusief CO₂ uitstoot)?
- b. Wat is de waardecreatie per stap bij de circulaire keten?

Opdracht 2

Hoe neem je de milieueffecten mee in de keuze van de R-strategieën? Op welke ruimtelijke schaal ga je hergebruiken, waar hangt dat van af?

Opdracht 3

In het kader van CO₂ prestatieladders zijn veel ketenanalyses uitgevoerd waarbij de nadruk ligt op CO₂ emissie. Dat is één van de milieu effecten. De ketenanalyses zijn te vinden op <https://www.skao.nl/ketenanalyses>.

- a. Bekijk de ketenanalyse van het Hergebruik van houten palen van het bedrijf Tebezo (https://api.skao.nl/uploads/media/skao_publication_document/0001/12/c784fd84ab1415476e44d6b9390b53f7b8582be3.pdf). Welke stappen worden in de keten onderscheiden? Waar is de grootste CO₂ impact? Vergelijk dit met de milieu impact zoals die in tabel 9 gegeven is voor houtvezel isolatiematerialen. Wat is het verschil? Welke milieu effecten worden niet meegenomen bij het bepalen van de CO₂ emissie?
- b. Kan je de ketenanalyses voor de CO₂ emissie gebruiken om de best mogelijke R-strategie te bepalen? Leg uit.

Opdracht 4

In het voorbeeld van de kranen (paragraaf 5.2) wordt een bewerking van de kranen voorgesteld voordat ze weer hergebruikt worden.

- a. Zoek op aan welke normen kranen moeten voldoen
- b. Denk je dat de bewerkte kranen hier aan voldoen? Kunnen ze zo toegepast worden?

Bibliografie

- (sd). Opgeroepen op augustus 27, 2020, van Werkspoorkwartier: Creatief Circulair Maakgebied: <https://efro-wsk.nl/>
- Alejandrino, E., Grim, L., Hanemaaijer, O., Demirci, K., Leusen, M. v., Pekelharing, P., & Uslu, S. (2020). *Milieu-inpact van isolatiematerialen en kozijnen*.
- Antea Group / Metabolic. (sd). *White paper Circulair aanbesteden*. Opgeroepen op maart 11, 2018, van Circulaire economie: <https://www.anteagroup.nl/nl/themas/circulaire-economie>
- Beers, J. (2019). *Bending the linearity; Assessing the sustainability implications of circular strategies*.
- Benthem, K. (2020). *Opdracht kunststof en isolatie*.
- Bertelkamp, C., Hofman-Caris, R., Roelandse, A., Aa van der, R., & Hoek van der, J. P. (2017). Regenwater als bron voor drinkwater in Nederland: een haalbare kaart? *H2O-online*.
- Beverloo, A., Blauw, T., Bruinessen, L. v., Hoobroeckx, J., & Huijbens, K. (2019). *Refurbished keten voor plafondplaten*. Hogeschool Utrecht.
- Bola, H., Lek, K. v., Arnold, L., Oudshoorn, N., & Mikael, S. (2018). *Werkspoorkwartier: circulair 'living lab' van Utrecht*. Hogeschool Utrecht.
- Bos, J., Huisman, D., Kruistum, C. v., Nissan, M., & Slootweg, S. (2018). *Werkspoorkwartier Circulair Maakgebied van Utrecht. Een onderzoek naar de circulaire potentie van het Werkspoorkwartier*. Utrecht: Hogeschool Utrecht.
- Bouwen met staal. (sd). *Duurzaamheid & Staal*. Opgeroepen op mei 28, 2019, van Bouwen met staal: https://www.bouwenmetstaal.nl/uploads/editor/BmS_Duurzaamheid_en_Staal_A4_lowres.pdf
- Bruin, R. d., Goede, J. d., Jaarsveld, J. v., & Zwetsloot, N. (2020). *Een stap in de goede richting. Een onderzoek naar de manier om kranen zo hoogwaardig mogelijk te kunnen hergebruiken*. Hogeschool Utrecht.
- BTG. (2014). *Cascading in the wood sector*. Enschede: BTG Biomass Technology Group.
- CBS. (2020, mei 11). *Meeste afval en hergebruik materialen in bouwsector*. Opgehaald van <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/45/meeste-afval-en-hergebruik-materialen-in-bouwsector>
- CementBetonCentrum. (2020, mei 11). *Marktinformatie beton*. Opgehaald van <http://www.cementenbeton.nl/marktinformatie/betonmarkt>
- Circle Economy. (2017). *Kabels en leidingen in de circulaire economie*. Opgehaald van Circulair ondernemen: <https://www.circulairondernemen.nl/uploads/c736e177b67df5505f2e941cb7c2a1d0.pdf>
- Circle Economy. (2019, november 21). *7 key elements of the circular economy*. Opgehaald van Circle Economy: <https://www.circle-economy.com/the-7-key-elements-of-the-circular-economy>

- Circle Economy; TNO; Fabric. (2015). *Amsterdam Circulair een visie en routekaart voor de stad en regio*.
- Duijvestein, C. (1997). *Inleiding Ecologisch Bouwen*. Amsterdam: WEKA Uitgeverij.
- Duurzaam in staal. (sd). *Hergebruik*. Opgeroepen op oktober 14, 2019, van Duurzaam in staal: <https://www.duurzaaminstaal.nl/p/389/hergebruik.html>
- ECN. (2016). *Ontwikkeling energiekegetallen utiliteitsgebouwen*.
- EFRO-WSK.nl. (2021). <https://www.efro-wsk.nl>.
- Elkington, J. (1998). *Cannibals with forks - The triple bottom line of 21st century business*. Gabriola Island: New Society Publishers.
- Geissdoerfer, M. S. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143; 757-768.
- Grim, L., Zaaijer, R., Venteloo, D., Want van der, R., Bommeljé, D., & Pasch van der, S. (2019). *Werkspoorkwartier Circulair Maakgebied te Utrecht*. Hogeschool Utrecht.
- Grohe. (2020, juni 3). Opgehaald van Grohe: <https://pro.grohe.com/nl/21894/grohepro/>
- Het Groene Brein. (sd). *Wat is de definitie van Circulaire economie?* Opgeroepen op februari 18, 2020, van Kenniskaarten Het Groene Brein: <https://kenniskaarten.hetgroenebrein.nl/kenniskaart-circulaire-economie/is-definitie-circulaire-economie/>
- HKS Metals. (sd). *Recyclingproces*. Opgeroepen op mei 28, 2019, van <https://www.hksmetals.eu/nl/over-ons/recyclingproces>
- Hoeven, B. v., Arnold, L., & Huisman, D. (2019). *De betonkringloop. Circulariteit van beton in de gemeente Amersfoort*.
- Huurdeman, S. (2017). *Second life for raw materials*. ALUECO SKG-IKOB.
- Icibaci, L. (2019). *Re-use of Building Products The development of a metabolism based assessment approach*.
- ING Economisch Bureau. (2017). *Circulair bouwen Kansen voor vooral slopers en groothandels*.
- Jonker, J. K. (2018). *Circulair Organiseren - Werkboek voor het ontwikkelen van een circulair businessmodel*.
- Kirchherr, J. R. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, 127, 221-232. Opgehaald van <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- KIWA. (sd). *Deze brl is van belang voor o.a. sanitaire kranen mechanisch instelbare kranen brl-kl607*. Opgeroepen op juni 3, 2020, van <https://www.kiwa.com/nl/nl/service/deze-brl-is-van-belang-voor-o-a-sanitaire-kranen-mechanisch-instelbare-mengkranen/brl-k607---beoordelingsrichtlijn2.pdf>
- Metabolic CleantechDelta. (2019). *Dordrecht circulair*. Opgeroepen op september 10, 2019, van <https://www.metabolic.nl/publications/>

- Metabolic. (2019, augustus). *The Seven Pillars of the Circular Economy*. Opgeroepen op februari 18, 2020, van Metabolic: <https://www.metabolic.nl/news/the-seven-pillars-of-the-circular-economy/>
- Metabolic; CleanTechDelta. (2019). *Dordrecht Circulair*.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2021). *LAP 3 Sectorplan 36 Hout*. Opgeroepen op mei 9, 2019, van <https://lap3.nl/sectorplannen/sectorplannen/hout/>
- Nederland Circulair in 2050. (2016). *Rijksbreed programma Circulair Economie*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur & Milieu en Ministerie van Economische Zaken.
- NIBE. (2019, augustus 30). *Milieuclassificaties*. Opgeroepen op juni 9, 2020, van <https://www.nibe.info/nl/members#group-85-106>
- NIBE. (sd). *Omschrijving methode Milieuclassificaties bouwproducten*. Opgeroepen op juni 3, 2020, van Website van NIBE: <https://www.nibe.info/nl/methode>
- Overheid.nl. (sd). *Bouwbesluit 2012*. Opgeroepen op oktober 14, 2019, van Overheid.nl Wettenbank: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0030461/2020-07-01>
- PIANOo, Expertisecentrum Aanbesteden in samenwerking met Rijkswaterstaat. (2019). *Handreiking Losmaakbaarheid*.
- Planbureau voor de leefomgeving. (2018). *Achtergrondrapport bij Circulaire economie in kaart*.
- Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2016). *Circulaire economie: innovatie meten in de keten*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Rli. (2015). *Circulaire economie Van wens naar uitvoering*. Den Haag: Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur.
- Soetens, F. (2015). *Aluminium en constructies*. Eindhoven: TU Eindhoven. Opgehaald van <https://pure.tue.nl/ws/files/3904383/Soetens2015.pdf>
- Sparviero, S. (2019). The Case for a Socially Oriented Business Model Canvas: The Social Enterprise Model Canvas. *Journal of Social Entrepreneurship*, 10(2), 232-251.
- Splunter, M. v. (2016A). *Circulair bouwen slopen: Ketenverkenning van de bouw- en sloopsector Cirkelregio Utrecht*. Utrecht: Utrecht Sustainability Institute.
- Splunter, M. v. (2016B). *Circulair bouwen slopen - Ketenverkenning van de bouw- en sloopsector*. Utrecht: Utrecht Sustainability Institute.
- Splunter, M. v. (2016B). *Circulaire keten hout: Studie naar de houtafvalketen in de regio Utrecht*. Utrecht: Utrecht Sustainability Institute.
- Stichting Bouwkwiteit. (2019). *Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW werken*.
- STOWA. (2014). *Evaluatie Nieuwe Sanitatie Noorderhoek Sneek*. STOWA.
- Strategyzer AG. (2021). <https://www.strategyzer.com>.
- Stuurgroep PVC & Ketenbeheer. (2020, mei 26). *Productie*. Opgehaald van <https://www.pvcinfo.nl/pvc/productie/>

- Tauw. (2017). *Onderzoek naar demontage, inzameling en recycling van raamkozijnen op slooplocaties*.
- TNO. (2016). *Circulaire potentie voor Utrecht*.
- TNO Innovatiecentrum Bouw. (2018). *Circulair hout is goud waard*. TNO. Opgehaald van <https://www.renovatiebeurs.nl/files/renovatiebeurs/img/content/pdf/Presentaties%202018/TNO%20Renovatiebeurs%20-%20circulair%20hout%2001.pdf>
- Urecht Sustainability Institute. (sd). *Circular economy Lab 19: De Metaalketen sluiten*. Opgeroepen op mei 28, 2019, van <https://www.usi.nl/nl/actueel/agenda/circular-economy-lab-19-de-metaalketen-sluiten>
- Van der Vegt, M., Velzing, E.-J., & Rietbergen, M. (2020). *Case study methodology: Researching good practices of circular economy business models*. TRANSFORM-CE.
- Velzing, E.-J., & Planko, J. (2020). Lessons from a transition to circular use of wood in Utrecht - An in-depth study of two circular business models. *New Business Models 2020: Sustainable, Circular, Inclusive*. Nijmegen.
- Velzing, E.-J., & Stroe-Biezen, S. v. (2017). *Samen staan we sterk - Duurzaam innoveren in de industrie*. Leidschendam: Quist.
- Venselaar, M. (2019, februari 21). *12 overeenkomsten, 9 verschillen en 8 type relaties tussen duurzaamheid en circulaire economie*. Opgeroepen op maart 10, 2020, van Over hoe mensen gebouwen maken: <https://mariekevenselaar.nl/2019/02/21/12-overeenkomsten-9-verschillen-en-8-type-relaties-tussen-duurzaamheid-en-circulaire-economie/>
- Vermeulen, E., & Vissering, C. (2018). Kan beton nog circulaider? *Betoniek*, 18-23.
- VGMR. (2019, juni 4). *De aluminium recycleketen*. Opgehaald van <https://www.vmr.nl/themas/green-inspirations/alueco-onderzoeken/de-aluminium-recycleketen/>
- VKG. (2019, oktober 25). *Draag bij aan recycling van kunststof kozijnen*. Opgehaald van Vereniging Kunststof Gevelelementenindustrie: <https://vkgkeurmerk.nl/zakelijk/vkg-recycle/>
- Week van de Circulaire Economie: Circulariteit van kabels in een stroomversnelling*. (sd). Opgeroepen op november 13, 2019, van TKF: <https://www.tkf.nl/nl/news/nieuws/week-van-de-circulaire-economie-circulariteit-van-kabels-in-een-stroomversnelling>
- Witteveen + Bos; Metabolic. (2018). *Vallei en Veluwe circulair; Energie- en grondstofstromenanalyse, kansen en ontwikkelpaden en monitoring*. Opgehaald van <https://www.metabolic.nl/publications/vallei-en-veluwe-circulair/>
- World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future*.

BIJLAGE 1 Beschrijving 6 R-strategieën

De beschrijving van de 6 R-strategieën is overgenomen van (Planbureau voor de leefomgeving, 2018):

R1: Refuse en rethink

Deze strategie omvat het afzien van producten (*refuse*) of het intensiever gebruiken van producten door ze te delen of multifunctioneel te maken (*rethink*). Zo is een *tiny house* of een kleine verplaatsbare woning een volledig uitgeruste woning van beperkte omvang (variërend van 20 tot 50 vierkante meter) voor permanente bewoning. Door af te zien van een grotere omvang worden veel materialen bespaard. Deelplatformen voor bijvoorbeeld auto's of gereedschap (denk aan Snappcar en Peerby) zorgen ervoor dat producten intensiever worden gebruikt. Voor tien mensen is dan bijvoorbeeld één gedeelde boormachine genoeg (in plaats van tien individueel gekochte boormachines).

R2: Reduce

Bij *reduce* gaat het om het efficiënter fabriceren van producten of deze efficiënter maken in het gebruik. Een 'circulaire douche' (zoals van Xenz en Hamwells) vangt het gebruikte water op, ververscht dit en gebruikt het direct weer, waardoor veel water wordt bespaard in vergelijking met een traditionele douche. Het aanbieden van licht als dienst door Philips kan zorgen voor een efficiëntere productie en doelmatiger gebruik van lampen. De aanbieder heeft namelijk een prikkel om met zo min mogelijk lampen de gevraagde hoeveelheid licht te bieden en de klant heeft een prikkel om zuinig om te gaan met licht als deze per geleverde hoeveelheid licht betaalt. Een belangrijke kanttekening is dat alle bedrijven in essentie streven naar een efficiënte inzet van arbeid en grondstoffen. Dit kunnen bedrijven bijvoorbeeld doen door incrementele verbeteringen in hun productieproces door te voeren. Voor de overgang naar een circulaire economie is het relevant om te bepalen of een bedrijf dankzij efficiëntere productie uiteindelijk minder grondstoffen gebruikt of met dezelfde hoeveelheid grondstoffen meer producten maakt. Dit is in de praktijk echter lastig vast te stellen zonder een diepgaande casestudie.

R3: Reuse

Producten kunnen een langere levensduur krijgen door hergebruik (*reuse*). Door de verkoop van tweedehandsproducten in kringloopwinkels of op online marktplaatsen kan de vraag naar nieuwe producten afnemen. Daarnaast kan het verhuren van kinderkleding (zoals Hulaaloo) of een kinderbedje (zoals Bettje) ervoor zorgen dat de producten terugkomen bij de aanbieder, die ze vervolgens kan inzetten bij een volgende klant.

R4: Repair en remanufacture

Ook bij deze strategie gaat het om verlenging van de levensduur van producten, maar dan door reparatie (*repair*) en het hergebruik van productonderdelen (*remanufacture*). Een reparatiecafé biedt mensen gereedschap en kennis om zelf meegebrachte producten te repareren, waardoor de koop van nieuwe producten kan worden uitgesteld. Ook kan het gaan om diensten voor bijvoorbeeld het gebruik van kantoormeubilair (zoals bij Decorum) of fietsen (zoals bij Swapfiets) waarin onderhoud is inbegrepen. Daarnaast kan door revisie (*remanufacture*) een afgedankt product weer worden aangepast aan de huidige standaarden door onderdelen te vervangen, zoals Philips doet door revisie van medische systemen en Ricoh door revisie van printers.

R5: Recycle

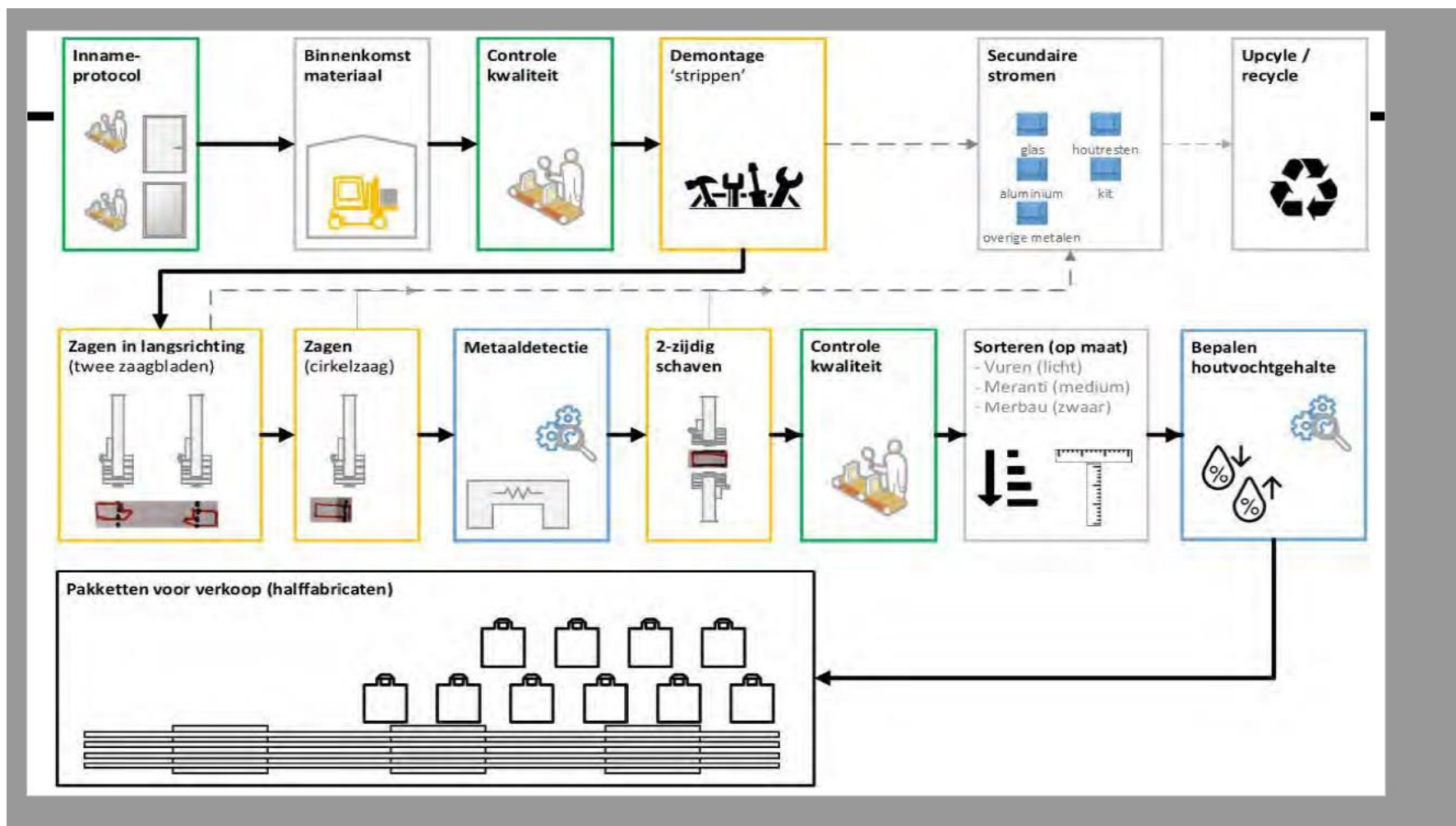
Bij deze strategie gaat het om het verwerken en hergebruiken van grondstoffen (*recycle*). Hieronder valt het verwerken en scheiden van zogenoemde reststromen (of afval) en het gebruiken ervan; reststromen zijn bijvoorbeeld gras, afvalhout, gft, veilingafval en koffiedik. Denk aan het terugwinnen van kritieke materialen uit afgedankte mobieltjes, het maken van vangrails op basis van reststromen uit de agrarische sector en het maken van producten van gerecycled plastic, zoals een 100 procent gerecyclede fles van Bar-le-Duc en een design sofa gemaakt met 95 procent gerecycled plastic door Gispén.

R6: Recover

De strategie van *recover* ten slotte, behelst het terugwinnen van energie uit materialen. Zo zetten afvalverbrandingsinstallaties reststromen om in warmte en elektriciteit.

BIJLAGE 2 Project Circulair Hout is Goud Waard

In onderstaand figuur staan de stappen van het proces om te komen van ingezamelde houten deuren tot halffabricaten die weer gebruikt kunnen worden om andere producten te maken. De figuur is overgenomen uit (TNO Innovatiecentrum Bouw, 2018)



BIJLAGE 3 Beschrijving schrootrecycling

Het volgende stuk is overgenomen uit (Huurdeman, 2017)

“Over het algemeen bestaat schrootrecycling, ongeacht het type metaal, uit het verzamelen, sorteren, shredderen en/of op maat maken, scheiden en omsmelten van het metaalschroot bij de omsmelter. Deze werkwijze kan als volgt worden samengevat:

- het schroot wordt afzonderlijk of gemengd ingezameld en vervolgens gesorteerd in de schroothoop, waarna het wordt verkocht aan een schrootverwerkingsbedrijf of rechtstreeks aan een omsmelter;
- aangekomen bij het schrootverwerkingsbedrijf worden de verschillende type metalen verder gescheiden en voorbereid voor het shredderen; en/of op maat maken. Shredderen is meestal nodig voor het verder kunnen scheiden van de verschillende metalen. Eerst, tijdens het shredderen en knippen, wordt met behulp van magnetisme het ferro metaal eruit gehaald. Vervolgens worden met andere scheidingstechnieken (bijvoorbeeld op basis van dichtheid) de non-ferro metalen eruit gehaald;
- als het schroot is geshredderd moet het worden gedroogd of verder worden ontdaan van mogelijke vervuilingen als olie, vet, smeermiddelen, rubbers en plastics. Dit kan plaatsvinden bij het schrootverwerkingsbedrijf met behulp van thermische behandeling, maar uit energie efficiëntie is het beter dit bij de omsmelter zelf te doen;
- vanaf nu kan het schroot worden omgesmolten in de smeltovens. “

BIJLAGE 4 Overzicht hergebruikmogelijkheden volgens Icibaci, L. (2019).

De tabellen in deze bijlage zijn overgenomen uit Icibaci, L. (2019). *Re-use of Building Products The development of a metabolism based assessment approach*

Tabel 3 Huidig hergebruik van hout afkomstig van gebouwen in Nederland . Overgenomen uit Icibaci, L. (2019).

Material type group	Product	Availability in the market or reused building products in the Netherlands	Stimulating factors	Lifetime	Possible blocking factors
Products derived from housing deconstruction/ renovation (not new)					
Wood	Joists	Common	Cascading reuse possible	75 years [2]	Assessing technical condition of wood. For reuse as structure, degradation of wood must be taken into consideration (age, nails, hazardous substances, moisture, etc).
	Beams	Common	Cascading reuse possible	75 years [2]	idem
	Studwork	Not Common	Cascading reuse possible	75 years [2]	Comparative low cost of new products and vulnerable to damaging during deconstruction
	Scaffolding wood	Common	Cascading reuse possible	-	Assessing technical condition of wood.
	Facade cladding	Not Common	Cascading reuse possible	15-60 years [2]	Wood cladding applied in housing construction is concentrated in more typically found in few areas in the country or in rural construction.
	Structural laminated wood	Not Common	Cascading reuse possible	75 years [2]	-
	Timber (frame)	Common	Cascading reuse possible	60 years [2]	Assessing technical condition of wood.
	Various wooden floor types (floorboards, strip floor, parquet)	Common	Cascading reuse possible	40-50 years [1]	Parquet removal is labor intense. Only valuable ones will be recovered.
	Landscape elements (fences)	Not common	-	75 years [1]	-
	Doors	Common	Cascading reuse possible	15-40 years [1, 2]	Incompatible with updates building codes.
	Window	Not common	Cascading reuse possible	35-60 years [1, 2]	Building codes quickly updated regarding building insulation.
	Staircase (internal)	Common	Cascading reuse possible	50 years [2]	Difficulties in matching dimensions from original staircase and new building. Incompatible with updates building codes.
	Wood shingles	Not common	-	15-30 years [2]	-
	Foundations	Not common	Cascading reuse possible	75-100+ years [2]	Not commonly applied as its original functions.

>>>

Material type group	Product	Availability in the market or reused building products in the Netherlands	Stimulating factors	Lifetime	Possible blocking factors
Products derived from housing deconstruction/ renovation (not new)					
Wood based materials	Plywood	Common	Cascading reuse possible	15-40 years [1]	-
	MDF (application not specified)	Not common	-	20-35 [2,3]	Comparative low cost of new products.
	Composite doors	Common	Need more experiments with cascade reuse	25-30 [2]	-
	Chip Board (application not specified)	Not common	-	30 years [3]	-
	Laminated floor	Not common	Cascading reuse possible	20 years [1]	Vulnerable to damaging during deconstruction.
Other wood products	Forms for concrete in situ (plywood, coarse wood)	Common	Cascading reuse possible	-	Risk of contamination by use of reactive concrete release agents.

[1] Huffmeijer and Damen, 1995.

[2] Vissering et al., 2011.

[3] BCIS, 2006.

[4] <http://www.nachi.org>

Tabel 4 Huidig hergebruik van metalen afkomstig van gebouwen in Nederland . Overgenomen uit Icibaci, L. (2019).

TABLE 5.11 Current reuse of metal based components from the housing stock in the Netherlands.

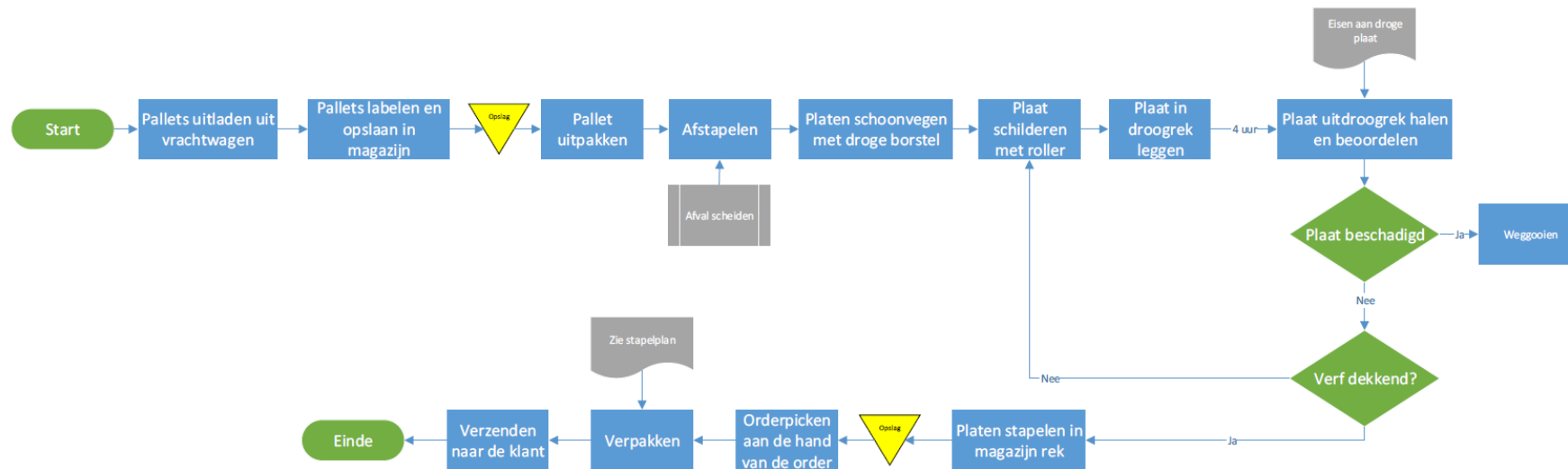
Material type group	Component	Availability in the market or reused building products in the Netherlands	Stimulating factors	Lifetime	Blocking factors
Products derived from housing deconstruction/ renovation (not new)					
Metals	Tubes, plates and bars	Not common	Cascading reuse possible	-	-
	Staircase	Not very common	Cascading reuse possible	100+ years (internal) [2]	Heavy component to be transported and difficulties related to matching dimensions
	Handrail/ fences/ gates	Common	Cascading reuse possible	75 years [2]	These components are more commonly found among architectural salvage products.
	Radiator	Common	-	25-40 years [1]	Complex for cascading. Risk of toxic paint, leaks
	Windows	Not common	-	35-75 years [1, 2]	-
	Doors	Not common	-	35-50 years [2]	-
	Lintel	Not common	-	75-100 years [2]	-
	Structure	Common	-	75- 100+ years [1,2]	Hazardous substances from sprayed products for fire protection. Although it is an appreciated component to be recovered and sold in the market, it is not commonly found in the housing segment.
	Panels (cladding)			30-50 years [2]	
	Forms for concrete in situ	Not common	Cascading reuse possible	-	-
Aluminum	Window	Not very common	-	25-75 years [1, 2]	-
	Door	Not very common	-	35-50 years [1,2]	-
	Panels (cladding)	Not very common	-	20-60 years [2]	-
	(Panels roof)			40-60 years [2]	

TABLE 5.14 Current reuse of plastic based products from the housing stock in the Netherlands.

Material type group	Product	Availability in the market or reused building products in the Netherlands	Stimulating factors	Lifetime	Blocking factors
Products derived from housing deconstruction/ renovation (not new)					
Plastic	PVC window	Common	-	25- 40 years [1] [2]	Recommended non- original reuse
	PVC door	Common	-	20 years [2]	
	Vinyl flooring	Not common	-	10 years [1]	-
	Plugs/ sockets	Not common	-	30+ years [4]	Complex for cascading
	Carpet	Not common	Cascading reuse possible	10 years [3]	-

BIJLAGE 5 Flowchart proces opknappen harde plafondplaten

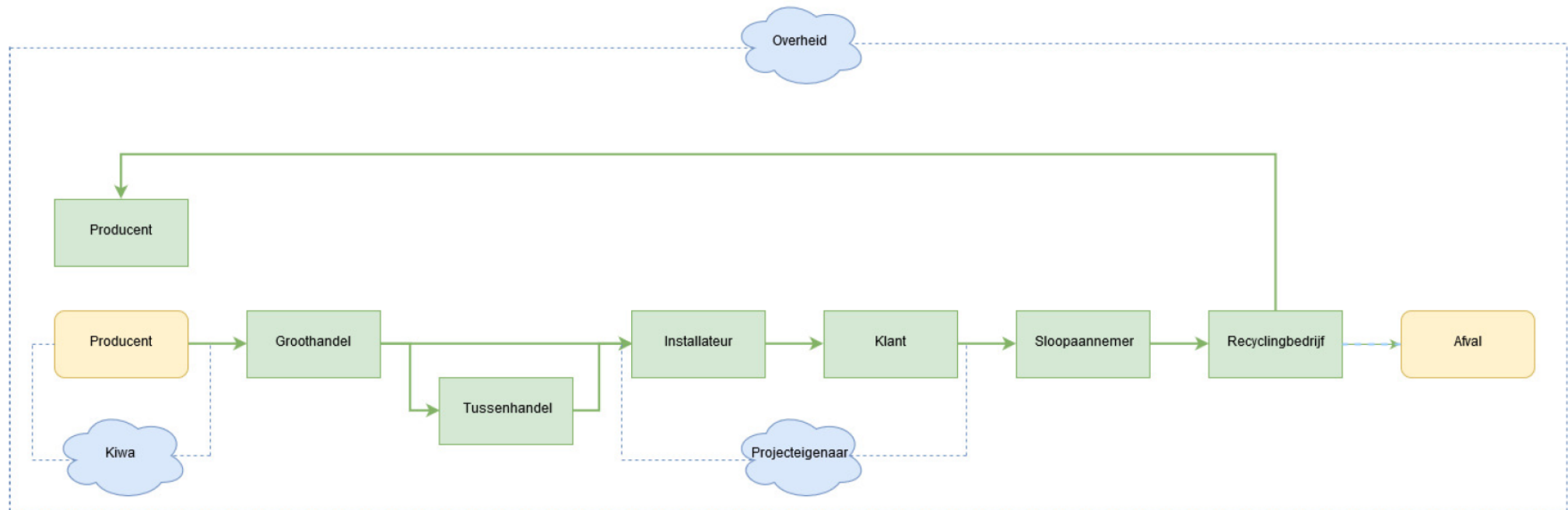
Overgenomen uit (Beverloo, Blauw, Bruinessen, Hoobroeckx, & Huijbens, 2019)



BIJLAGE 6 Ketens kranen

Overgenomen van (Bruin, Goede, Jaarsveld, & Zwetsloot, 2020)

HUDIGE KETEN



TOEKOMSTIGE KETEN

