



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Evaluatie van initiatieven in de circulaire economie op luchthaventerminals

Elias Leurs

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting supply chain management

PROMOTOR :

Prof. dr. Stephan BRUNS

BEGELEIDER :

dr. Silvie DANIELS

dr. Sumit MAHARJAN



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be

Universiteit Hasselt
Campus Hasselt:
Martelarenlaan 42 | 3500 Hasselt
Campus Diepenbeek:
Agoralaan Gebouw D | 3590 Diepenbeek

2022
2023



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Evaluatie van initiatieven in de circulaire economie op luchthaventerminals

Elias Leurs

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting supply chain management

PROMOTOR :

Prof. dr. Stephan BRUNS

BEGELEIDER :

dr. Silvie DANIELS

dr. Sumit MAHARJAN

Voorwoord

In het kader van het behalen van het diploma Master Handelswetenschappen met als optie Supply Chain Management aan de universiteit Hasselt te Diepenbeek werd volgende masterproef gerealiseerd. In deze masterproef is er aan de hand van academische literatuur onderzoek gedaan naar bestaande en mogelijke toekomstige projecten omtrent circulaire economie op luchthavens. De verworven kennis en ervaring tijdens de gehele opleiding Handelswetenschappen liggen aan de basis van deze masterproef.

Graag wil ik via deze weg enkele mensen bedanken voor de begeleiding en steun tijdens het schrijven van deze masterproef. Allereerst wil ik Prof. dr. Stephan Bruns, dr. Silvie Daniels, dr. Sumit Maharjan en mevrouw Ellen Hannes bedanken voor hun deskundige informatie en feedback tijdens het schrijven van deze masterproef. Hun goede raad, interesse en kritische bedenkingen hebben gezorgd voor dit mooie eindresultaat.

Tot slot wil ik mijn familie bedanken voor de onvoorwaardelijke steun en mijn vrienden voor de nodige ontspanning tijdens de moeilijker momenten. Met veel plezier kijk ik terug naar mijn tijd op de UHasselt. Deze ervaringen en kennis neem ik mee in de rest van mijn carrière.

Elias Leurs

Hasselt, mei 2023

Samenvatting

Onderzoeksopzet

Deze thesis kadert in het Stargate project van de Europese Commissie dat als doel heeft de luchtvaartsector groener en duurzamer te maken. Deze vergroening van de luchtvaartsector is niet enkel in de lucht, maar ook op de grond aanwezig. Luchthaventerminals zijn enorm grote complexen waardoor het uitvoeren van duurzame projecten veel potentieel heeft om de luchtvaartsector in zijn geheel duurzamer te maken. Om dit te realiseren kan er gebruik gemaakt worden van 'circulaire economie' dat gebaseerd is op drie principes:

1. Afval en vervuiling elimineren
2. Producten en materialen laten circuleren (tegen hun hoogste waarde)
3. De natuur herstellen

Om te onderzoeken welke mogelijkheden er bestaan voor luchthaventerminals luidt de centrale onderzoeksvraag van deze thesis als volgt: 'Welke acties kan een luchthaven ondernemen om circulair te worden?' Het beantwoorden van deze onderzoeksvraag zal gebeuren aan de hand van een deskresearch. Voor de identificatie van praktijkvoorbeelden in de circulaire economie zal er grijze literatuur gebruikt worden. Voor het verdere onderzoek en verzameling van resultaten zal er een literatuurstudie plaatsvinden waarbij er vanuit meerdere databases academische literatuur wordt verzameld.

Oriëntatie

Circulaire economie is een zeer theoretisch concept dat in de academische literatuur steeds heruitgevonden wordt. Om meer conceptuele duidelijkheid te scheppen tracht deze thesis te onderzoeken hoe circulaire economie in luchthaventerminals toepasbaar is. Hieruit is gebleken dat er zes sectoren zijn waarin circulaire economie het meest toepasbaar is.

Bouwsector	Verpakkingssector
Elektronicasector	Textielsector
Voedselsector	Waterbeheer

Door de omvang van luchthaventerminals en de grote variëteit aan activiteiten die er plaats vinden zijn alle zes de sectoren van toepassing. Om een beeld te scheppen van de mogelijkheden die er zijn, worden er in de thesis voor elke sector enkele praktijkvoorbeelden toegelicht. Aangezien niet elk circulair project dezelfde mate van circulariteit heeft worden de praktijkvoorbeelden gekoppeld aan de 9R-strategieën. Dit zijn negen strategieën die geordend zijn volgens de mate van circulariteit op een schaal tussen lineair en circulair.

Tot op heden is het aantal circulaire projecten die in de praktijk gerealiseerd zijn relatief beperkt gebleven. Dit komt omdat beleidsmakers vaak niet de juiste kennis en informatie hebben om zulke projecten te realiseren. Daarnaast scheidt de manier waarop circulaire projecten beoordeeld worden vaak onduidelijkheid. Dit komt door de uitgebreide set van C-indicatoren die beschikbaar is. Deze worden gebruikt om de circulariteit van een project te kwantificeren.

Om de toepasbaarheid en transparantie van circulaire projecten te vergroten, stelt deze thesis een vereenvoudiging voor met slechts twee indicatoren. De eerste indicator geeft aan hoe groot de milieu-impact van het betreffende project is (bv. 10% reductie in CO₂ uitstoot). De andere indicator bepaalt aan de hand van een eenvoudige calculator wat de relatieve kostprijs van het project is. Dit zorgt ervoor dat projecten met een hoge positieve milieu-impact een relatief lager kostenpercentage krijgen toegewezen.

Literatuurstudie

In de literatuurstudie is er dieper ingegaan op de milieu-impact van één aspect uit één sector. De omvang van luchthaventerminals zorgt ervoor dat er veel infrastructuur aanwezig is. Een grondstof die veelvuldig gebruikt wordt tijdens de constructie van die infrastructuur is beton. Jaarlijks is de productie van beton verantwoordelijk voor zo'n 5% à 7% van de globale uitstoot van broeikasgassen. Hierdoor tracht deze thesis te onderzoeken wat de mogelijkheden zijn voor de productie van circulair beton.

Volgens het principe van 'reuse' kan er circulair beton geproduceerd worden door het hergebruiken van bouw- en sloopafval. Deze afvalstroom bestaat voor 45% uit betonpuin, waarvan momenteel slechts een fractie wordt gebruikt voor nieuwe doeleinden. Wanneer deze grondstoffen hergebruikt worden, zorgt dit ervoor dat er minder grondstoffen ontgonnen moeten worden voor de productie van beton.

Daarnaast kan er ook circulair beton vervaardigd worden met alternatieve afvalstromen zoals glas- en plastic afval. Dit principe is gekend onder de naam 'repurpose'. Dit houdt in dat grondstoffen hergebruikt worden in een nieuwe toepassing, maar met een andere functie. Glasafval kan dienen als aggregaat in de productie van beton, of als gedeeltelijke vervanging van cement. Bij het toevoegen van glasafval in beton, kent een gedeeltelijke vervanging van 15 à 20 procent en een kleinere deeltjesgrootte de meest gunstige mechanische eigenschappen.

Het toevoegen van plastic afval in circulair beton wordt voornamelijk gebruikt bij de productie van lichtgewichtbeton. Dit komt omdat de mechanische eigenschappen zoals druksterkte bij deze toepassing enkel gunstig is voor toepassingen waarbij het gewicht en niet zo zeer de sterkte van belang is.

Resultaten

De milieu-impact is verkregen vanuit de academische literatuur waarin de levenscyclusanalyses die uitgevoerd zijn op de drie stalen circulair beton werden beschreven. Deze resultaten zijn vergeleken met die van het referentiestaal dat een traditionele samenstelling met Portland cement kent. De vergelijking is gebeurd op basis van de klimaatopwarming (kg CO₂), het energie verbruik (MJ) en afbraak van de ozonlaag (10⁻⁶ kg CFC-11).

Wat betreft de klimaatopwarming kent het referentiestaal een CO₂ uitstoot van 444kg per m³. Tegenover het referentiestaal hebben de drie circulaire stalen een lagere CO₂ uitstoot. Volgens de milieu-impact indicator is de milieu-impact hoog indien die groter is dan 20%. Er kan dus geconcludeerd worden dat het gebruik van afval voor twee van de drie stalen een hoge reductie veroorzaakt.

De voornaamste reden van de hoge reductie is de lagere hoeveelheid cement die in het circulair beton vereist is. Het recyclage proces van plastic afval gaat echter gepaard met een relatief hoge CO₂ uitstoot. Dit verklaart het verschil in de reductie tussen bv glasafval en plastic afval. Toch is het gebruik van plastic afval in circulair beton zeer waardevol omdat het naast de reductie in CO₂ ook de hoeveelheid plastic afval vermindert.

Het energieverbruik werd niet opgenomen in de levenscyclusanalyse van het staal met plastic afval. Hierdoor kan enkel het resultaat van de stalen met glas- en bouwafval vergeleken worden met het referentiestaal. Het energieverbruik van het referentiestaal bedraagt 2140 MJ. Het staal waarin bouw- en sloopafval werd verwerkt ligt 750 MJ lager, wat overeenstemt met een reductie van 35%. Het staal met glasafval kent een reductie van 21%.

De laatste impact categorie die besproken wordt is de afbraak van de ozonlaag. Het traditioneel beton heeft een CFC-11 van $29 \cdot 10^{-6}$ Kg. Wat betreft de stalen met glas- en plastic afval is de CFC-11 met meer dan de helft afgenomen. De CFC-11 van het staal met glasafval bedraagt slechts $10 \cdot 10^{-6}$ Kg, wat een reductie is van maar liefst 66%.

Volgens het onderzoek in deze thesis kent de toepasbaarheid van circulair beton op luchthavens geen beperkingen. Aan vrijwel alle vraag naar beton op de luchthavens kan er voldaan worden met een circulaire mix. Dit is mogelijk omdat circulair beton in verschillende toestanden, vormen en soorten verkrijgbaar is. Enkele voorbeelden van mogelijke toepassingen zijn: zelfverdichtend beton, betonstraatsteen, moduleblokken en architectuurbeton.

Kritische beschouwing

Een kanttekening die bij deze thesis aangehaald moet worden is dat elk staal circulair beton een unieke samenstelling heeft. Het opnieuw samenstellen van stalen met al dan niet dezelfde samenstelling kan echter leiden tot een andere milieu-impact in de levenscyclusanalyse.

Hoewel er in de thesis wordt aangegeven dat de toepasbaarheid van circulair beton geen beperkingen kent, moet er toch voorzichtig mee worden omgegaan. Vooraleer circulair beton in de praktijk gebruikt wordt, is het belangrijk dat de mechanische eigenschappen ervan grondig gecontroleerd worden. Dit is noodzakelijk om er zeker van te zijn dat er voldaan wordt aan de eisen van de betreffende constructie.

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	1
Samenvatting	3
Inhoudsopgave	7
Lijst van figuren	9
Lijst van tabellen.....	9
Lijst van afkortingen	10
1. Onderzoeksplan	11
1.1. Probleemstelling	11
1.2. Onderzoeksvragen	15
1.2.1. Centrale onderzoeksvraag.....	15
1.2.2. Deelvragen	15
1.3. Methodologie.....	17
1.3.1. Verzameling praktijkvoorbeelden	17
1.3.2. Literatuurstudie	17
2. Wat is circulaire economie?	19
3. Circulaire economie projecten	20
3.1. Praktijkvoorbeelden bouwsector	20
3.2. Praktijkvoorbeelden elektronicasector	24
3.3. Praktijkvoorbeelden voedselsector	25
3.4. Praktijkvoorbeelden verpakingssector	27
3.5. Praktijkvoorbeelden textielsector	30
3.6. Praktijkvoorbeeld waterbeheer	32
4. C-indicatoren voor projecten op luchthavens	34
4.1. Waarom is er nood aan C-indicatoren?	34
4.2. Wat is een goede C-indicator?	34
4.3. Selectie C-indicatoren	35
5. Milieu-impact van circulaire projecten	38
5.1. Recycleren van bouw- en sloopafval in beton	38
5.2. Recycleren van glasafval in beton	43
5.3. Recycleren van plastic afval in beton	47
5.4. Vergelijking van de milieu-impact	49

6.	Circulair beton op luchthavens	52
6.1.	Mogelijke vormen van circulair beton	52
6.2.	Toepassingen van circulair beton op luchthavens	53
7.	Conclusie en kritische reflectie	55
7.1.	Conclusie	55
7.2.	Kritische beschouwing	56
8.	Bibliografie	57
9.	Bijlagen	62

Lijst van figuren

Figuur 1: Cargo (in ton) Brussels Airport	11
Figuur 2: Passagiers Brussels Airport	11
Figuur 3: 9R-strategieën	13
Figuur 4: Afval beheer Hiërarchie	27
Figuur 5: Kenmerken van een goede C-indicator	35
Figuur 6: Milieu-impact indicator	36
Figuur 7: Calculator	37
Figuur 8: Kosten indicator	37
Figuur 9: Theoretisch model voor CE-implementatie in de BSA-sector	39
Figuur 10: Milieu-impact indicatoren 20-mm stalen (%) (EN15804)	41
Figuur 11: Fysieke kenmerken van glasafval en zand	44
Figuur 12: Evolutie van de druksterkte van betonnen stalen doorheen de tijd	45
Figuur 13: Effect van de deeltjesgrootte in beton op de druksterkte	45
Figuur 14: Vergelijking van de resultaten: Klimaatopwarming	49
Figuur 15: Vergelijking van de resultaten: Energie verbruik	50
Figuur 16: Vergelijking van de resultaten: Afbraak van de ozonlaag	51

Lijst van tabellen

Tabel 1: Zoektermen literatuurstudie	17
Tabel 2: Sectoren CE	20
Tabel 3: Samenstelling 20-mm stalen	40
Tabel 4: Milieu-impact indicatoren 20-mm stalen (EN15804) (± 50 MPa na 162 dagen)	40
Tabel 5: Bijdrage van elke fase aan de drie voornaamste impact categorieën	42
Tabel 6: LCA van 1m ³ Conv en GP beton met een druksterkte van 35 MPa (na 28 dagen)	46
Tabel 7: LWC-samenstelling (hoeveelheden voor 1m ³)	47
Tabel 8: Druksterkte van de twee LWC stalen	47
Tabel 9: LCA van traditionele en groene LWC	48
Tabel 10: Vergelijking van de resultaten: Klimaatopwarming	49
Tabel 11: Vergelijking van de resultaten: Energie verbruik	50
Tabel 12: Vergelijking van de resultaten: Afbraak van de ozonlaag	51

Lijst van afkortingen

- EU: Europese Unie
- CO₂: Koolstofdioxide
- FOD: Federale overheidsdienst
- CE: Circulaire economie
- ISO: International Standardization Organization
- EEE: Electrical and electronic equipment
- R&D: Research and development
- ROI: Return on investment
- C-indicatoren: Circulaire indicatoren
- E-waste: Electronic waste
- KPI: Kritieke prestatie-indicator
- LCT: Life Cycle Thinking
- LCA: Levenscyclusanalyse
- AI: Artificiële intelligentie
- KMO: Kleine, middelgrote en micro-ondernemingen
- BSA: Bouw- en sloopafval
- RB/RC: Gerecycleerd beton
- CB/TC: Conventioneel beton
- MC: Mixed concrete
- ASR: Alkali-silica reactie
- MPa: Megapascal (Eenheid om de druksterkte van beton uit te drukken)
- LWC: Lightweight concrete (lichtgewicht beton)
- CFC: Trichloorfluormethaan
- MJ: Megajoule
- C2CA: Concrete to Cement & Aggregates
- FOD: Federale overheidsdienst
- EN: Europese norm

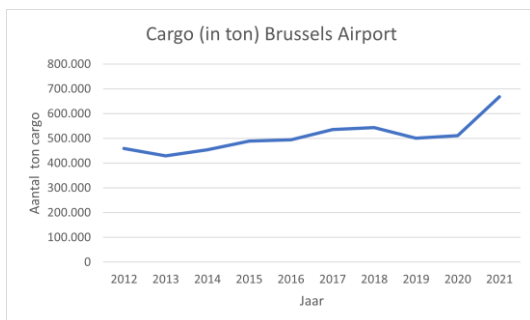
1. Onderzoeksplan

Deze masterproef gaat op zoek naar bestaande projecten in de circulaire economie op luchthavens en in steden. Vervolgens zal er gekeken worden hoe die projecten kunnen worden geëvalueerd. Tot slot zal er dieper ingegaan worden op wat de bouwsector concreet kan doen om circulaire economie toe te passen en wat de milieu-impact hiervan is.

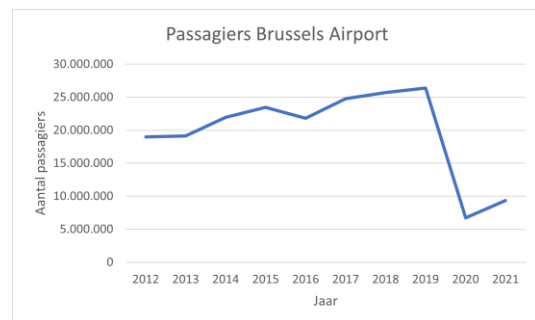
Alvorens het onderzoek begint zal de relevantie van het onderwerp aangetoond worden in de probleemstelling. Vervolgens zullen de onderzoeksvragen met de bijhorende deelvragen worden toegelicht. Op welke manier de nodige informatie voor deze masterproef is verzameld en hoe het onderzoek is uitgevoerd wordt in de methodologie beschreven.

1.1. Probleemstelling

De luchtvaartsector is al jaar en dag prominent aanwezig in de samenleving, ook in België is dit niet anders. Dit blijkt uit het groeiende aantal tonnage cargo dat jaarlijks vanuit de Belgische luchthavens wordt getransporteerd. Enerzijds heeft COVID-19 sinds 2020 het goederenvervoer sterker doen stijgen door de dominantie van e-commerce. Anderzijds heeft het personenvervoer via de lucht tijdens COVID-19 een groot aandeel moeten inboeten. Hoewel de inhaalbeweging vanaf 2021 geleidelijk aan zichtbaar is, is het aantal passagiers dat via Brussels Airport vervoerd wordt met bijna 50% gedaald gedurende de laatste 10 jaar (Figuur 2). Op Brussels Airport werd er in 2021 maar liefst 668.109,38 ton cargo (Figuur 1) en 9.357.221 passagiers vervoerd (Figuur 2). Dit is respectievelijk een stijging van 45,47% en een daling van 49,32% over een periode van 10 jaar (FOD, 2021).



Figuur 1: Cargo (in ton) Brussels Airport



Figuur 2: Passagiers Brussels Airport

De enorme hoeveelheden goederen en personen die dagelijks via de lucht getransporteerd worden gaan gepaard met een aantal negatieve externe factoren (Lee et al., 2021). De FOD mobiliteit en vervoer (2022) geeft aan dat luchtvervoer bijdraagt aan het broeikaseffect, de afbraak van de ozonlaag en dat het zorgt voor geluidsoverlast. Uit cijfers van het Europees Milieuagentschap en Eurostat (2019) blijkt dat de luchtvaart verantwoordelijk is voor 3,8% van de totale uitstoot van broeikasgassen in de EU in 2019. In Bijlage 1 is zichtbaar dat de emissies sinds 1990 ieder jaar sterk gestegen zijn. Enkel de economische crisis in 2008 en de COVID-19 crisis in 2020 hebben de uitstoot doen dalen. Om dit probleem aan te pakken, zijn er op Europees en internationaal niveau verscheidene projecten zoals het project Clean Sky, CORSIA en de Europese Green Deal gelanceerd.

Globaal genomen hebben al deze projecten als doel om de luchtvaart duurzamer te maken (Ellen MacArthur, 2022d).

Een blik op de toekomst: Beleidsmakers zijn het erover eens dat vliegtuigen duurzamer moeten worden. Er wordt verwacht dat de uitstoot van de luchtvaartsector tegen 2025 nog hoger is dan het niveau voor COVID-19 (Zie Bijlage 1). Het is dus cruciaal dat er spoedig ontwikkelingen komen in het onderzoek naar duurzaam aangedreven vliegtuigmotoren. Uit een managementsamenvatting van Deloitte blijkt dat we rekening moeten houden met een ontwikkelingstijd van 15 tot 20 jaar. Bovendien is er nog eens 10 jaar nodig om een voldoende grote vloot vliegtuigen te voorzien. Indien deze termijnen worden gerespecteerd, blijkt dat de luchtvaartsector tegen 2050 verantwoordelijk is voor 27% van de wereldwijde CO₂ uitstoot (Deloitte, 2021).

Bij het verduurzamen van de luchtvaartsector moeten niet enkel de activiteiten in de lucht, maar ook de activiteiten op de grond aandacht krijgen. De activiteiten op luchthaventerminals worden zelden besproken wanneer de milieu-impact van de luchtvaartsector besproken wordt. Toch kunnen ook hier duurzame projecten die een verschil maken worden gerealiseerd. Deze masterproef kadert binnen het Stargate project dat sinds 2021 loopt in Brussels Airport en andere Europese luchthavens. Stargate is één van de drie luchthavenprojecten die kaderen in de 'European Green Deal'. De luchthavenprojecten hebben als doel de Europese luchtvaart tegen 2050 klimaat neutraal te maken. De 22 strategische partners zullen meer dan 30 ambitieuze projecten realiseren. Het verhogen van de circulariteit in de Europese luchthaventerminals is een van die projecten. Universiteit Hasselt is één van de vijf kennisinstellingen die deel uitmaken van het project. Deze thesis tracht in kaart te brengen welke mogelijkheden er zijn om de circulariteit op luchthaventerminals te verhogen.

Om aan alle noden van een luchthaven te voldoen is er in het verleden veel gebouwd en dus ook grondstoffen verbruikt. Door de eindige hoeveelheid natuurlijke hulpbronnen zal er in de toekomst op een andere manier met grondstoffen moeten worden omgegaan. Het verduurzamen van luchthavens is cruciaal om in de toekomst over een groene luchtvaart te kunnen spreken. Daarom is het noodzakelijk dat er efficiënt met grondstoffen wordt omgegaan. Dit is één belangrijk concept in het veel breder principe van 'circulaire economie'. De essentie in de vele definities die geformuleerd zijn omtrent dit onderwerp geven aan dat circulaire economie ervoor zorgt dat de waarde van materialen en grondstoffen zo min mogelijk vermindert. Hierdoor kunnen de materialen en grondstoffen zo lang mogelijk in de economie rondgaan. Omdat geen enkel materiaal eeuwig mee kan gaan moeten de kringlopen gesloten worden (Parlement, 2015). De Ellen MacArthur Foundation (2022d) omschrijft circulaire economie op basis van de volgende drie principes:

- Afval en vervuiling elimineren
- Producten en materialen laten circuleren (tegen hun hoogste waarde)
- De natuur herstellen

Volgens Circular Company Makers (2022) kan circulaire economie bijdragen aan het wapenen van de maatschappij tegen klimaatopwarming en economieën competitiever maken door minder afhankelijk te zijn van invoer. Op termijn zou dit tot een kostenbesparing en een reductie in de uitstoot van broeikasgassen voor bedrijven kunnen leiden.

Om circulaire economie toepasbaar te maken, is het de bedoeling dat er in plaats van te focussen op 'wat is het' er meer gefocust wordt op 'hoe aanpakken'. Om ondernemingen hierin te ondersteunen is er een houvast ontwikkeld bestaande uit 9 basisprincipes. Volgens Circular Company Makers zijn de 9R-strategieën opgebouwd volgens de mate van circulariteit (Makers, 2022).

Vervolgens zijn de strategieën opgedeeld in drie fases:

1. Voor gebruik
2. Tijdens gebruik
3. Na gebruik

In Figuur 3 staan de 9R-strategieën afgebeeld volgens de toenemende mate van circulariteit. Echter, zijn er 10 strategieën beschreven, maar men spreekt over 9 strategieën. Dit komt omdat 'Refuse' en 'Rethink' samen beschouwd worden als één strategie. Deze worden altijd samen genomen, omdat wanneer iets niet meer gebruikt wordt er altijd gezocht moet worden naar een alternatief (Makers, 2022).

In het onderdeel 'Circulaire economie projecten' van deze thesis worden verschillende circulaire projecten kort toegelicht. Door de grote variëteit in deze projecten zullen er verschillende strategieën aan toegewezen kunnen worden. Uiteraard is de meest circulaire oplossing voor luchthavens om nieuwe materialen en grondstoffen te weigeren (Refuse). Hoewel dit "de beste" oplossing is, is het bepalen van de impact ervan zeer moeilijk. Het verdere onderzoek in deze thesis zou voornamelijk toegeschreven kunnen worden aan de remanufacture en repurpose strategieën.

	Smarter product use and manufacture	Refuse	Make product redundant by abandoning its function or by offering the same function with a radically different function
		Rethink	Make product use more intensive (e.g. by sharing product)
		Reduce	Increase efficiency in product manufacture or use by consuming fewer natural resources and materials
	Extend lifespan of product and its parts	Reuse	Reuse by another consumer of a discarded product which is still in good condition and fulfils its original function
		Repair	Repair and maintenance of defective product so it can be used with its original function
		Refurbish	Restore an old product and bring it up to date
		Remanufacture	Use parts of a discarded product in a new product with the same function
	Useful application of materials	Repurpose	Use a discarded product or its parts in a new product with a different function
		Recycle	Process materials to obtain the same (high grade) or lower (low grade) quality
		Recover	Incineration of materials with energy recovery

Potting J, Hekkert M, Worrell E and Hanemaaijer A, (2016). Circular Economy: Measuring innovation in product chains. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague

Figuur 3: 9R-strategieën

Dat circulaire economie veel potentieel heeft voor steden blijkt uit de vele praktijkvoorbeelden die beschikbaar zijn op de website van Ellen MacArthur Foundation. De evaluatie van projecten omtrent circulaire economie in steden en andere omgevingen kan nuttig zijn om deze in de toekomst op luchthavens toe te passen. Dit is mogelijk omdat een luchthaven diverse kenmerken heeft die overeenkomen met een stad. Denk hierbij aan de hoeveelheid mensen, afval, gebouwen, transport en het verbruik van water en elektriciteit. Deze masterproef onderzoekt dus welke projecten rond circulaire economie in steden en eventueel andere omgevingen toepasbaar zijn in luchthavens. Om dit te kunnen realiseren zal er ook onderzocht worden aan de hand van welke criteria de kwaliteit en de doeltreffendheid van de projecten kan worden geëvalueerd.

1.2. Onderzoeksvragen

1.2.1. Centrale onderzoeksvraag

Uit de probleemstelling blijkt dat de nood om de luchtvaartsector te verduurzamen hoog is. Om zo snel mogelijk actie te kunnen ondernemen onderzoekt deze masterproef hoe de luchthavens zelf meer circulair kunnen worden. Rekening houdend met de eindige hulpbronnen ligt de focus op circulaire economie. Hierdoor kunnen de materialen die reeds in de luchthaven aanwezig zijn worden hergebruikt. Om de mogelijkheden voor luchthavens te onderzoeken, wordt een antwoord gezocht op de volgende onderzoeksvraag:

“Welke acties kan een luchthaven ondernemen om circulair te worden?”

1.2.2. Deelvragen

De centrale onderzoeksvraag wordt beantwoord aan de hand van enkele deelvragen. Door deze opsplitsing te maken kan het onderzoek gestructureerd worden opgebouwd. De resultaten van de deelvragen zullen het uiteindelijk mogelijk maken om een antwoord te formuleren op de centrale onderzoeksvraag.

Aangezien het concept van circulaire economie op luchthavens nog redelijk nieuw is, zijn er nog niet veel projecten hieromtrent gerealiseerd. Om een beeld te krijgen van welke mogelijkheden er zijn, wordt er onderzocht welke projecten reeds zijn uitgevoerd in steden. Deze deelvraag heeft als doel circulaire projecten die toepasbaar zijn op een luchthaventerminal te identificeren.

Deelvraag 1: “Welke projecten kunnen er uitgevoerd worden op een luchthaven om de circulariteit ervan te bevorderen?”

Deelvraag twee tracht meer duidelijkheid te scheppen in de manier waarop circulaire projecten geëvolueerd kunnen worden. Tot op heden is er een zeer uitgebreide set van indicatoren beschikbaar die trachten de circulariteit van projecten te kwantificeren. De overvloed aan C-indicatoren maakt het voor beleidsmakers zeer moeilijk om projecten te vergelijken en te bepalen welke projecten de circulariteit het meest bevordert. Hierdoor wordt er onderzocht of een vereenvoudiging mogelijk is.

Deelvraag 2: “Welke economische en duurzame evaluatie criteria bestaan er om circulaire projecten te evalueren?”

De volgende stap in het onderzoek is een literatuurstudie. Hierin wordt onderzocht welke milieu-impact de uitvoering van circulaire projecten kan hebben. In de literatuurstudie zal er dieper ingegaan worden op de bouwsector. Hierbij zullen de life cycle analysis (LCA) resultaten van drie stalen circulair beton met elkaar en met een referentiestaal worden vergeleken.

Deelvraag 3: "Welke milieu-impact heeft het toepassen van circulaire projecten?"

De vierde en tevens laatste deelvraag verkent de diverse toepassingsmogelijkheden van circulair beton. Vervolgens wordt er onderzocht hoe deze toepassingsmogelijkheden in de luchthaveninfrastructuur geïntegreerd kan worden.

Deelvraag 4: "Toepasbaarheid van circulair beton op luchthaventerminals?"

1.3. Methodologie

Om een volledig antwoord te formuleren op de centrale onderzoeksvraag zal het noodzakelijk zijn om een antwoord te formuleren op de vier deelvragen. Om dit mogelijk te maken zal er een grote hoeveelheid artikels worden verzameld en geanalyseerd. Dit heeft als doel een duidelijk beeld te schetsen van wat er reeds bekend is over circulaire economie. Aan de hand van deskresearch zullen de gegevens worden verzameld bij diverse databases. Voor de identificatie van praktijkvoorbeelden zal er een uitzondering worden gemaakt. Hier zal gebruik worden gemaakt van grijze literatuur.

1.3.1. Verzameling praktijkvoorbeelden

Het gebruik van grijze literatuur kan verklaard worden, omdat er in deze fase van het onderzoek nog niet wordt gezocht naar empirische en theoretische werken. Voor de verzameling van praktijkvoorbeelden is het niet ideaal om het onderzoek te beperken tot enkel de voorbeelden in de academische literatuur. Om een voldoende brede scope te hebben wordt er hierdoor ook gezocht in de grijze literatuur.

1.3.2. Literatuurstudie

1.3.2.1. Zoektermen en databases

Bij het maken van een literatuurstudie is het belangrijk dat er wordt nagedacht over de zoektermen die worden gebruikt. Door gebruik te maken van specifieke zoektermen kan je in de databases gericht op zoek gaan naar relevante literatuur. Bij het selecteren van de zoektermen zal er een onderscheid worden gemaakt tussen kernzoektermen en bijkomende zoektermen. Door dit onderscheid worden er altijd artikels omtrent één specifiek onderwerp gezocht, maar kan er goed worden gespecificeerd. De verschillende zoektermen kunnen worden gecombineerd met een "AND"- of "OR"-operator opdat de meest relevante artikels worden gevonden. In Tabel 1 is een opsomming gemaakt van de voornaamste zoektermen die tijdens de literatuurstudie voor deze thesis zijn gebruikt.

Echter, is het niet de bedoeling dat er een systematische review wordt uitgevoerd. In deze masterproef zal er enkel gebruik worden gemaakt van de meest relevante papers die omtrent het onderwerp worden gevonden. De databases waarvan deze masterproef gebruik maakt zijn Google Scholar, Web of Science en de Universiteitsbibliotheek van de U Hasselt.

Kernzoektermen	Bijkomende zoektermen	
Airport terminal	Impact	Evaluation
Circular economy	Recycle	Criteria
City	Good practice	Methods
Circular concrete	Sustainable	Indicators
C-indicators	Concrete	Building
	Glass waste	Construction waste
	Plastic waste	LCA

Tabel 1: Zoektermen literatuurstudie

1.3.2.2. Bijkomende literatuur

Deze masterproef zal naast artikels uit databases ook de techniek van 'citation chaining' toepassen. Hierbij worden referenties van een goed artikel gebruikt om aanvullende informatie en bronnen te verzamelen. Hierdoor kunnen relevante artikels worden ontdekt die mogelijk niet gevonden werden met de oorspronkelijke zoektermen in de database. Het toepassen van citation chaining vergroot de kans op het vinden van relevante literatuur, waardoor er nieuwe inzichten verkregen kunnen worden.

2. Wat is circulaire economie?

Wereldwijd wordt circulaire economie gezien als het eindpunt waarnaar moet worden toegewerkt zodat de behoeften van de toekomstige generaties niet in gedrang komen. In een lineaire economie worden goederen geproduceerd door gebruik te maken van niet-hernieuwbare hulpbronnen. Wanneer de goederen aan het einde van hun levenscyclus zijn, worden ze behandeld als afval en dus niet hergebruikt of gerecycleerd. Omdat grondstoffen nog steeds van cruciaal belang blijven om aan de huidige en toekomstige behoefte van de mens te voldoen, moet er duurzamer mee worden omgegaan (Sakthivelmurugan et al., 2022).

Wanneer er wordt geopteerd om een lineaire economie te verduurzamen wordt er vaak gebruik gemaakt van eco-efficiëntie. Dit is een tool die de transformatie naar een duurzame ontwikkeling ondersteunt. Om de eco-efficiëntie meetbaar te maken, zijn er prestatie indicatoren aan gekoppeld die de milieueffecten toetst aan de economische prestaties (Caiado et al., 2017). Hierdoor kunnen economieën hun negatieve impact op het milieu systematisch verminderen, terwijl ze hun economische activiteiten verbeteren (Sakthivelmurugan et al., 2022). Toch blijkt dit niet de juiste aanpak om ervoor te zorgen dat grondstoffen optimaal worden benut. De oplossing voor dit probleem zal niet liggen bij een duurzame lineaire economie. Een omschakeling van een lineaire economie naar een circulaire economie zal veel effectiever zijn.

In een circulaire economie wordt er gestreefd naar een minimale input van materialen en energie, terwijl de bruikbaarheid ervan wordt gemaximaliseerd. Aan het einde van de levensloop worden de materialen teruggewonnen en hergebruikt. Dit staat ook bekend als de Cradle to Cradle benadering (Gravagnuolo et al., 2019). Door het sluiten van kringlopen zal er van een lineaire economie worden geëvolueerd naar een circulaire economie (Lakatos et al., 2021). Hierdoor zal de economie minder impact hebben op mens, milieu en maatschappij (Sakthivelmurugan et al., 2022).

Circulaire economie in de praktijk

Circulaire economie is een zeer theoretisch concept waarover er in de wetenschappelijke literatuur veel over is geschreven. Het laatste decennium zijn er meer dan 100 definities geformuleerd over circulaire economie (Gravagnuolo et al., 2019). Toch mist circulaire economie nog steeds paradigmatische en conceptuele duidelijkheid (De Angelis, 2020). In plaats van het concept ervan steeds opnieuw heruit te vinden is het belangrijk om te onderzoeken op welke manier circulaire economie in het dagelijks leven kan worden toegepast. Om dit mogelijk te maken zijn de R-strategieën ontwikkeld, waarvan de meest recente de 9R-strategie is (Figuur 3). De raamwerken zullen ervoor zorgen dat projecten makkelijker kunnen worden gerealiseerd (Maťová et al., 2019). In ieder geval zal de evolutie van circulaire economie in de praktijk een wereldwijde benadering vereisen. Denk hierbij aan de ontwikkeling van een beleid en financieringssystemen (Gravagnuolo et al., 2019).

3. Circulaire economie projecten

Projecten omtrent circulaire economie kunnen zeer uiteenlopend zijn. Het kan gaan van het hergebruiken van grondstoffen van gebouwen tot de kleine details zoals het papier in de printer. De Ellen MacArthur Foundation heeft de laatste jaren het concept van circulaire economie op de kaart gezet. Ze hebben onderzocht welke kansen en beperkingen er zijn voor de implementatie van projecten omtrent circulaire economie in stedelijke gebieden. Omdat er weinig tot geen praktijkvoorbeelden beschikbaar zijn over circulaire projecten op luchthavens, zullen er in deze thesis voornamelijk projecten in stedelijke gebieden onderzocht worden.

Ook Vlaanderen zit uiteraard ook niet stil. In het kader van haar Visie 2050 heeft de Vlaamse Regering Vlaanderen Circulair prioriteit gegeven om de transitie naar een circulaire economie in Vlaanderen te realiseren (Vlaanderen, 2023a).

In het EU Horizon 2020 R²pi project (2016-2019) zijn er verschillende circulaire businessmodellen onderzocht. Hierbij is er een onderscheid gemaakt tussen zes sectoren waarin circulaire projecten goed toepasbaar zijn (Gravagnuolo et al., 2019).

Bouwsector	Verpakkingssector
Elektronicasector	Textielsector
Voedselsector	Waterbeheer

Tabel 2: Sectoren CE

Deze sectie van de literatuurstudie heeft als doel circulaire projecten te identificeren die toepasbaar zijn op luchthavens. Om een voldoende breed onderzoek te kunnen doen is er gekozen om praktijkvoorbeelden te zoeken van de zes sectoren. De projecten zullen via een deskresearch worden gezocht. Websites zoals de Ellen MacArthur Foundation en CIRCO zijn voor dit onderdeel een veelgebruikte bron. De projecten zijn opgedeeld per sector en worden elk in een korte paragraaf besproken.

3.1. Praktijkvoorbeelden bouwsector

Om alle activiteiten van luchthavens mogelijk te maken is er op de terminal veel infrastructuur aanwezig. Wanneer er wordt geopteerd om circulaire luchthavens te ontwikkelen speelt de infrastructuur hier een cruciale rol in. Momenteel is de bouwsector in Europa verantwoordelijk voor 40% van de CO₂ uitstoot, 1/3 van het waterverbruik, 50% van de materiaalstromen en 50% van het energieverbruik (Circulair, 2023).

In de bouwsector ligt de focus momenteel op de energie-efficiëntie van gebouwen (Foundation, 2022a). Dit zal echter nooit genoeg zijn om te evolueren naar een volledig circulaire bouw. Volgens de Ellen MacArthur Foundation (2022b) zou een circulaire economie in de bouw ervoor kunnen zorgen dat tegen 2050 de CO₂ uitstoot van bouwmaterialen met 38% vermindert. Om dit te verwezenlijken zal de sector de CO₂ die gepaard gaat met bouwprocessen en -materialen moeten aanpakken (Foundation, 2022a).

Circular Building Toolkit

De Circular Building Toolkit is ontworpen in een samenwerking tussen Arup en de Ellen MacArthur foundation (Ellen MacArthur, 2022b). Het principe van de toolkit is gebaseerd op de 9R-strategie (Figuur 3) en heeft als doel een gedragswijziging door te voeren. Dit houdt in dat de maatschappij moet streven naar een circulaire bouwsector. In een circulaire bouwsector wordt in eerste instantie bouw vermeden. Indien dit niet mogelijk is moet er op een circulaire manier worden gebouwd. Om dit mogelijk te maken is de toolkit ontworpen. De toolkit voorziet werkwijzen en methodes die toepasbaar zijn bij de ontwikkeling van circulaire bouwprojecten. Op de website van Arup (2022) is de toolkit beschikbaar en worden er bij elke fase enkele praktijkvoorbeelden uitgelicht.

Het principe van de Circular Building Toolkit zou eigenlijk in elke sector toegepast kunnen worden. De toolkit vertaalt de 9R-strategieën naar meer tastbare en specifieke acties. Het is dus de ideale houvast voor beleidsmakers van een luchthaven. Wanneer er nood is aan nieuwe infrastructuur kan de Toolkit gebruikt worden en kan men er zeker van zijn dat de meest circulaire oplossing bereikt wordt. De Circular Building Toolkit is het enige praktijkvoorbeeld dat echt inzet op de refuse strategie.

Circl

Circl is het circulair bouwproject van ABN AMRO dat op de Zuidas van Amsterdam is gebouwd. Tijdens het ontwerp, inkoop en het bouwproces van Circl was het concept van circulariteit bepalend. Dit heeft ervoor gezorgd dat Circl volledig demonteerbaar is. Hierdoor kunnen de gebruikte materialen in de toekomst voor andere doeleinden worden ingezet (Guglielmo & Nitesh). Het volledige proces waardoor Circl tot stand is gekomen en enkele voorbeelden van circulaire materialen die zijn gebruikt tijdens de bouw worden beschreven op Circl (2022) en ABN AMRO (2022).

Circl is het perfecte voorbeeld voor hoe luchthavens toekomstige infrastructuur op een circulaire wijze kunnen bouwen. Zoals de Circular Building Toolkit ook aangeeft start alles bij het ontwerpen. Reeds in deze fase is het van belang dat circulariteit centraal staat, zodat er gebouwd wordt met oog op lange termijn. Dit houdt in dat de infrastructuur meerdere toepassingen kan kennen, lang zal meegaan, aanpasbaar en demonteerbaar is. Tot slot moet onnodig gebruik van materialen en het gebruik van nieuwe grondstoffen zo veel mogelijk vermeden worden. Circl is een toepassing op de rethink en reduce strategieën.

Armstrong ceiling & wall solutions

Armstrong is in Amerika de leider in het ontwerp en de productie van plafond- en wandoplossingen. Al sinds 1999 zetten ze zich in voor een circulair proces. Armstrong verzorgt de hele levensloop van haar producten. Zo hanteren ze een circulair ontwerp van plafondtegels waardoor ze zo lang als mogelijk hergebruikt kunnen worden (Guglielmo & Nitesh). Dit is gekend onder de reuse strategie.

Tijdens de productie wordt er ook gebruik gemaakt van een bijproduct dat voortkomt uit de productie van tissueproducten (Armstrong, 2022). Daarnaast wordt via het "Armstrong Ceilings Recycling Program" gegarandeerd dat afgedankte plafondtegels geüpycled worden tot nieuwe (Armstrong, 2022). Door deze manier van werken voorziet Armstrong een volledig gesloten cyclus voor plafondtegels.

De circulaire oplossing van Armstrong ceiling & wall solutions kan voor luchthavens toegepast worden bij de constructie van circulaire bouwprojecten. Deze oplossing zou gebruikt kunnen worden bij de inrichting van grote ruimtes zoals terminals. In zulke omgevingen worden plafondtegels frequent gebruikt. Bij de productie van de plafondtegels worden overigens drie van de 9R-strategieën gehanteerd. Reuse door het hergebruik, repair voor de upcycling van de pladfondtegels en repurpose door de toevoeging van tissueproducten.

Circulairstaal

Circulairstaal is een Nederlandse onderneming die zich inzet voor het ontwerpen en plaatsen van circulaire staalconstructies. Doorheen heel hun proces worden er acties ondernomen om het proces zo circulair mogelijk te maken. Denk hierbij aan het gebruik van een Biocoat en circulaire connectoren bij de montage. Daarnaast werken ze volgens het Design for Disassembly principe waardoor de constructies aan het einde van hun levensloop volledig kunnen worden gedemonteerd. Dit principe garanderen ze door een terugkoopgarantie toe te passen. Hierdoor is Circulairstaal in staat om volgens de reuse strategie de cyclus te sluiten en de materialen volledig of gedeeltelijk te hergebruiken (Circulairstaal, 2022).

Opslagplaatsen en hangars worden tegenwoordig in enkele weken tijd gebouwd. Het merendeel van deze constructies bestaan uit een staalconstructie waar achteraf prefabbeton wordt tussen geplaatst. Door de brede toepassingsmogelijkheden ervan kunnen luchthavens ook gebruik maken van dit soort constructies, voor bijvoorbeeld opslag van goederen en voertuigen of zelfs voor bagageafhandeling.

Gerecycleerd beton

Alleen in Europa brengt de afbraak van gebouwen jaarlijks zo'n 300 miljoen ton bouw- en sloopafval (BSA) met zich mee (Technology, 2023). Rutte Groep is een onderneming die zich inzet om beton uit BSA te recyclen. 45% van het BSA van een gebouw bestaat uit beton (Groep, 2021). Omdat de productie van beton verantwoordelijk is voor zo'n 8% van de wereldwijde CO₂ uitstoot heeft het recyclen van deze afvalstroom veel potentieel om de emissies die gepaard gaan met de bouwsector te verminderen (Technology, 2023). Met de machine genaamd 'Smart Liberator' wordt het cement dat het zand en grind verbind in poedervorm uit het BSA geëxtraheerd. Door deze verwerking uit te voeren is Rutte Groep in staat om circulair cement te produceren (Groep, 2021).

Concrete to Cement & Aggregates (C2CA) is een andere speler die ook in deze niche aanwezig is en is ontstaan uit een Europees onderzoeksproject. C2CA heeft als doel volledig gesloten kringlopen te creëren voor betonpuin door de ontwikkeling van nieuwe technologieën (Technology, 2023).

De grootste vervuiler in de productie van beton is het cement. Maar liefst 70% van de CO₂ die vrijkomt tijdens de productie van cement is afkomstig van klinker (Bijlage 2) (CBR, 2023). Om de CO₂ uitstoot tijdens de productie van beton te verlagen wordt er gezocht naar alternatieve grondstoffen om de hoeveelheid natuurlijke grondstoffen zoals kalksteen te verminderen. Een voorbeeld van zo'n alternatieve grondstof is vliegglas (CBR, 2023). Daarnaast kan er ook gebruik gemaakt worden van afvalstromen zoals glas- en plastic afval.

De mogelijkheden om circulair beton te creëren liggen enerzijds bij het hergebruiken van betonpuin. Anderzijds kan er ook gebruik gemaakt worden van andere afvalstromen die een nieuwe toepassing kennen in circulair beton. Deze twee mogelijkheden zijn volgens de 9R-strategieën gekend onder remanufacture en repurpose.

3.2. Praktijkvoorbeelden elektronicasector

De afgelopen decennia heeft de digitalisering een grote impact gehad op de samenleving. In een korte periode hebben elektronische toestellen (EEE) de dagelijkse manier van leven en werken drastisch veranderd. Dit heeft echter ook een keerzijde. Met dezelfde snelheid als de EEE is opgekomen, is de hoeveelheid E-waste toegenomen (Odumuyiwa et al., 2021). Jaarlijks wordt er wereldwijd zo'n 50 miljoen ton E-waste gegenereerd. Door een gebrek aan reverse logistics en hergebruik van EEE zal dit cijfer jaarlijks met 17% toenemen (Ellen MacArthur, 2022c).

EEE kunnen langer in gebruik gehouden worden wanneer er onderhoud wordt op uitgevoerd. Daarnaast kunnen ze ook nog een tweede leven krijgen door reparatie, refurbish, herverkoop of donaties. De grootste negatieve impact op het milieu van EEE bevindt zich in de productiefase. Door de goederen volledig of gedeeltelijk te hergebruiken kan de levensduur verlengd worden (The Restart Project, 2019).

Brainscape

In een samenwerking tussen HP en Sinctronics in Brazilië is gebleken dat er een manier is om het probleem van E-waste aan te pakken (Early, 2020). Een belangrijke eerste stap hierin is het verzamelen ervan. Vervolgens moeten de nog bruikbare materialen worden hergebruikt, indien dit niet mogelijk is moet er gekeken worden naar de recyclage mogelijkheden. Een onderneming die zich hiermee bezighoudt in België is BrainScape. Door plaatsen waar er veel afgedankt ICT-materiaal aanwezig is te voorzien van rolcontainers kan er E-waste verzameld worden. Vervolgens worden de rolcontainers overgebracht naar hun magazijn te Schoten waar de E-waste gerecycleerd wordt (BrainScape, 2022).

De activiteiten van Brainscape hebben veel potentieel om het wereldwijde probleem van E-waste aan te pakken. De activiteiten van een luchthaven zijn uiteraard grotendeels computer gestuurd. Dit zorgt ervoor dat er een grote hoeveelheid EEE aanwezig is. Door de beperkte levensduur van de toestellen zullen deze EEE na verloop van tijd E-waste worden. Wanneer deze door Brainscape verzameld worden zijn er verschillende strategieën die mogelijk zijn om de grondstoffen tegen de hoogst mogelijke waarde te hergebruiken. Repair, Refurbish, Remanufacture en Recycle zijn enkele voorbeelden hiervan. Momenteel is de scope van Brainscape enkel business to business. Met een uitbreiding van de activiteiten naar business to customer zou Brainscape in staat zijn de verzamelde hoeveelheid E-waste op te krikken.

Signify

Met de Lighting-as-a-service of LaaS dienst van Signify kunnen luchthavens gebruik maken van de meest geavanceerde licht technologieën. De grote kapitaalkost die gepaard zou gaan met de aankoop van de installatie wordt onder een LaaS-contract vervangen door een maandelijkse servicevergoeding (Jablanski & Strother, 2021). Omdat de installatie aangestuurd wordt door internet of things en er ook gebruik wordt gemaakt van AI kan er een aanzienlijke reductie in het energieverbruik worden gerealiseerd. Tijdens het LaaS-contract blijft het verlichtingssysteem eigendom van Signify. Hierdoor worden ze gestimuleerd om kwaliteitsvolle en duurzame producten te ontwikkelen die langer in gebruik blijven (Ellen MacArthur, 2022e). Indien het LaaS-contract ten einde komt zal de verlichtingsapparatuur worden hergebruikt of gerecycleerd. Dit zorgt ervoor dat LaaS een ideale oplossing is voor een circulaire verlichtingsinstallatie (Signify, 2019).

Het toepassen van Lighting-as-a-service op luchthavens heeft het potentieel om naast de circulariteit ook de financiën van luchthavens te bevorderen. Volgens de strategie reuse wordt na afloop van het contract de verlichtingsinstallatie tegen haar hoogste waarde elders gebruikt. Voor luchthavens is het dankzij deze dienst mogelijk om over de nieuwste licht technologieën te beschikken zonder de investering hiervoor te moeten doen.

3.3. Praktijkvoorbeelden voedselsector

De principes van een circulaire economie toepassen in de voedselsector is een opportuniteit voor de hele maatschappij om de klimaatverandering aan te pakken. Terwijl er volgens de Ellen MacArthur Foundation (2022c) 10% van de wereldbevolking honger lijdt, werd er in 2017 naar schatting in België alleen 3,6 miljoen ton voedsel verspild (ADN, 2017). Naast het voedsel dat wordt verspild, gaat dit ook gepaard met een verspilling van arbeid, water, energie en grondstoffen (ADN, 2017).

Tegenwoordig gaat de productie van voedsel en de verwerking van de overschotten nog steeds gepaard met een grote uitstoot van broeikasgasemissies. Daar bovenop kost de verwerking van het voedselafval de EU jaarlijks meer dan 143 miljard euro (Vera et al., 2022).

In een voedselsysteem dat is gebaseerd op de principes van een circulaire economie zal voedsel nooit meer als afval worden gezien. In eerste instantie moet er op een duurzame manier worden geproduceerd. Duurzame meststoffen die bestaan uit voedselbijproducten kunnen als alternatief gelden voor chemicaliën. Vervolgens moet het voedsel goed worden bewaard zodat de houdbaarheid wordt gemaximaliseerd. Daarnaast moeten voedseloverschotten bij mensen terecht komen die er nood aan hebben. Hierdoor kan het voedsel nog dienen als voedsel en wordt het niet beschouwd als afval. Tot slot moeten voedselbijproducten en afval dienen als grondstof of als input voor nieuwe producten (Ellen MacArthur, 2022c). Deze alternatieve oplossing voor de toekomstige voedselsector heeft veel potentieel om een aanzienlijke reductie in emissies en kosten teweeg te brengen. Onderstaande worden enkele voorbeelden beschreven van ondernemingen die een circulaire visie hebben op de voedselsector.

Apeel

Apeel heeft het mogelijk gemaakt om vruchten langer vers te houden met behulp van een extra schil. De beschermende laag van Apeel vertraagt het proces van vochtverlies en oxidatie dat de voornaamste oorzaken voor het bederf van verse vruchten zijn. De laag die Apeel aanbrengt op de vrucht heeft dezelfde kenmerken als de cuticulalaag van de vrucht. Deze laag zorgt ervoor dat de vrucht kan ademen en vocht bewaart zodat het niet uitdroogt. Door deze laag na te bootsen wordt de houdbaarheid op een natuurlijke manier verlengd. De onzichtbare en bovendien eetbare laag die wordt aangebracht op de vrucht vindt zijn oorsprong bij verscheidene voedingsresten waaruit de bouwstenen worden geëxtraheerd (Apeel, 2022). Door de verlengde houdbaarheid van verse producten is er minder voedselverspilling. Daarnaast zorgt de extra laag er ook voor dat plastic verpakking overbodig wordt (Ellen MacArthur, 2022f).

De Clique

De Clique is een Utrechtse startup die streeft naar zero-waste steden. De onderneming zamelt oneetbare voedselbijproducten zoals koffiedik, sinaasappelschillen en ander organisch voedselafval in. De Clique zorgt er met behulp van externe partners voor dat de ingezamelde grondstoffen worden verwerkt tot nieuwe producten zoals voedsel en biomaterialen. Dankzij De Clique zijn duurzame productfabrikanten in staat om hun productie op te drijven omdat de hoeveelheid afvalstromen veel hoger ligt dan voordien (Clique, 2022).

Daarnaast kunnen de leveranciers van het organische voedselafval genieten van een korting op de eindproducten van De Clique en haar partners. Door deze manier van werken is De Clique erin geslaagd om een circulaire marktplaats te ontwikkelen (Ellen MacArthur, 2022d).

Een groot deel van de bijna 10 miljoen reizigers die jaarlijks via Brussels airport passeren consumeren een koffie of vruchtensap. Het organisch afval dat hiermee gepaard gaat kan in plaats van bij het restafval terecht te komen ook dienen als grondstof. De Clique en haar partners hanteren het repurpose principe, waarbij een product gebruikt wordt voor een nieuw product met een andere functie. Enkele voorbeelden van producten zijn frisdranken, focaccia, veganistische bitterballen en thee.

Too Good To Go

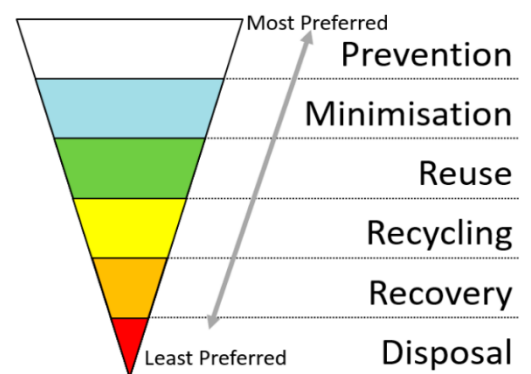
Too Good To Go is een onderneming die internationaal actief is en zich inzet om voedselverspilling tegen te gaan. Handelaars kunnen met hun onderneming lid worden van Too Good To Go en aangeven wanneer ze een overschot aan voedsel hebben. Via een app kunnen consumenten kijken waar er overschotten beschikbaar zijn en deze aan een gereduceerde prijs aankopen. Door lid te worden van Too Good To Go kunnen ondernemingen voedselverspilling tegen gaan, maar het werkt ook als een extra verkoopkanaal, weliswaar met een lagere marge (TGTG, 2022). Voor consumenten is het een voordelige manier om gevarieerde voeding te verkrijgen.

Horeca handelaars op luchthaventerminals kunnen zich uiteraard ook aansluiten bij Too Good To Go. De voedseloverschotten die niet meer verkocht worden kunnen via de app aangeboden worden. Naast de reizigers zouden ook personeelsleden en buurtbewoners deze overschotten kunnen aankopen. Dit principe is zeer circulair omdat de overschotten nog steeds tegen hun hoogste waarde gebruikt worden. Een praktisch probleem is dat de buurtbewoners niet zomaar in de luchthaven geraken. De pakketten zouden dan op een beschikbaar punt verzameld moeten worden.

3.4. Praktijkvoorbeelden verpakkingsector

In de huidige maatschappij worden alle consumptiegoederen verpakt. De hoeveelheid afval die hierdoor wordt geproduceerd is niet meer vol te houden. Wanneer er geen actie ondernomen wordt, zal er tegen 2050 meer plastic dan vis in de oceaan zijn (Ellen MacArthur, 2022f). Om dit te voorkomen moet er onmiddellijk worden gehandeld en een mental shift komen. In Figuur 4 wordt getoond dat verpakking voorkomen en minimaliseren het meest voordelig is om de afval berg te verkleinen. Vervolgens gaat de voorkeur pas naar herbruikbare verpakkingen.

Een goed voorbeeld hiervan is Duitsland, waar restaurants vanaf 2023 werden verplicht een herbruikbaar alternatief aan te bieden voor afhaalmaaltijden en -dranken (RECUP, 2022). Indien andere landen dit principe zouden overnemen zou de afvalberg aanzienlijk verminderen. Echter, kunnen verpakkingen niet volledig verbannen worden, maar ze duurzaam en circulair maken is wel mogelijk. In deze sectie worden twee voorbeelden van duurzame verpakkingen beschreven en een manier om secundaire grondstoffen uit restafval te recupereren.



Figuur 4: Afval beheer Hiërarchie

RECUP & REBOWL

RECUP is een Duitse onderneming die met hun RECUP en REBOWL een oplossing hebben voor afhaalmaaltijden en dranken. De RECUP-bekers zijn beschikbaar in verschillende maten en zijn perfect bruikbaar als to-go beker voor een grote verscheidenheid aan dranken. Hetzelfde principe geldt voor REBOWL, maar dan voor afhaalmaaltijden. De klanten betalen een waarborg boven op de prijs van hun eten en/of drinken. Vervolgens kunnen de klanten hun RECUP of REBOWL retourneren bij één van de partners en krijgen ze hun borg terug (RECUP, 2022).

Vanaf zes maaltijden en twaalf dranken per dag is het voor een onderneming goedkoper om zich aan te sluiten als partner bij RECUP. Bovendien stelt het ondernemingen in staat om hun afvalberg aanzienlijk te reduceren. Slechts één RECUP-beker is een alternatief voor 1000 wegwerpbekers. Daarnaast zijn de bekens en bowls 100% recyclebaar. In Duitsland zijn er reeds 14.700 partners die gebruik maken van het RECUP-netwerk. Overigens zijn restauranthouders in Duitsland vanaf 2023 verplicht om een herbruikbaar take-away alternatief aan te bieden (RECUP, 2022).

Voor luchthavens kan het ook een optie zijn om standhouders te verplichten een herbruikbare verpakking aan te bieden. Nog beter zou zijn wanneer de verpakking voor alle standhouders gestandaardiseerd wordt. Zo wordt er een netwerk gecreëerd en betalen reizigers aan elke stand hetzelfde bedrag voor hun in dit geval RECUP of REBOWL. Vervolgens kan de RECUP of REBOWL aan elke stand, of in de toekomst misschien zelfs aan een automaat, worden omgeruild voor de betaalde waarborg. Dit is een goed voorbeeld van slimmer gebruik van producten, omdat er volledig wordt afgestapt van wegwerpverpakkingen (Refuse).

Bio4Pack

Bio4Pack is een onderneming die van het zoeken naar duurzame verpakkingsopties zijn missie heeft gemaakt. Ze ontwikkelen en produceren verpakkingmaterialen met een minimale impact op het milieu en die bovendien volledig composteerbaar zijn. Dit doen ze door zo veel als mogelijk gebruik te maken van hernieuwbare grondstoffen (Bio4Pack, 2022).

Een voorbeeld hiervan is de samenwerking die Bio4Pack heeft met rijstboeren in Maleisië. De boeren zitten na de oogst van hun rijst met het bijproduct rijststro. Voorheen was de snelste en goedkoopste manier om hiervan te ontkomen het te verbranden. Dit zorgde echter voor smogwolken en het verdampen van water. Door de samenwerking met Bio4Pack hebben de boeren 15% meer omzet per oogst, en heeft Bio4Pack een duurzame grondstof waarmee ze verpakkingen kan produceren (Gerritsen, 2022). Het aanzienlijke assortiment dat Bio4Pack heeft om goederen duurzaam te verpakken biedt veel opportuniteiten voor retailers en andere ondernemingen.

Het gebruik van composteerbare verpakkingen kan ook op luchthavens dienen als duurzaam alternatief van plastic verpakkingmaterialen. Dankzij het samenwerkingsverband dat Bio4Pack heeft met de rijstboeren zijn er verschillende actoren in het verhaal die enkel maar voordeel hebben bij het gebruik van dit soort verpakkingen. Om de ketens aanwezig op de luchthaven te overtuigen zal

er waarschijnlijk een verplichting op herbruikbare of duurzame verpakkingen moeten komen. Dit is te wijten aan de hogere kostprijs van duurzame verpakkingen.

AMP Robotics

Luchthavens krijgen ongewild dagelijks te maken met enorme hoeveelheden restafval. Dit is afkomstig van de vele verpakkingen, koffiebekertjes en ander wegwerpaafval dat reizigers deponeren bij restafval (Sebastian & Louis, 2021). Echter, een grote hoeveelheid van het afval dat wordt gesorteerd onder restafval is recycleerbaar. Wanneer het restafval wordt verbrand gaan grote hoeveelheden grondstoffen verloren die anders konden worden hergebruikt.

Luchthavens kunnen acties ondernemen om reizigers beter te laten sorteren met bijvoorbeeld nudging. Dit is doelgericht het gedrag van mensen sturen en beïnvloeden door aanpassingen in de omgeving (Lehner et al., 2016). Echter, heeft nudging enkel invloed als het aanwezig is. Indien wordt geopteerd het gedrag van mensen permanent te veranderen is bewustmaking, kennisoverdracht en motivatie effectiever (Omgevingspsycholoog, 2016). Hoewel het efficiënter is om problemen bij de oorzaak aan te pakken, is dit niet altijd evident.

Op de luchthaven van Genève zijn ze erin geslaagd om hun recyclagepercentage met 4% te doen stijgen (ATAG, 2022). Een eerste actie was de implementatie van een proces dat het mogelijk maakt voor passagiers hun drinkflessen te ledigen vooraleer ze door de security passeren. De tweede actie vereiste een grotere investering en bestond uit de installatie van een sorteermachine (ATAG, 2022).

Dankzij AI en de deep learning capaciteit van het AMP-platform zijn de machines van AMP in staat om gemengde afvalstromen te sorteren. De machine kan binnen één afvalstroom meer dan 100 verschillende categorieën herkennen (Ellen MacArthur, 2022a). Met een capaciteit van 80 items per minuut en een nauwkeurigheid van 99% kan de machine recycleerbare materialen uit de stroom restafval plukken en sorteren. Hierdoor wordt er minder afval verbrand en is er een grotere beschikbaarheid van secundaire grondstoffen (Ellen MacArthur, 2022a).

Hoewel problemen beter bij de oorzaak aangepakt worden is dit niet altijd mogelijk. Wanneer er op luchthavens enkel herbruikbare of duurzame verpakkingen beschikbaar zijn, zullen passagiers nog steeds afval met zich meebrengen. De meest circulaire oplossing in deze fase is het recycleren van de grondstoffen die in het afval aanwezig zijn. Door de nog steeds slechte sorteergewoontes gaan er veel grondstoffen verloren in verbrandingsovens. Door het installeren van een sorteermachine op luchthavens zou dit voorkomen kunnen worden.

3.5. Praktijkvoorbeelden textielsector

Zoals in alle andere sectoren kent de textielsector ook een lineaire economie. Kledingmerken zijn hier in zekere mate zelf verantwoordelijk voor. Zij ontwikkelen frequent nieuwe trends waardoor ze fast fashion in de hand werken en dus hun omzet kunnen maximaliseren. Dit principe heeft echter ook zijn keerzijde. Gemiddeld worden modeartikelen slechts zeven keer gedragen vooraleer ze als afval worden beschouwd. Hierdoor belandde 60% van alle mode artikelen in 2018 na één jaar reeds bij het afval (Paul et al., 2021). 95% van de afgedankte kleding zou kunnen worden hergebruikt of gerecycleerd en dus zo in de circulaire economie terecht kunnen komen (Paul et al., 2021). Toch is er gebleken dat hoogstens 1% van het textiel afval wordt gerecycleerd (Loop, 2022).

Er zijn veel goede voorbeelden beschikbaar van ondernemingen die zich inzetten om de textielsector meer circulair te maken. Dit doen ze voornamelijk door gebruik te maken van duurzame grondstoffen of het hergebruiken van afvalstromen (Loop, 2022). Echter, is het verkleinen van de afvalberg ook een belangrijk aspect. Dit aspect wordt aangepakt door tijdloze en kwalitatieve kleding te ontwerpen, zodat de levensduur ervan toeneemt (GAIA, 2022). Op die manier kan er een einde gebracht worden aan de fast fashion industrie die tegenwoordig de bovenhand heeft in de textielsector. In deze thesis is er gekozen om het verhaal van GAIA circulair, Loop.a life en Loopworks toe te lichten, maar er zijn nog veel meer goede praktijkvoorbeelden zoals MUD Jeans, Näz, OhSevenDays, EMMA Safety Footwear en 33Y BRAND (Paul et al., 2021).

GAIA circulair

GAIA circulair zet zich in om urban mining in de praktijk toe te passen. GAIA haalt werkkledij, veiligheidsschoenen en andere beschermingsmiddelen op bij ondernemingen en zorgt ervoor dat deze worden gerecycleerd. Na het ophalen worden de goederen gesorteerd en ontmanteld waarna ze kunnen dienen als grondstof voor nieuwe producten (GAIA, 2022).

Pōur is een merk dat gebruik maakt van materialen die afkomstig zijn van GAIA. Pōur ontwerpt en maakt tassen met hergebruikte materialen, waardoor er duurzame producten ontstaan. Na gebruik kunnen de tassen worden teruggestuurd naar Pōur, waar ze opnieuw worden hergebruikt (GAIA, 2022). Naast de tassen van Pōur worden de grondstoffen van GAIA ook gebruikt om garen en doek te maken. Toepassingen hiervan zijn terug te vinden in de automotive industrie en indien gewenst kunnen ondernemingen specifieke producten aanvragen (GAIA, 2022).

Loop.a life

Loop.a life is een Nederlandse onderneming die de productie van kleding dichter naar de consument wil brengen en de huidige wegwerpindustrie wilt veranderen. Om dit mogelijk te maken verzamelt Loop.a life afgedankte kleding die niet meer tweedehands kan worden verkocht.

In de eerste fase gaat de kleding door de Textiles2Textiles sorteermachine en ontdoen vrijwilligers de knopen en etiketten van de kleding. De tweede fase vindt plaats in Zuid-Europa waar de kleding gerecycleerd wordt tot nieuwe garen en tijdloze kledij. In dit proces wordt in plaats van verf, water en chemicaliën gebruik gemaakt van PET flessen en houtpulp wat zorgt voor een duurzaam productieproces (Loop, 2022).

Tot slot doet Loop.a life ook aan brand collaboration (voorlopig enkel met Nederlandse bedrijven) waarbij zij bedrijven in staat stellen om opnieuw kleding te maken van hun eigen textielafval (Loop, 2022).

Looptworks

De luchtvaartmaatschappij Delta heeft in 2018 in een samenwerking met Looptworks één miljoen uniformen van de stortplaats gered. Nadat de 64.000 Delta-werknemers hun nieuw uniform in ontvangst hadden genomen zaten Delta-werknemers in het totaal met meer dan 150.000 kg aan oude uniformen (Protis, 2018). Via verzamelcontainers verzamelde Looptworks alle stukken die niet konden worden gedoneerd of hergebruikt (Protis, 2018). De uniformen werden voornamelijk geüpycled tot zaken zoals laptotassen en rugzakken (Looptworks, 2022), (Protis, 2018). Daarnaast werd ook een deel gedowncycled tot toepassingen zoals huisisolatie en vullingen voor bijvoorbeeld boksakken (Protis, 2018).

Deze samenwerking heeft een positieve impact gehad op het milieu en voorkwam de uitstoot van methaan die vrijkomt bij de ontbinding van textiel. Daarnaast heeft het ook tijdelijke werkgelegenheid gecreëerd voor 700 vluchtelingen en mindervalide werknemers (Protis, 2018).

Toepassing van praktijkvoorbeelden op luchthavens

Het spreekt voor zich dat de aanwezigheid van textielafval op luchthavens eerder beperkt is. Echter draagt het luchthavenpersoneel dagelijks werkkledij of een uniform. Deze outfits zullen op regelmatige basis aan vervanging toe zijn. Wanneer dit het geval is kan er gekozen worden om het afgedankte textiel in de circulaire economie te brengen. De drie bedrijven die bovenstaande kort beschreven zijn zetten zich hiervoor in. De voornaamste strategieën die gehanteerd worden zijn remanufacture en repurpose. Dit wil zeggen dat afgedankte goederen na verwerking opnieuw gebruikt worden voor al dan niet dezelfde toepassing.

3.6. Praktijkvoorbeeld waterbeheer

De gemiddelde Belg verbruikt dagelijks 7400 liter water. Slechts een fractie hiervan is direct water. Dit is het water dat rechtstreeks via de kraan of douche wordt verbruikt. Het vlees om te eten, jeans om te dragen en koffie om te drinken noemen we indirect water en is de voornaamste oorzaak dat de dagelijkse consumptie zo hoog ligt. In België wordt het totale volume water dat wordt verbruikt voor 75% geïmporteerd. Hierdoor is België zeer afhankelijk van de watervoorraad in andere landen (Beernaert, 2020).

Ondanks dat het beschikbare zoetwater op aarde vrijwel constant blijft, stijgt de druk op de watervoorraden. De klimaatverandering, bevolkingsstijging en de toenemende consumptie per persoon hebben een grote impact en voert de druk geleidelijk aan op (Beernaert, 2020).

Door het opvangen van hemelwater kunnen ondernemingen hun verbruik van direct water drastisch verminderen. Als praktijkvoorbeeld is er gekozen om Colruyt Group als voorbeeld te nemen, omdat zij zich volop inzetten voor circulair waterbeheer (Colruyt, 2022).

Colruyt Group

Colruyt Group wil tegen 2025 de helft van haar totale waterverbruik halen uit hemel- en afvalwater. Om dit mogelijk te maken opteren ze voor een nullozing van hemelwater naar de riolering en minimaliseren ze het gebruik van direct water. Colruyt Group gaat in al haar winkels, productiesites, distributiecentra en kantoorruimtes acties ondernemen om haar doelstellingen waar te maken (Colruyt, 2022).

In haar winkels wordt het hemelwater opgevangen en opgeslagen. Hierdoor kan het worden ingezet voor de beplanting en sanitair. Deze doeleinden zijn goed voor 18% van het waterverbruik van de Colruyt winkels (Colruyt, 2022). Ook in het distributiecentrum van Colruyt wordt het hemelwater opgevangen en wordt het water naast sanitair, ook gebruikt voor de koelinstallaties (Colruyt, 2022). Het opvangen van hemelwater gaat gepaard met een lagere waterfactuur en houdt eveneens het grondwater op peil.

Het distributiecentrum en de vleesverwerking van Colruyt zijn samen verantwoordelijk voor 50% van het totale waterverbruik van de Colruyt Group. Met een biologische zuiveringsinstallatie zuiveren ze het afvalwater van hun vleesverwerkende activiteiten (Colruyt, 2022). Het drinkwaterstation zorgt ervoor dat een deel van het gezuiverd afvalwater wordt omgezet naar drinkwater. Dit water stroomt rechtstreeks door naar de productie site en wordt opnieuw ingezet als direct water (Colruyt, 2022). Met buffers op daken vangt Colruyt Group water op waarvan ook een deel met behulp van de PURA-installatie wordt gezuiverd tot drinkwater (Colruyt, 2022).

De circulaire visie van Colruyt Group op waterbeheer heeft hun in 2021 in staat gesteld om 101.943m³ te recyclen en 7.732m³ om te zetten tot drinkwater (Colruyt, 2022).

Door de uitgestrektheid van luchthavens is er veel potentieel om regenwater op te vangen. Daarnaast is het ook mogelijk om met behulp van een zuiveringsinstallatie en drinkwaterstation het afvalwater van de luchthaven te verwerken tot drinkwater. Door een combinatie van deze twee mogelijkheden kan een luchthaven de vraag naar direct water drastisch verminderen. Dit heeft een positieve impact op het grondwaterpeil en de kosten.

4. C-indicatoren voor projecten op luchthavens

4.1. Waarom is er nood aan C-indicatoren?

Beleidsmakers van over de hele wereld ervaren een dringende behoefte aan effectieve meetinstrumenten waarmee de voortgang naar een circulaire economie kan worden gemeten en beoordeeld. Deze meetinstrumenten worden circulaire indicatoren, ook wel bekend als C-indicatoren, genoemd (Saidani et al., 2018). In dit onderdeel van de thesis wordt er geopteerd om de evaluatie van circulaire projecten te vereenvoudigen.

Wanneer individuen, bedrijven en overheden in staat zijn om hun impact te kwantificeren en doelen te definiëren, zullen ze worden gestimuleerd om circulaire projecten tot stand te brengen. Om een circulaire economie meetbaar te maken zal er worden gebruik gemaakt van C-indicatoren. Deze kunnen beleidsmakers ondersteunen in hun besluitvorming voor eventueel nieuwe investeringen. Door C-indicatoren te gebruiken als KPI voor projecten kunnen die op een gestructureerde manier worden opgevolgd en weet men waar er eventuele verbeteringen mogelijk zijn (Saidani et al., 2018).

Aangezien er op dit moment nog geen eenduidige definitie is voor een circulaire economie en er nog veel onduidelijkheid is omtrent het concept, is het meten ervan niet evident. Ondanks de complexiteit zijn er de laatste jaren veel C-indicatoren ontwikkeld (Saidani et al., 2018). Om een juist gebruik van de C-indicatoren te garanderen, is het van belang dat er een goed begrip is van wat er wordt gemeten. Alle C-indicatoren hebben één gemeenschappelijk referentiepunt, namelijk een lineaire economie (Moraga et al., 2019). Vanaf het referentiepunt starten de metingen en ontstaat er een zeer brede waaier aan C-indicatoren die allemaal verschillende aspecten van een circulaire economie kwantificeren.

In geen enkel geval zijn alle C-indicatoren nuttig voor één circulair project. Door het toenemende aantal C-indicatoren wordt het voor beleidsmakers steeds moeilijker om de juiste te selecteren.

4.2. Wat is een goede C-indicator?

Vooraleer de betreffende C-indicatoren worden geselecteerd, is het belangrijk om te weten wat een goede C-indicator is. In Figuur 5 worden de kenmerken hiervan beschreven volgens Gabrielsen en Bosch (2003). Kort samengevat moeten deze gebaseerd zijn op statistieken en worden ze gemeten vanaf een vooraf bepaald referentiepunt. Daarnaast moeten ze ook representatief en vergelijkbaar zijn zodat de beleidsmakers in staat zijn om ze te interpreteren en op basis daarvan beslissingen kunnen nemen.

Een indicator die op een degelijke manier een vereenvoudigde werkelijkheid communiceert, moet

- aansluiten bij de belangstelling van de doelgroep;
- aantrekkelijk en toegankelijk zijn;
- gemakkelijk te interpreteren zijn;
- uitnodigen tot actie (verder lezen, onderzoeken, vragen stellen, iets doen)
- representatief zijn voor de kwestie of het gebied in kwestie;
- ontwikkelingen tonen over een relevant tijdsinterval (een periode waarin veranderingen kunnen worden weergegeven);
- gaan met een referentiewaarde voor het vergelijken van veranderingen in de tijd;
- gepaard gaan met een verklaring van de oorzaken achter de trends;
- vergelijkbaar zijn met andere indicatoren die soortgelijke gebieden, sectoren of activiteiten beschrijven
- wetenschappelijk goed onderbouwd zijn; en
- gebaseerd zijn op degelijke statistieken.

Figuur 5: Kenmerken van een goede C-indicator

4.3. Selectie C-indicatoren

Zoals eerder werd aangegeven zijn er de laatste jaren zeer veel C-indicatoren ontwikkeld. In de literatuur zijn verscheidene papers te vinden waar een uitgebreide set van C-indicatoren is opgesteld. Een voorbeeld hiervan is het artikel van Parchomenko et al. (2019) waarin 63 indicatoren worden opgelijst. Wanneer de lijst C-indicatoren van Parchomenko et al. (2019) vergeleken wordt met die van Rossi et al. (2020) zijn er twee opmerkelijke aspecten. Ten eerste zijn de indicatoren die worden voorgesteld in beide papers nagenoeg identiek. Ten tweede is er een duidelijke trend zichtbaar. De indicatoren trachten allemaal in zekere mate een effect op het milieu te meten.

Voor bedrijven is het niet altijd evident om het effect van circulaire projecten te kwantificeren. Om dit in de praktijk toe te passen is er specifieke kennis vereist en moet er data beschikbaar zijn. In het onderzoek van Rizos et al. (2015) worden de zes voornaamste moeilijkheden voor kmo's bij het toepassen van circulaire projecten aangehaald.

1. Milieu cultuur (Visie over een "groene onderneming")
2. Financiële barrière
3. Gebrek aan overheidssteun en doeltreffende wetgeving
4. Gebrek aan informatie
5. Administratieve lasten
6. Gebrek aan technische vaardigheden

Deze belemmeringen zorgen ervoor dat C-indicatoren in de praktijk nog niet altijd worden toegepast.

Om de toepasbaarheid te vergroten is er gezocht naar een sterk vereenvoudigde manier om de milieu-impact van circulaire projecten te kwantificeren. Omdat de milieu-impact van circulaire projecten zeer uiteenlopende resultaten teweeg kan brengen is het vergelijken van projecten niet altijd mogelijk. Om dit op te lossen zal er bij deze vereenvoudiging niet zozeer gekeken worden naar wat de impact is, maar naar hoe groot de impact is.

Eenvoudige evaluatie circulaire projecten

Het voorstel dat in deze thesis wordt uitgewerkt luidt als volgt:

Een circulair project kan op verschillende factoren een invloed hebben. Enkele voorbeelden hiervan zijn de *recycling rates*, *food waste inventory* en CO₂-reductie. Ongeacht op welke factor het project een invloed heeft, wordt dankzij de milieu-impact indicator enkel de grootte van reductie in beschreven. De situatie voor de implementatie dient hierbij als referentiepunt. Indien het project in overweging wordt genomen, kan er slechts een schatting van de impact gebeuren. Pas wanneer de implementatie van het project heeft plaats gevonden kan de effectieve impact gemeten worden. Omdat de impact van de projecten aan de hand van de milieu-impact indicator in procentpunten wordt uitgedrukt, zijn projecten makkelijk vergelijkbaar.

Milieu-impact	
1% - 5%	Zeer laag
5% - 10%	Laag
10% - 15%	Eerder laag
15% - 20%	Matig
20% - en hoger	Hoog

Figuur 6: Milieu-impact indicator

De milieu-impact indicator gaat van 0% tot en met 100%. Zoals (Figuur 6) toont zijn er vijf categorieën waarbij '20% - en hoger' de hoogste categorie is. Projecten die geen of een negatieve impact hebben zouden volgens de milieu-impact indicator best niet geïmplementeerd worden.

Als tweede indicator is er gekozen voor één factor die maar al te vaak een bepalend is in het al dan niet toepassen van circulaire projecten, namelijk de kosten (De Jesus & Mendonça, 2018). Om weloverwogen beslissingen te kunnen maken omtrent het circulair beleid zijn de twee indicatoren die in dit voorstel worden beschreven van cruciaal belang.

Echter, mogen de twee indicatoren niet los van elkaar worden bekeken. De kostprijs van een project moet eerder relatief worden bekeken. Hierdoor geeft de kosten indicator niet zomaar de kostprijs van een project weer, maar staat het in verband met de gerealiseerde milieu-impact. Om dit mogelijk te maken wordt er gebruik gemaakt van een eenvoudige calculator (Figuur 7).

Aan de hand van het eenvoudig rekenvoorbeeld dat in (Figuur 7) wordt getoond zal het functioneren van de calculator worden toegelicht. In de calculator moet een referentiebudget worden ingegeven waar de kostprijs van het project tegen zal worden afgewogen. Het resultaat wordt uitgedrukt in procent, waarbij een laag percentage overeenkomt met een relatief lage kost.

Calculator	
Referentie	€ 2.500.000,00
Milieu-impact	3,50%
Kosten	€ 1.500.000,00
%	17%

Figuur 7: Calculator

De kostprijs en milieu-impact hebben beiden een invloed op het kostenpercentage. Een project met een hoge milieu-impact en lage kosten zal dus het laagste percentage bekomen.

Stel dat een luchthaven €2.500.000 als referentiebudget neemt voor de implementatie van een circulair project. De effectieve kostprijs bedraagt €1.500.000 en het project heeft een positieve milieu-impact van 3,50%. Dan dienen deze gegevens als input voor de calculator. Vervolgens zal de calculator aan de hand van twee berekeningen het percentage berekenen.

- $€1.500.000 / (3,5\% * 100) = €428.571,43$
- $€428.571,43 / €2.500.000 * 100 = 17,14\%$

Zoals eerder beschreven zorgt deze calculator ervoor dat projecten die een hoge positieve milieu-impact hebben een relatief lagere kostprijs krijgen. Hierdoor worden de kosten op een representatieve manier weergegeven met betrekking tot de milieu-impact. In het voorbeeld van Figuur 7 is er een kostprijs van 17% wat overeenkomt met matig (Figuur 8).

Kostprijs indicator	
1% - 5%	Zeer laag
5% - 10%	Laag
10% - 15%	Eerder laag
15% - 20%	Matig
20% - en hoger	Hoog

Figuur 8: Kosten indicator

Een belangrijke kanttekening die moet worden gemaakt is dat de referentieprijs een grote impact heeft op het kostenpercentage. Hierdoor is het van belang dat de referentieprijs weloverwogen wordt bepaald. De bepaling kan gebeuren op basis van het beschikbare budget, gemiddelde kostprijs van verschillende projecten of de kostprijs van een alternatieve investering.

Kritische bedenking

Hoewel een vereenvoudiging tot twee C-indicatoren veelbelovend lijkt is het niet in elke situatie toepasbaar. De vereenvoudiging is handig wanneer er verschillende circulaire projecten met elkaar vergeleken moeten worden. Dit zal voor de beleidsmakers dan ook een handige tool zijn die de besluitvorming bevordert. Wanneer er meer specifiek moet ingegaan worden op welke impact circulaire projecten hebben zal er toch weer nood zijn aan een bredere set C-indicatoren. Toch blijkt het ook hier nuttig te zijn om in zekere mate te standaardiseren, zodat bijvoorbeeld projecten in één bepaalde sector wel dezelfde C-indicatoren gebruikt. Dit is dan ook wat Vlaanderen Circulair (2023b) tracht te doen met een uitgebreide set C-indicatoren onderverdeeld in verschillende categorieën.

5. Milieu-impact van circulaire projecten

Ondanks het grote aanbod aan papers waar circulaire economie centraal staat is het voor beleidsmakers niet simpel om de effectieve impact van circulaire projecten in te schatten. De praktijkvoorbeelden blijven vaak eerder op de oppervlakte en spreken over 'een grote kosten reductie' of 'een aanzienlijke positieve impact op het milieu'. Hierdoor is diepgaande informatie eerder beperkt beschikbaar en tasten beleidsmakers vaak in het duister.

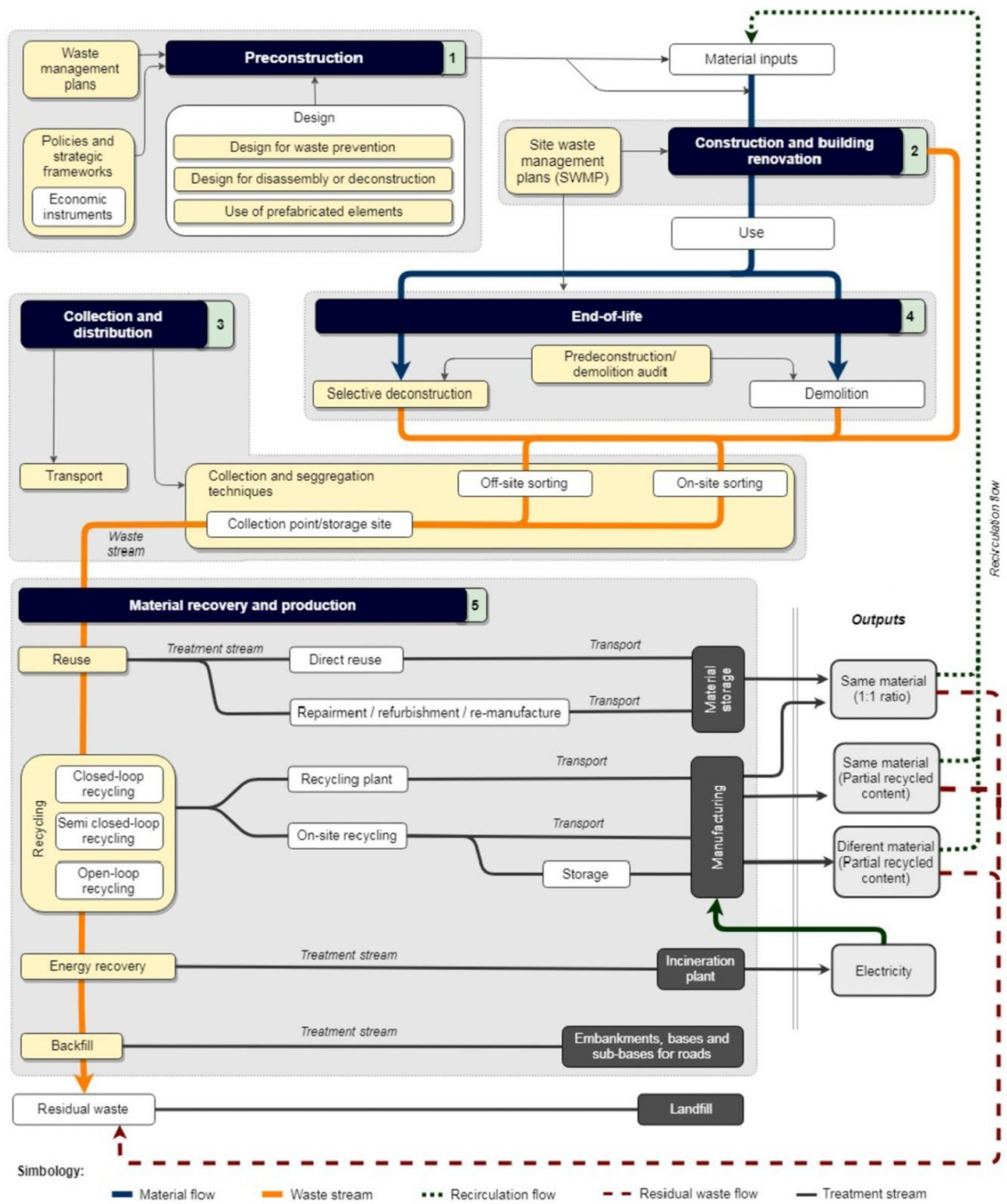
Deze sectie tracht de derde onderzoeksvraag te beantwoorden en heeft als doel inzichten te verschaffen in de milieu-impact die circulaire projecten kunnen hebben. Er is reeds aangegeven dat alle zes de sectoren waarin circulaire economie goed toepasbaar is betrekking hebben op de activiteiten van een luchthaventerminal. Om de effectieve milieu-impact van een circulair project te onderzoeken is er dieper ingegaan op één bepaalde sector die prominent aanwezig is, namelijk de bouwsector. Meer specifiek zal de milieu-impact van circulair beton onderzocht worden. Dit onderzoek is gebeurd door middel van een literatuurstudie.

5.1. Recycleren van bouw- en sloopafval in beton

Wereldwijd is het reduceren van BSA een belangrijk aandachtspunt. De enorme stroom BSA wordt momenteel slecht beheerd en slechts een fractie ervan wordt gebruikt voor nieuwe doeleinden (López Ruiz et al., 2020). Door de beperkte recyclage wordt er in het productieproces voornamelijk gebruik gemaakt van nieuwe natuurlijke grondstoffen. Deze situatie zorgt voor ernstige milieueffecten, zoals de aanzienlijke CO₂ uitstoot die gepaard gaat met de productie van cement (Serres et al., 2016).

Het concept van circulaire economie toepassen op BSA heeft potentieel door het efficiënter gebruik van hulpbronnen en energie (López Ruiz et al., 2020). Om een duidelijk beeld te scheppen van welke acties er plaatsvinden in een circulaire economie van BSA heeft López Ruiz et al. (2020) een theoretisch model ontwikkeld (Figuur 9). Vervolgens is er gekozen om de paper van Serres et al. (2016) als leidraad te gebruiken, omdat het een kwaliteitsvolle paper is waarin drie betonnen stalen worden vergeleken. De stalen bestaan uit 20mm traditioneel beton, gerecycleerd beton en gemixt beton, wat een mix is van gerecycleerde en nieuwe grondstoffen.

Tot op heden wordt er veel geëxperimenteerd met gerecycleerd beton om de toepasbaarheid te onderzoeken. Uit onderzoeken van Debieb et al. (2010) en Marinković et al. (2010) blijkt dat de effectieve toepasbaarheid discutabel is. Er gaan echter verschillende neveneffecten gepaard met het gebruik van gerecycleerd beton. Enkele voorbeelden hiervan zijn een lagere duurzaamheid, hoge waterabsorptie, porositeit en corrosie (Debieb et al., 2010).



Figuur 9: Theoretisch model voor CE-implementatie in de BSA-sector

Milieu-evaluatie

In de wetenschappelijke literatuur zijn er studies te vinden die beweren dat gerecycleerd beton geen of zelfs een negatieve impact heeft op het milieu. Echter, Knoeri et al. (2013) heeft in zijn onderzoek het tegendeel bewezen. Deze studie toont aan dat gerecycleerd beton de milieu-impact met 30% kan laten dalen. Een belangrijke kanttekening hierbij is dat de nevenactiviteiten zoals transport in beschouwing worden genomen. Om een gerecycleerd beton aggregaat te produceren met dezelfde kenmerken als traditioneel beton is er volgens Marinković et al. (2010) 5% meer cement nodig. De samenstelling van de gebruikte stalen in Serres et al. (2016) worden getoond in Tabel 3. Wat opvalt is dat de hoeveelheid cement in deze stalen een constante is. Daarnaast is er tijdens de productie voor gezorgd dat de drie stalen dezelfde sterkte hebben. Na een periode van 162 dagen hadden deze een sterkte van 52MPa (Serres et al., 2016). In het verdere verloop van de milieu-evaluatie zal het traditionele beton als referentie beton gebruikt worden.

20-mm concrete samples (size of the grain: 20 mm)										
Concrete	Nomenclature	Natural sand ^a	Recycled sand ^a	Natural coarse gravel ^a	Recycled coarse gravel ^a	Natural fine gravel ^a	Recycled fine gravel ^a	Cement (CEM I)	Total water	Admixture ^b
		0/4 mm kg/m ³	0/6.3 mm	8/16 mm	13/20 mm	4/8 mm	6.5/13 mm			
Traditional	TC	685	0	1065	0	111	0	350	194	Without
Mixed	MC	759	0	0	852	0	115	350	180	2.6
Recycled	RC	0	769	0	424	0	442	350	165	10.5

Tabel 3: Samenstelling 20-mm stalen

Om de effectieve milieu-impact van de stalen te bekomen, is het noodzakelijk dat alle gebruikte grondstoffen hierin worden opgenomen. Denk hierbij aan grondstoffen en de energie die als input dient, maar ook de bijhorende neveneffecten zoals lucht-, water- en bodemvervuiling (Serres et al., 2016).

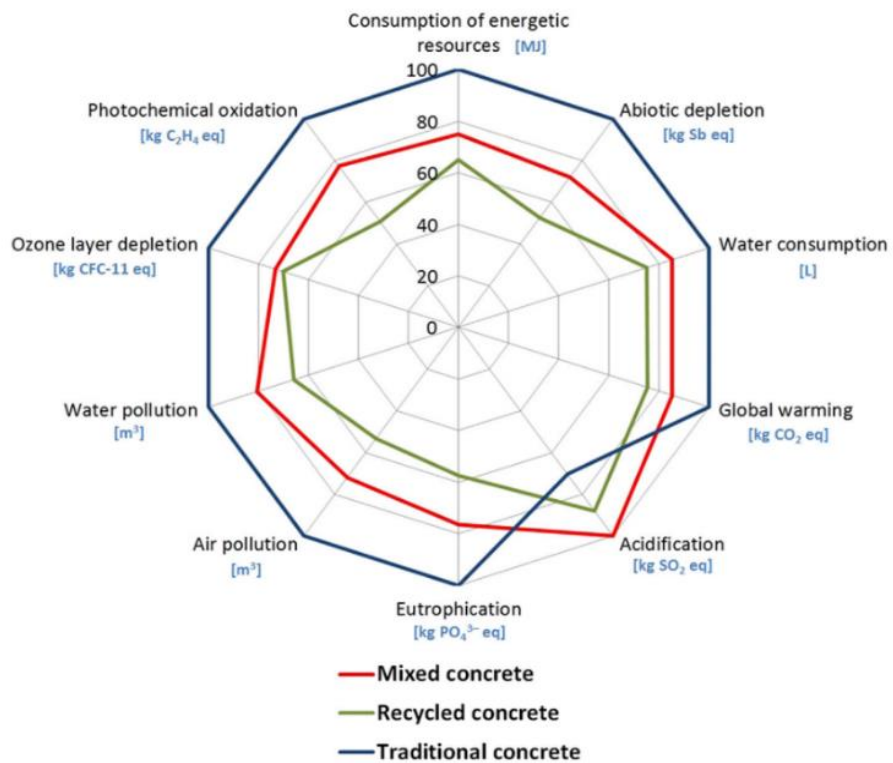
Met behulp van een levenscyclusanalyse is Serres et al. (2016) erin geslaagd om de milieu-impact van de drie 20-mm beton stalen te beoordelen. Om een vergelijking met andere stalen mogelijk te maken wordt er gebruik gemaakt van de Europese norm (EN) 15804. Deze EN wordt gebruikt om het milieueffect van bouwmaterialen te beoordelen (Van Gulck et al., 2022).

Impact categories	Unit	Mixed concrete MC	Recycled concrete RC	Traditional concrete TC
Consumption of energetic resources	10 ³ MJ	1.60	1.39	2.14
Abiotic depletion	kg Sb eq	1.19	0.87	1.64
Water consumption	10 ⁵ L	6.67	5.85	7.80
Global warming	10 ² kg CO ₂ eq	3.79	3.35	4.44
Acidification	kg SO ₂ eq	1.08	1.22	0.86
Eutrophication	kg PO ₄ ³⁻ eq	0.17	0.13	0.22
Air pollution	10 ⁵ m ³	5.41	4.02	7.53
Water pollution	10 ³ m ³	2.72	2.22	3.38
Ozone layer depletion	10 ⁻⁵ kg CFC-11 eq	2.10	2.01	2.87
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄ eq	0.10	0.07	0.13

Tabel 4: Milieu-impact indicatoren 20-mm stalen (EN15804) (±50MPa na 162 dagen)

In Tabel 4 is duidelijk zichtbaar dat RC zeer goede resultaten heeft in vergelijking met het referentie staal TC. Op 9 van de 10 categorieën blinkt RC uit tegenover TC. De verschillen tussen RC en MC zijn kleiner, maar ook hier scoort RC op 9 van de 10 categorieën het best. Wat opvalt is dat TC op één aspect beter presteert dan MC en RC, en dat in de categorie verzuring. Dit is waarschijnlijk te wijten aan de weekmaker die wordt toegevoegd aan de MC en RC (Serres et al., 2016).

In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** worden de milieu-indicatoren in procent met elkaar vergeleken. De verschillen tussen de drie stalen zijn opmerkelijk. Ondanks dat de productie van MC en RC meer bewerkingen vergt is de reductie aanzienlijk (Serres et al., 2016).



Figuur 10: Milieu-impact indicatoren 20-mm stalen (%) (EN15804)

				Aggregate production	Cement production	Concrete production	Transport
Global warming	Kg CO2 eq	MC	3,79	0,06	3,52	0,05	0,16
		RC	3,35	0,05	3,15	0,05	0,11
		TC	4,44	0,06	4,08	0,06	0,24
Consumption of energetic resources	MJ	MC	1,6	0,14	1,27	0,02	0,17
		RC	1,39	0,09	1,20	0,01	0,09
		TC	2,14	0,13	1,66	0,02	0,33
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	MC	2,1	0,03	1,72	0,01	0,33
		RC	2,01	0,02	1,82	0,01	0,16
		TC	2,87	0,13	2,05	0,02	0,67

Tabel 5: Bijdrage van elke fase aan de drie voornaamste impact categorieën.

In Tabel 5 worden de drie stalen getoond die zijn gebruikt in het onderzoek van Serres et al. (2016). De tabel focust zich op de drie impact categorieën die ook worden beschreven in paragraaf 5.4. De milieu-impact van de stalen wordt zoals in Tabel 5 onderverdeeld in vier fases van het productie proces. Het is opvallend dat de cementproductie in elk staal verantwoordelijk is voor meer dan 70% van de uitstoot/verbruik. Het is duidelijk dat een milieuvriendelijker productieproces van cement of een reductie in het gebruik ervan de grootste impact heeft. Deze trend is dan ook zichtbaar wanneer er gebruik gemaakt wordt van gerecycleerd beton.

De positieve resultaten met betrekking tot transport zijn ook noemenswaardig. Deze reductie is waarschijnlijk te wijten aan het feit dat de materialen die worden hergebruikt meer lokaal worden ingekocht.

De bevindingen die in deze paragraaf worden beschreven, zijn gebaseerd op drie stalen met een unieke samenstelling zoals beschreven in Tabel 3 (Serres et al., 2016). Een andere samenstelling van de stalen kan leiden tot andere resultaten.

5.2. Recycleren van glasafval in beton

Dat de productie van cement en beton gepaard gaat met verscheidene negatieve factoren is reeds aangehaald in 0. Hetzelfde geldt voor de productie van glas dat grote hoeveelheden energie en grondstoffen verbruikt en broeikasgassen uitstoot (Jani & Hogland, 2014). Wanneer glas goed gesorteerd wordt, zou het technisch gezien oneindig veel keer kunnen worden gerecycleerd zonder dat het aan chemische en fysische eigenschappen moet inboeten. Ondanks deze opportuniteit werd er in Europa in 2008 slechts 60% van de 4,1 miljoen ton glasafval gerecycleerd (Jani & Hogland, 2014).

Omdat glasafval niet biologisch afbreekbaar is, zorgt het glasafval op stortplaatsen voor een serieuze lucht-, water- en grondvervuiling. Een mogelijke oplossing om de vervuiling die hierbij gepaard gaat tegen te gaan, bevindt zich in de bouwsector. Meer bepaald kan het glasafval als alternatieve grondstof dienen in de productie van cement en beton (Jani & Hogland, 2014). Uit onderzoek van Jani en Hogland (2014) is gebleken dat glas een vergelijkbare chemische samenstelling heeft als zand en cement.

In 2007 was de cement productie in de EU verantwoordelijk voor 4,1% van de CO₂ uitstoot. Bovendien wordt er verwacht dat de CO₂ uitstoot tegen 2030 nog eens met 50% zal stijgen door de stijgende vraag naar cement (Jani & Hogland, 2014). Een duurzame grondstof die er overigens voor zorgt dat de CO₂ uitstoot daalt is hierdoor meer dan welkom (Jani & Hogland, 2014).

Glasafval als aggregaat in de productie van beton

Tijdens de productie van beton wordt zand vrijwel altijd als aggregaat gebruikt. Echter, is gebleken dat de kenmerken van zand en glasafval veel gelijkenissen hebben. De fysieke eigenschappen van glasafval en zand worden getoond in Figuur 11. Wat hierbij opvalt is dat het absorptie percentage van glasafval slechts een fractie is van dat van zand (Jani & Hogland, 2014).

Physical property	Waste glass	Sand
Specific gravity	2.19	2.57
Density (kg/m ³)	1672	1688
Absorption (%)	0.39	2.71
Pozzolanic index (%)	80	–

Figuur 11: Fysieke kenmerken van glasafval en zand

Uit onderzoek van de Castro en de Brito (2013) blijkt dat het percentage glasafval en de deeltjesgrootte ervan een impact hebben op de alkali-silica reactie (ASR). De ASR kan leiden tot scheurvorming in het beton (Pan et al., 2012). Het toevoegen van glas als aggregaat kan dus een negatieve impact hebben op het beton.

Takata et al. (2004) heeft aangetoond dat de kans op ASR groter wordt als de deeltjesgrootte van het glasafval toeneemt. Daarnaast is gebleken dat de samenstelling van een aggregaat dat geen negatief effect heeft op ASR bestaat uit 20% glasafval met een maximum deeltjesgrootte van 1,18mm. Idir et al. (2010) gebruikt een aggregaat met deeltjes waarvan de gemiddelde grootte slechts 150µm (=0,15mm) is. Wanneer gebruik gemaakt wordt van deze grootte kan het gebruikte percentage glasafval worden verhoogd tot zo'n 40% zonder dat het een negatieve impact heeft op ASR (Idir et al., 2010).

Beton wordt in veel constructies gebruikt als belangrijkste grondstof voor het creëren van de nodige stevigheid. De mechanische eigenschappen van beton zijn hierdoor een belangrijke waardemeter. Om te besluiten of beton dat gedeeltelijk uit glasafval bestaat aan de nodige kwaliteitseisen voldoet, wordt de druk-, buig- en treksterkte nagegaan (Jani & Hogland, 2014).

De druksterkte van beton neemt toe naarmate het glasafval in het aggregaat toeneemt tot en met een hoeveelheid van 20%. Wanneer het aggregaat voor meer dan 20% uit glasafval bestaat neemt de druksterkte af (Jani & Hogland, 2014). Indien de hoeveelheid glasafval wordt verhoogd tot 60% neemt de druksterkte af met 49%. Daarnaast toont het onderzoek van Idir et al. (2010) aan dat de druksterkte van beton verhoogt, wanneer de deeltjesgrootte verkleint.

Een soortgelijke tendens is zichtbaar bij de buig- en treksterkte. We kunnen over het algemeen stellen dat de mechanische eigenschappen van beton verbeteren wanneer het aggregaat uit maximaal 20% glasafval bestaat. Wanneer de hoeveelheid glasafval in het aggregaat wordt verhoogd, verminderen de mechanische eigenschappen. Wat de effectieve invloed van de deeltjesgrootte op de mechanische eigenschappen van beton is, is op dit moment nog onduidelijk (Jani & Hogland, 2014).

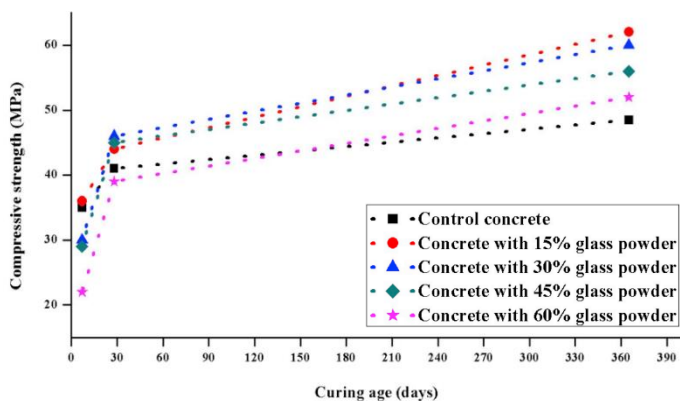
Glasafval als gedeeltelijke vervanging van cement

Het onderzoek van Shao et al. (2000) had als doel het effect van de deeltjesgrootte op eigenschappen van het beton te onderzoeken. In het onderzoek is gebruik gemaakt van drie betonnen stalen waarbij de toevoeging van cement voor 30% vervangen is door het toevoegen van glasafval. Het glasafval dat aan de drie stalen is toegevoegd heeft elk een verschillende deeltjesgrootte, namelijk 150 μm , 75 μm en 38 μm .

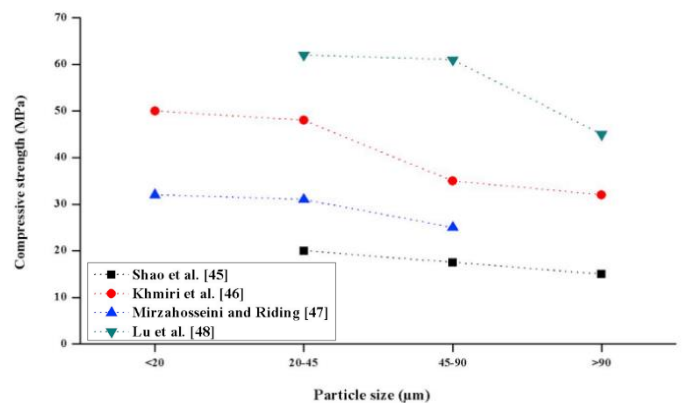
De resultaten die voortvloeien uit het onderzoek van Shao et al. (2000) komen overeen met de bevindingen uit het onderzoek van Jani en Hogland (2014), waar glasafval als aggregaat wordt gebruikt in de productie van beton. Dit houdt in dat de mechanische eigenschappen van beton met een gedeeltelijke vervanging van cement verbeteren wanneer de deeltjesgrootte afneemt (Shao et al., 2000). Dit blijkt ook uit de gegevens van Khan et al. (2020) die in Figuur 13 worden getoond.

Een ander aandachtspunt is het percentage cement dat vervangen kan worden door glasafval. In het onderzoek van Schwarz et al. (2008) zijn drie stalen onderzocht waarbij 5%, 10% en 20% glasafval is gebruikt als vervanging voor cement. Op basis van de druksterkte blijkt dat een gedeeltelijke vervanging van 10% het beste presteert. Echter is de druksterkte van het beton met glasafval lager dan dat van beton zonder glasafval (Schwarz et al., 2008).

De resultaten die uit de studie van Khan et al., (2020) blijken, worden in Figuur 12 en Figuur 13 getoond. In Figuur 12 wordt de druksterkte van stalen met een verschillende hoeveelheid glaspoeder na 360 dagen met elkaar vergeleken. Wat opvalt is dat het referentie staal de laagste druksterkte heeft. Daarnaast valt het op dat hoe hoger het percentage glaspoeder wordt des te lager de druksterkte wordt.



Figuur 12: Evolutie van de druksterkte van betonnen stalen doorheen de tijd



Figuur 13: Effect van de deeltjesgrootte in beton op de druksterkte

Tot slot hebben Shao et al. (2000) en Schwarz et al. (2008) aangetoond dat een kleinere deeltjesgrootte en een hogere hoeveelheid glasafval een positieve impact hebben op de ASR expansie van beton.

Milieu evaluatie

In Tabel 6 wordt conventioneel beton vergeleken met beton dat geproduceerd is met behulp van glaspoeder. Ieder type beton heeft drie stalen met elk een verschillende druksterkte. De data komt voort uit het onderzoek van Jiang et al. (2014) waarin een vergelijkende LCA studie werd uitgevoerd. De categorieën in Tabel 6 zijn eveneens gedefinieerd in de Europese norm 15804 die gebruikt wordt om de milieuprestatie van bouwproducten te evalueren (Van Gulck et al., 2022). Ter vereenvoudiging worden in deze thesis enkel de stalen van 35 MPa vergeleken.

Als er globaal naar de data gekeken wordt valt het meteen op dat het staal met glaspoeder in iedere categorie een lagere waarde heeft dan het conventioneel beton. Indien er aan elke categorie hetzelfde gewicht (belang) wordt toegekend zou de milieu-impact dalen met 21,15%. Dit betekent dat wanneer er glas verwerkt wordt in het beton er een significant lagere milieu-impact is (Jiang et al., 2014).

Indien er gefocust wordt op de C-indicatoren global warming, energy demand, water use en ozone depletion dan is er een daling van respectievelijk 21,42%, 23,53%, 18,18% en 30% (Jiang et al., 2014).

Life-cycle environmental impact	Strength	Conv concrete ^a			GP concrete ^a (GP = glass powder)		
		20 MPa	30 MPa	35 MPa	20 MPa	30 MPa	35 MPa
Global warming	kgCO ₂ eq	230 (180–280)	290 (220–350)	340 (270–410)	220 (170–270)	260 (200–310)	280 (220–340)
Cumulative energy demand	MJ	1,400 (1,200–1,700)	1,800 (1,400–2,100)	2,100 (1,600–2,500)	1,400 (1,100–1,700)	1,600 (1,300–2,000)	1,700 (1,400–2,100)
Water use	m ³	9.9 (7.8–12)	12 (9.0–14)	13 (10–16)	9.8 (7.7–11)	11 (8.3–13)	11 (8.7–13)
Acidification	H ⁺ moles eq	40 (19–66)	48 (23–81)	57 (27–94)	40 (19–65)	45 (22–74)	49 (24–79)
Carcinogenic	kg benzene eq	2.4 (0.13–7.0)	3.0 (0.16–8.7)	3.6 (0.20–10)	2.3 (0.13–6.6)	2.7 (0.15–7.8)	3.0 (0.16–8.3)
Noncarcinogenic	kg toluene eq	3,600 (530–8,000)	4,500 (630–9,900)	5,400 (710–12,000)	3,500 (520–7,500)	4,100 (570–8,900)	4,300 (590–9,500)
Respiratory effects	kg PM2.5 eq	0.094 (0.031–0.14)	0.11 (0.036–0.18)	0.13 (0.041–0.21)	0.091 (0.031–0.14)	0.10 (0.033–0.16)	0.11 (0.035–0.17)
Eutrophication	kg N eq	0.034 (0.024–0.047)	0.042 (0.029–0.057)	0.048 (0.033–0.066)	0.034 (0.024–0.046)	0.038 (0.026–0.052)	0.040 (0.028–0.055)
Ozone depletion	10 ⁻⁶ kg CFC-11 eq	9.0 (3.4–23)	11 (4.2–29)	13 (4.9–34)	8.4 (3.3–22)	9.7 (3.8–26)	10 (4.0–27)
Ecotoxicity	kg2,4-D eq	52 (11–120)	63 (12–150)	73 (12–180)	49 (11–120)	56 (11–140)	58 (11–140)
Smog	kg NO _x eq	0.56 (0.31–0.86)	0.68 (0.38–1.0)	0.78 (0.44–1.2)	0.55 (0.30–0.83)	0.62 (0.35–0.94)	0.66 (0.38–0.99)

Tabel 6: LCA van 1m³ Conv en GP beton met een druksterkte van 35 MPa (na 28 dagen)

5.3. Recycleren van plastic afval in beton

Het onderzoek van Ersan et al. (2022) tracht de milieu-impact van lichtgewicht beton (LWC) te onderzoeken wanneer de natuurlijke toeslagstoffen worden vervangen door gerecycleerd plastic. LWC is een variant van traditioneel beton, maar waarbij het grind vervangen wordt door lichtere toeslagstoffen zoals perliet of schuimbeton. Hierdoor wordt het meestal gebruikt bij toepassingen waarbij het gewicht van belang is. Echter, is LWC over het algemeen minder sterk dan traditioneel beton, waardoor het meestal gebruikt wordt bij constructies waar de isolerende werking van belang is, zoals daken en vloeren (Mo et al., 2016).

Het onderzoek van Ersan et al. (2022) maakt een vergelijking tussen twee stalen met een grootte van 1m³. Het referentiestaal dat gebruikt wordt is een traditionele LWC mix. Daartegenover werd een LWC-mix gezet waarbij 20% van het cement werd vervangen door vliegias en 30% van de grove natuurlijke aggregaten werd vervangen door gerecycleerd plastic (RWP) (Tabel 7). De milieu-impact van de twee stalen werd vergeleken aan de hand van een LCA (Ersan et al., 2022).

Components	Conventional LWC (kg/m ³)	Green LWC (kg/m ³)
Portland cement	437	350
Water	287	287
Fine aggregate (<4 mm)	238	238
Coarse aggregate (4–8 mm)	205	136
Coarse aggregate (8–16 mm)	238	170
Fly ash	0	87
RWP (polyethylene)	0	136
Total	1405	1404

Tabel 7: LWC-samenstelling (hoeveelheden voor 1m³)

Mix	Compressive strength (MPa)	
	7 days	28 days
Conventional LWC	9.3 ± 0.3	12.0 ± 0.4
Green LWC	7.0 ± 0.1	9.3 ± 0.3

Tabel 8: Druksterkte van de twee LWC stalen

In Tabel 8 wordt de gemiddelde druksterkte met standaardafwijking van de twee LWC stalen weergegeven. Hieruit blijkt dat de druksterkte na 28 dagen met 29% en 33% zijn gestegen voor traditioneel LWC en groene LWC, respectievelijk (Ersan et al., 2022). De lagere druksterkte van groene LWC is te wijten aan de lagere sterkte en de zwakkere binding van de plastic deeltjes als aggregaat (Ersan et al., 2022).

Het verlies van druksterkte door het gedeeltelijk vervangen van de natuurlijke toeslagstoffen in deze studie bedraagt 22% na 28 dagen (Ersan et al., 2022). Deze bevinding ligt significant lager dan eerdere studies die rapporteerde over het verlies in druksterkte door het vervangen van aggregaten met plastic. Het onderzoek van Saikia en De Brito (2014) rapporteerde een daling in de sterkte van 60% wanneer 15% van de natuurlijke toeslagstoffen werd vervangen door plastic afval.

Impact category	Unit	Conventional LWC	Green LWC
Abiotic depletion	kg Sb eq	1.87E-04	1.49E-04
Global warming	kg CO ₂ eq	423	366
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	1.352E-05	1.143E-05
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0.525	0.479
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄ eq	0.038	0.037
Acidification	kg SO ₂ eq	0.957	0.923
Eutrophication	kg PO ₄ — eq	0.226	0.266

Tabel 9: LCA van traditionele en groene LWC

In Tabel 9 worden de resultaten van de LCA, die uitgevoerd zijn op de twee stalen LWC weergegeven. De resultaten geven duidelijk aan dat groene LWC een significant lagere milieu-impact heeft dan traditioneel LWC. Op zes van de zeven impact categorieën scoort groene LWC beter dan de traditionele LWC. Enkel op eutrofiëring scoort het traditioneel beton beter. Global warming ondergaat een reductie van 13% wat overigens de grootste reductie is. Deze daling is te wijten aan de 20% reductie in het gebruik van cement dat voor het grootste aandeel van de CO₂ uitstoot verantwoordelijk is (Ersan et al., 2022).

Hoewel het toevoegen van plastic afval aan beton de nood aan natuurlijke aggregaten verminderd, vereist het plastic-recyclageproces veel energie. Dit proces zorgt bijgevolg voor een lichte toename van de milieu-impact. Andere stalen waar enkel vliegwas werd toegevoegd als alternatieve grondstof had in vergelijking met groene LWC staal uit het onderzoek van Ersan et al. (2022) een lagere milieu-impact. Anderzijds is plastic tot op heden een onvermijdbaar afvalproduct waarvan de verwijdering nog steeds een probleem blijft. De mogelijkheid om plastic afval in LWC te verwerken is een opportuniteit om de hoeveelheid plastic afval en de milieu-impact van LWC te verminderen (Ersan et al., 2022).

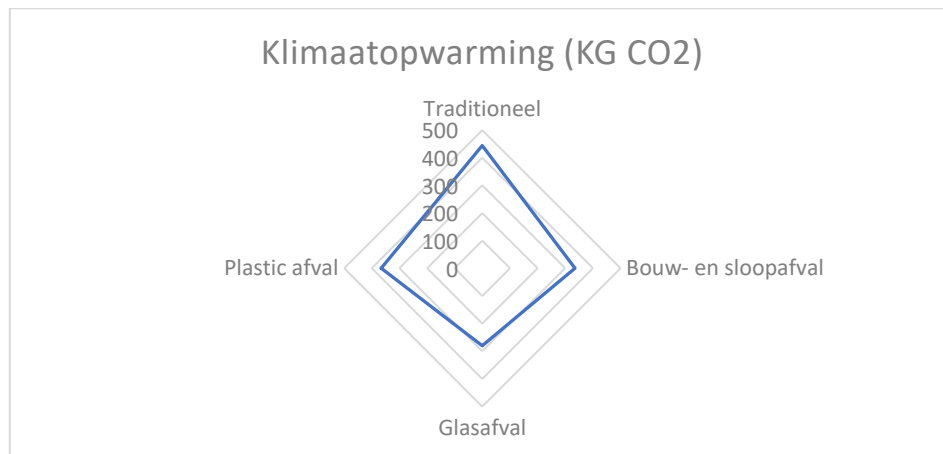
5.4. Vergelijking van de milieu-impact

In deze sectie zullen de LCA resultaten van de drie soorten circulair beton met elkaar en met het referentiestaal van Serres et al. (2016) vergeleken worden. Dit zal gebeuren op basis van de volgende drie impact categorieën:

- Klimaatopwarming
- Energie verbruik
- Afbraak van de ozonlaag

Er is gekozen om de resultaten van deze thesis te bespreken aan de hand van deze drie impact categorieën, omdat ze beschreven zijn in de EN 15804. Deze EN is wereldwijd geaccepteerd, waardoor de gebruikte impact categorieën voor beleidsmakers geen onbekende zijn.

Klimaatopwarming



Figuur 14: Vergelijking van de resultaten: Klimaatopwarming

De eerste impact categorie betreft de klimaatopwarming. Het referentiestaal dat bestaat uit een traditionele samenstelling met Portland cement (Tabel 3) kent een CO₂ uitstoot van 444 Kg per m³. Tegenover het referentiestaal hebben de drie circulaire stalen een lagere CO₂ uitstoot. Volgens de milieu-impact indicator in Figuur 6 is de milieu-impact hoog indien die groter is dan 20%. Er kan dus geconcludeerd worden dat het gebruik van BSA en glasafval leidt tot een hoge reductie van de CO₂ uitstoot.

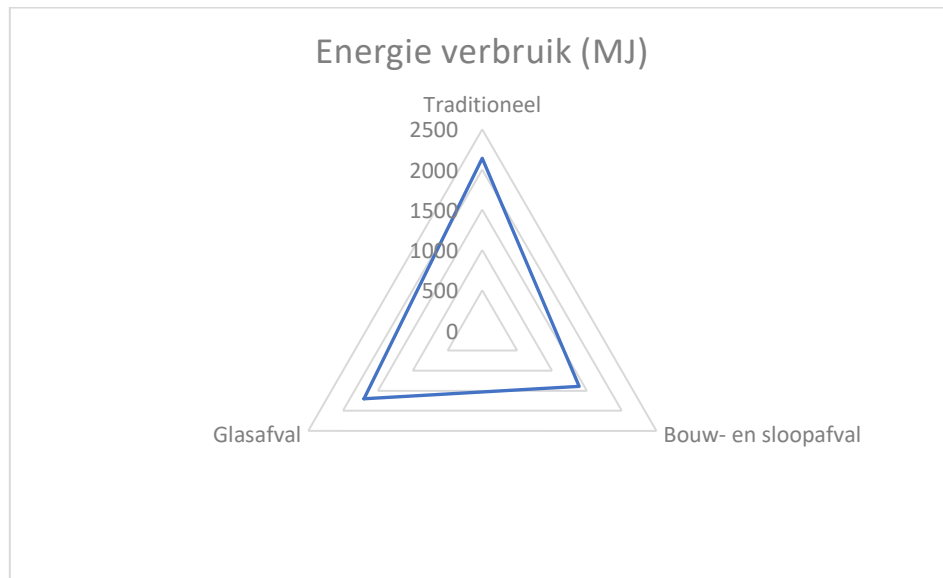
Staal	Klimaatopwarming		
	(KG CO2)	Vershil	%
Traditioneel	444	0	0%
Bouw- en sloopafval	335	-109	-25%
Glasafval	280	-164	-37%
Plastic afval	366	-78	-18%

Tabel 10: Vergelijking van de resultaten: Klimaatopwarming

De voornaamste reden van de hoge reductie is de lagere hoeveelheid cement die in het circulair beton vereist is. Dit is goed zichtbaar in de hoge reductie van het staal beton met glasafval. Het glasafval is in staat om te dienen als gedeeltelijke vervanger van cement. Aangezien cement de voornaamste oorzaak is van de hoge CO₂ uitstoot, kan een gedeeltelijke vervanging door glasafval leiden tot een CO₂ reductie van 37%.

Een ander aandachtspunt is het recyclage proces van plastic afval, dat gepaard gaat met een relatief hoge CO₂ uitstoot. Dit verklaart waarom de reductie van plastic afval het laagst is. Toch is het gebruik van plastic afval in circulair beton waardevol, omdat het naast de reductie in CO₂ ook de hoeveelheid plastic afval verminderd.

Energie verbruik



Figuur 15: Vergelijking van de resultaten: Energie verbruik

Het Energie verbruik is niet opgenomen in de LCA van het staal met plastic afval. Hierdoor kunnen enkel de resultaten van de stalen met glas- en bouwafval vergeleken worden met het referentiestaal.

Staal	Energie verbruik		
	(MJ)	Verskil	%
Traditioneel	2140	0	0%
Bouw- en sloopafval	1390	-750	-35%
Glasafval	1700	-440	-21%
Plastic afval	?	/	/

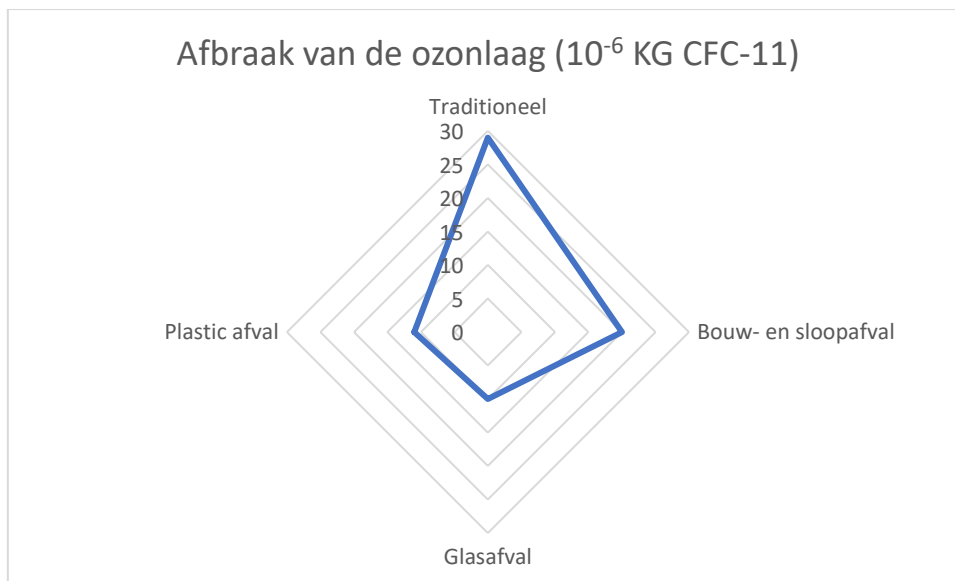
Het energie verbruik van het referentiestaal bedraagt 2140 MJ. Als dit vergeleken wordt met het staal waarin BSA werd verwerkt is er een reductie van 35% zichtbaar, wat overeenkomt met een daling van 750 MJ.

Tabel 11: Vergelijking van de resultaten: Energie verbruik

Het staal met glasafval kent een reductie van 440 MJ, wat het energie verbruik brengt op 1700 MJ. In vergelijking met het referentiestaal is dit een reductie van 21%. Volgens de milieu-impact indicator in Figuur 6 kennen beide stalen een hoge reductie.

Zoals blijkt uit Tabel 5 is de 35% reductie voor het staal met BSA te wijten aan minder transport en een efficiëntere productie of minder gebruik van cement. De reductie voor het staal met glasafval is waarschijnlijk aan dezelfde factoren toe te schrijven.

Afbraak van de ozonlaag



Figuur 16: Vergelijking van de resultaten: Afbraak van de ozonlaag

De laatste impact categorie die besproken wordt is de afbraak van de ozonlaag. Het traditioneel beton heeft een CFC-11 van $29 \cdot 10^{-6}$ Kg. Wat betreft de stalen met glas- en plastic afval is de CFC-11 met meer dan de helft afgenomen. De CFC-11 van het staal met glasafval bedraagt slechts $10 \cdot 10^{-6}$ Kg, wat een reductie is van 66%. Wat opvalt is dat de reductie voor het staal met BSA aanzienlijk minder is, maar volgens de milieu-impact indicator in Figuur 6 kennen alle drie de stalen toch een hoge reductie.

Staal	Afbraak van de ozonlaag		
	(10^{-6} KG CFC-11)	Verschil	%
Traditioneel	29	0	0%
Bouw- en sloopafval	20	-9	-31%
Glasafval	10	-19	-66%
Plastic afval	11	-18	-62%

Tabel 12: Vergelijking van de resultaten: Afbraak van de ozonlaag


6. Circulair beton op luchthavens

6.1. Mogelijke vormen van circulair beton

Beton is tegenwoordig onmogelijk weg te denken in de samenleving. In vrijwel elke constructie wordt er veelvuldig gebruik van gemaakt. De veelzijdigheid van beton zorgt er echter voor dat de toepassingen zeer uiteenlopend zijn. Luchthavens zijn hier geen uitzondering in, waardoor de toepassingen van beton prominent aanwezig zijn. In het kader van het Stargate project van de Europese Commissie wordt er onderzocht welke mogelijkheden er zijn om de circulariteit van luchthavens te verhogen. In deze thesis zijn drie mogelijke manieren om circulair beton te produceren onderzocht. Dit houdt in dat er als alternatief voor natuurlijke toeslagstoffen gebruik gemaakt wordt van afvalstromen.

Het spreekt voor zich dat een afwijking in de samenstelling van beton en het toevoegen van gerecycleerd afval een invloed heeft op de mechanische eigenschappen. Uit de literatuurstudie van deze thesis is gebleken dat vrijwel elk staal circulair beton verschillende mechanische eigenschappen heeft. Of het toevoegen van gerecycleerd afval aan beton een significante invloed heeft op de mechanische eigenschappen moet blijken uit verdere studies.

Enkele voorbeelden van circulair beton worden in onderstaande afbeeldingen getoond.

Zelfverdichtend beton	Betonstraatsteen
	
Moduleblokken	Architectonisch beton
	

6.2. Toepassingen van circulair beton op luchthavens

Volgens het onderzoek in deze thesis kent de toepasbaarheid van circulair beton op luchthavens geen beperkingen. Aan vrijwel alle vraag naar beton op de luchthavens kan er voldaan worden met een circulaire mix. Echter, is het van groot belang dat er grondig bepaald wordt of de mechanische eigenschappen van de betreffende mix voldoen aan de eisen. De grote toepasbaarheid van circulair beton is te wijten aan de verschillende toestanden, vormen en soorten waarin het verkrijgbaar is.

Herinner u de 9R-strategieën die in Figuur 3 getoond worden. Volgens deze strategieën start de evolutie naar circulaire luchthavens met het vermijden en verminderen van het beton gebruik. De focus in deze thesis sluit eerder aan bij de 'repurpose' strategie waarbij grondstoffen van afgedankte producten worden gebruikt in een nieuw product met al dan niet een andere functie.

Belangrijk om aan te geven is dat circulair beton gemiddeld 10% duurder is dan traditioneel beton. Echter, gaat een groot deel van de markt tegenwoordig nog steeds voor de goedkoopste optie. Om circulaire toepassingen op luchthavens te realiseren is het van belang dat beleidsmakers een transitieplan hebben, een kosten-baten analyse maken tussen verschillende toepassingen en er budget voor vrij maken.

Onderstaande zal er dieper worden ingegaan op het effectieve gebruik van circulair beton:

Zelfverdichtend beton

Zelfverdichtend beton is een variant van beton die in vloeibare vorm wordt gebruikt. Het voordeel van deze variant is dat het zichzelf gelijkmatig en moeiteloos verspreidt, zonder dat er extra kracht nodig is om het te verdichten. Hierdoor biedt het de mogelijkheid om complexe vormen en constructies te maken met behulp van een bekisting. Daarnaast is zelfverdichtend beton uitermate geschikt voor constructies die veel wapening vereisen zoals funderingen en vloeren. Dit komt omdat ook de kleine ruimtes tussen het staal door het zelfverdichtend beton worden opgevuld.

Voor de toepassing van zelfverdichtend beton op luchthavens moet er gestreefd worden naar een minder frequente, maar doelgerichte inzet. Door het selectief in te zetten bij de bouw of renovatie van infrastructuur, kan men profiteren van de veelzijdigheid, terwijl het gebruik van grondstoffen geminimaliseerd wordt. Toch is het belangrijk om de specifieke behoeften van elk project te beoordelen en de toepasbaarheid van zelfverdichtend beton met circulaire grondstoffen te bepalen. Dit kan gebeuren op basis van factoren zoals de complexiteit van de constructie, de verwachte belasting en de duurzaamheidseisen.

Betonstraatsteen

In de directe omgeving van luchthavens is over het algemeen het merendeel van de grond verhard. Dit komt omdat er op een beperkte ruimte een grote behoefte is aan infrastructuur. Om de bodem te verharderen wordt er naast asfalt ook regelmatig gebruik gemaakt van betonnen straatstenen. Plaatsen waar betonnen straatstenen gebruikt kunnen worden zijn: wegen, parkings, voetpaden en buitenruimtes.

Ondanks dat overmatige bodemverharding onwenselijk is, is het niet altijd te vermijden. Om het grondwaterpeil op peil te houden is het hierdoor belangrijk om de infiltreerbaarheid en permeabiliteit van de betreffende straatstenen na te gaan. Idealiter wordt er bij de verharding op luchthavens gebruik gemaakt van circulaire straatstenen die ook voldoende infiltrerend zijn.

Moduleblokken

In een dynamische en snel veranderende omgeving zoals luchthavens zijn circulaire moduleblokken een waardevolle troef. Dankzij hun flexibiliteit en herbruikbaarheid bieden ze de ideale oplossing voor het creëren van tijdelijke constructies en inrichtingen, zoals parkeerplaatsen en blokkades. Hun veelzijdigheid stelt gebruikers in staat om snel en efficiënt in te spelen op de behoeften van luchthavens. De moduleblokken kunnen keer op keer gebruikt worden en dankzij hun circulaire eigenschappen is de impact op het milieu minimaal.

Architectonisch beton

Architectonisch beton wordt voornamelijk toegepast in de interieurinrichting van gebouwen. Op luchthavens kan het bijvoorbeeld gebruikt worden als vloer- en wandbekleding. Toch kan het ook gebruikt worden om het exterieur van gebouwen te verfraaien. Tegenwoordig worden gebouwen regelmatig met betonnen gevelementen bedekt die ook circulair kunnen zijn.

Door het gebruik van architectonisch beton waarin materialen zoals glas en plastic zijn verwerkt, kunnen afvalstoffen worden hergebruikt, terwijl het gebruik van natuurlijke grondstoffen wordt verminderd. Tijdens de ontwerpfase moet er reeds rekening mee gehouden worden dat tegels of gevelementen demonteerbaar zijn. Door ze na gebruik ergens anders opnieuw te installeren wordt de levensduur ervan gemaximaliseerd.

7. Conclusie en kritische reflectie

7.1. Conclusie

In deze thesis is er gezocht naar een antwoord op de vraag: 'Welke acties kan een luchthaven ondernemen om circulair te worden?' Om een gegrond en volledig antwoord te kunnen formuleren is er in de grijze literatuur gezocht naar een brede set van circulaire toepassingen. Vervolgens is er een literatuurstudie uitgevoerd waar er dieper is ingegaan op de milieu-impact van verschillende soorten circulair beton.

Circulaire economie is aan een sterke opmars bezig. Internationale, nationale en regionale overheden zijn volop bezig met het opstellen van transitieplannen om de overgang van een lineaire- naar circulaire economie te versnellen. Het Visie 2050 plan van de Vlaamse regering is hier een voorbeeld van. Wanneer er gekeken wordt naar circulaire praktijkvoorbeelden valt het op dat een grote meerderheid van deze projecten ook toepasbaar is op luchthavens. Dit is te wijten aan de grote variëteit aan activiteiten op een luchthaven die op te delen zijn in zes sectoren.

Wanneer de praktijkvoorbeelden gekoppeld worden aan de 9R-strategieën uit Figuur 3, valt het op dat deze vooral in de categorie vallen die tracht de levensduur van de producten en haar componenten te verlengen. Dit is niet onverwacht, omdat projecten omtrent de strategieën refuse en rethink moeilijk meetbaar zijn en niets tastbaar realiseren. Dit maakt het complexer om projectmatig deze strategieën toe te passen.

In de literatuurstudie is er gekozen om meer specifiek in te gaan op één sector waarvan de milieu-impact onderzocht wordt. Omdat circulaire economie in de bouwsector misschien wel de grootste impact kan hebben is er gekozen om te focussen op de grootste vervuiler in deze sector, namelijk beton. In het onderzoek zijn drie stalen beton waar in elk staal een andere afvalstroom is verwerkt met elkaar vergeleken. De resultaten van de LCA's blijken zeer positief. Elk circulair staal kent een lagere milieu-impact dan het referentiestaal. Wanneer de gemiddelde daling over de drie impact categorieën heen wordt bekeken kent BSA een daling van 30%, glas een daling van 41% en plastic een daling van 40%. Echter, vergt het produceren van circulair beton extra activiteiten die bij de productie van traditioneel beton niet nodig zijn. Deze nevenactiviteiten beperken in zekere mate de daling van de milieu-impact.

Hoewel de effectieve toepasbaarheid van circulair beton afhankelijk is van de vereiste mechanische eigenschappen, blijkt dat voor de meest frequente toepassingen van beton een circulaire oplossing mogelijk is. Denk hierbij aan zelfverdichtend beton en betonstraatsteen.

7.2. Kritische beschouwing

Bij de analyse van de praktijkvoorbeelden valt het op dat, ondanks de inspanningen van Vlaanderen Circulair, de buurlanden Nederland en Duitsland veel verder gevorderd zijn in de implementatie van circulaire economie. Op dit moment bestaat er geen Belgisch equivalent voor de vele circulaire projecten die in Nederland plaatsvinden. Om de circulaire samenleving die de Vlaamse regering in Visie 2050 voor ogen heeft te verwezenlijken, moet Vlaanderen Circulair de overgang naar circulariteit versnellen.

Een belangrijke kanttekening die in deze thesis moet worden benoemd, is dat elk staal van circulair beton een unieke samenstelling heeft. Het opnieuw samenstellen van stalen met al dan niet dezelfde samenstelling kan leiden tot verschillen in de milieu-impact van de LCA.

Hoewel de thesis aangeeft dat circulair beton toepasbaar is, moet er voorlopig nog voorzichtig mee worden omgegaan. Alvorens circulair beton in de praktijk wordt gebruikt, is het cruciaal om de mechanische eigenschappen grondig te controleren. Dit is noodzakelijk om ervoor te zorgen dat aan de eisen van de betreffende constructie wordt voldaan.

Tot slot moet worden opgemerkt dat het financiële kader waarbinnen de toepassingen van circulair beton zich bevinden slechts beperkt is behandeld. Over het algemeen kan worden gesteld dat circulaire projecten de nodige investeringen vereisen of hogere kosten met zich meebrengen. Als aanbeveling voor verder onderzoek zou naast de milieu-impact ook de financiële-impact van circulaire economie onderzocht moeten worden.

8. Bibliografie

- ABN AMRO. (2022). *Circl - clubhuis voor circulaire koplopers*. Retrieved 18/11/2022 from <https://www.abnamro.com/nl/over-abn-amro/product/circl-clubhuis-voor-circulaire-koplopers>
- ADN. (2017). Jaarlijks wordt er in ons land 3,6 miljoen ton eten verspild. Retrieved 6/12/2022, from <https://www.demorgen.be/nieuws/jaarlijks-wordt-er-in-ons-land-3-6-miljoen-ton-eten-verspild~b421e39d/>
- Apeel. (2022). *How Apeel works*. Retrieved 4/12/2022 from <https://www.apeel.com/how-apeel-works>
- Armstrong, C. W. S. (2022). *Circulaire producten*. Retrieved 19/11/2022 from <https://www.armstrongworldindustries.com/en-us/sustainability/sustainable-products/circular-products.html>
- ARUP. (2022). *Circular Buildings Toolkit*. Retrieved 17/11/2022 from <https://ce-toolkit.dhub.arup.com/framework>
- ATAG. (2022). *Circular economy*. Retrieved 7/12/2022 from <https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/circular-economy/>
- Beernaert, L. (2020). U verbruikt veel meer water dan u denkt. <https://www.demorgen.be/nieuws/u-verbruikt-veel-meer-water-dan-u-denkt~b7f30549/#:~:text=De%20gemiddelde%20watervoetafdruk%20van%20de,watervootafdruk%20van%20de%20gemiddelde%20Belg.>
- Bio4Pack. (2022). *Een duurzame toekomst begint bij Bio4Pack*. Retrieved 6/12/2022 from <https://www.bio4pack.com/nl/producten/>
- BrainScape. (2022). *Your partner in recycling*. Retrieved 22/11/2022 from <https://www.brainscape.eu/en>
- Caiado, R. G. G., de Freitas Dias, R., Mattos, L. V., Quelhas, O. L. G., & Leal Filho, W. (2017). Towards sustainable development through the perspective of eco-efficiency-A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 165, 890-904.
- CBR. (2023). *Alternatieve grondstoffen*. Retrieved 23/04/2023 from <https://www.cbr.be/nld/alternatieve-grondstoffen>
- Circl. (2022). *De totstandkoming van Circ*. Circl. Retrieved 18/11/2022 from <https://circl.nl/themakingof/en/>
- Circulair, V. (2023). <https://bouwen.vlaanderen-circulair.be/src/Frontend/Files/userfiles/files/Vlaanderen%20Circulair%20whitepaper%20circulair%20bouwen.pdf>
- Circulairstaal. (2022). *Circulairstaal*. Retrieved 19/11/2022 from <https://circulairstaal.nl/wij-zijn-circulairstaal.html>
- Clique, D. (2022). *Benieuwd wat wij van deze grondstoffen maken?* Retrieved 4/12/2022 from <https://declique.nl/productpagina-grondstoffen/>
- Colruyt, G. (2022). *Hergebruik van afval- en regenwater*. Retrieved 7/12/2022 from <https://www.colruytgroup.com/nl/duurzaam-ondernemen/initiatieven/circulair-waterbeheer>
- De Angelis, R. (2020). Circular economy: Laying the foundations for conceptual and theoretical development in management studies. *Management Decision*.
- de Castro, S., & de Brito, J. (2013). Evaluation of the durability of concrete made with crushed glass aggregates. *Journal of Cleaner Production*, 41, 7-14.
- De Jesus, A., & Mendonça, S. (2018). Lost in transition? Drivers and barriers in the eco-innovation road to the circular economy. *Ecological economics*, 145, 75-89.
- Debieb, F., Courard, L., Kenai, S., & Degeimbre, R. (2010). Mechanical and durability properties of concrete using contaminated recycled aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 32(6), 421-426.
- Deloitte. (2021). *De Europese luchtvaart van de toekomst*. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/nl/Documents/consumer-business/deloitte-nl-future-of-mobility-europe-future-aviation-landscape-summary-dutch.pdf>
- Devni, A., Richard, B., & Olivia, F. (2018). *FROM PRINCIPLES TO PRACTICES: FIRST STEPS TOWARDS A CIRCULAR BUILT ENVIRONMENT*. E. M. Foundation. <https://ellenmacarthurfoundation.org/articles/first-steps-towards-a-circular-built-environment>
- Early, C. (2020). *HP and Sintronics join forces to close the loop on e-waste in Brazil*. Retrieved 22/11/2022 from <https://www.reutersevents.com/sustainability/hp-and-sintronics-join-forces-close-loop-e-waste-brazil>

- Ellen MacArthur, F. (2020). *10 circular investment opportunities for a low-carbon and prosperous recovery*. E. M. Foundation. <https://ellenmacarthurfoundation.org/covid-policymakers>
- Ellen MacArthur, F. (2022a). *Artificial intelligence for recycling: AMP Robotics*. Retrieved 7/12/2022 from <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-examples/artificial-intelligence-for-recycling-amp-robotics>
- Ellen MacArthur, F. (2022b). *Circular Buildings Toolkit*. Retrieved 17/11/2022 from <https://ellenmacarthurfoundation.org/articles/circular-buildings-toolkit>
- Ellen MacArthur, F. (2022c). *Circular Buildings Toolkit launched*. Retrieved 17/11/2022 from <https://ellenmacarthurfoundation.org/news/circular-buildings-toolkit-launched>
- Ellen MacArthur, F. (2022d). *A circular economy for food will help people and nature thrive*. Retrieved 6/12/2022 from <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/food/overview>
- Ellen MacArthur, F. (2022e). *Creating a reverse logistics ecosystem: HP Brazil & Sinctronics*. Retrieved 22/11/2022 from <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-examples/creating-a-reverse-logistics-ecosystem>
- Ellen MacArthur, F. (2022f). *Designing out plastic pollution*. Retrieved 7/12/2022 from https://bb.uhasselt.be/ultra/courses/_12803_1/cl/outline
- Ellen MacArthur, F. (2022g). *Making new products from urban organic waste streams: De Clique*. Retrieved 4/12/2022 from <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-examples/de-clique>
- Ellen MacArthur, F. (2022h). *What is a circular economy?* Retrieved 13/10/2022 from <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>
- Ellen MacArthur, F. (2022i). *Why buy light bulbs when you can buy light? Signify*. Retrieved 22/11/2022 from <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-examples/why-buy-light-bulbs-when-you-can-buy-light-signify>
- Ellen MacArthur, F. (2022j). *Working with nature to make food last longer: Apeel*. Retrieved 4/12/2022 from <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-examples/apeel>
- Emde, S., Abedinnia, H., Lange, A., & Glock, C. H. (2020). Scheduling personnel for the build-up of unit load devices at an air cargo terminal with limited space. *OR Spectrum*, 42(2), 397-426. <https://doi.org/10.1007/s00291-020-00580-2>
- Ersan, Y. C., Gulcimen, S., Imis, T. N., Saygin, O., & Uzal, N. (2022). Life cycle assessment of lightweight concrete containing recycled plastics and fly ash. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 26(7), 2722-2735.
- FOD, M. e. V. (2021). *Statistische gegevens van de luchthavens*. Retrieved 11/10/2022 from https://mobilit.belgium.be/nl/luchtvaart/luchthavens_en_luchtvaartterreinen/statistieken
- FOD, M. e. V. (2022). *Milieu*. Retrieved 12/10/2022 from <https://mobilit.belgium.be/nl/luchtvaart/milieu>
- Gabrielsen, P., & Bosch, P. (2003). Environmental indicators: typology and use in reporting. *EEA, Copenhagen*.
- GAIA, C. (2022). *GAIA Retourlogistiek*. Retrieved 4/12/2022 from <https://www.gaiacirculair.com/werkwijze/gaia--retourlogistiek.html>
- Gerritsen, P. (2022). *Bio4Pack – Rijststro verpakkingen*. CIRCO. Retrieved 6/12/2022 from <https://www.circonl.nl/case/bio4pack-rijststro-verpakkingen/>
- Gravagnuolo, A., Angrisano, M., & Fusco Girard, L. (2019). Circular economy strategies in eight historic port cities: Criteria and indicators towards a circular city assessment framework. *Sustainability*, 11(13), 3512.
- Groep, R. (2021, 1/11/2021). *Circulair beton*. Planbureau voor de leefomgeving. Retrieved 23/04/2023 from <https://themasites.pbl.nl/o/circulariteit-in-de-bouw/rutte-groep/>
- Guglielmo, C., & Nitesh, M. *CIRCULAR BUSINESS MODELS FOR THE BUILT ENVIRONMENT*. E. M. Foundation. <https://emf.thirdlight.com/link/xes8zli8r33k-thd85r/@/preview/1?o>
- Huhtala, A. (2015). Circular economy: a commentary from the perspectives of the natural and social sciences.
- Idir, R., Cyr, M., & Tagnit-Hamou, A. (2010). Use of fine glass as ASR inhibitor in glass aggregate mortars. *Construction and Building Materials*, 24(7), 1309-1312.
- Jablanski, D., & Strother, N. (2021). *Connected Lighting and Light as a Service in Manufacturing*
- Jani, Y., & Hogland, W. (2014). Waste glass in the production of cement and concrete—A review. *Journal of environmental chemical engineering*, 2(3), 1767-1775.
- Jiang, M., Chen, X., Rajabipour, F., & Hendrickson, C. T. (2014). Comparative life cycle assessment of conventional, glass powder, and alkali-activated slag concrete and mortar. *Journal of Infrastructure Systems*, 20(4), 04014020.
- Kallio, H., Pietila, A. M., Johnson, M., & Kangasniemi, M. (2016). Systematic methodological review: developing a framework for a qualitative semi-structured interview guide. *Journal of Advanced Nursing*, 72(12), 2954-2965. <https://doi.org/10.1111/jan.13031>

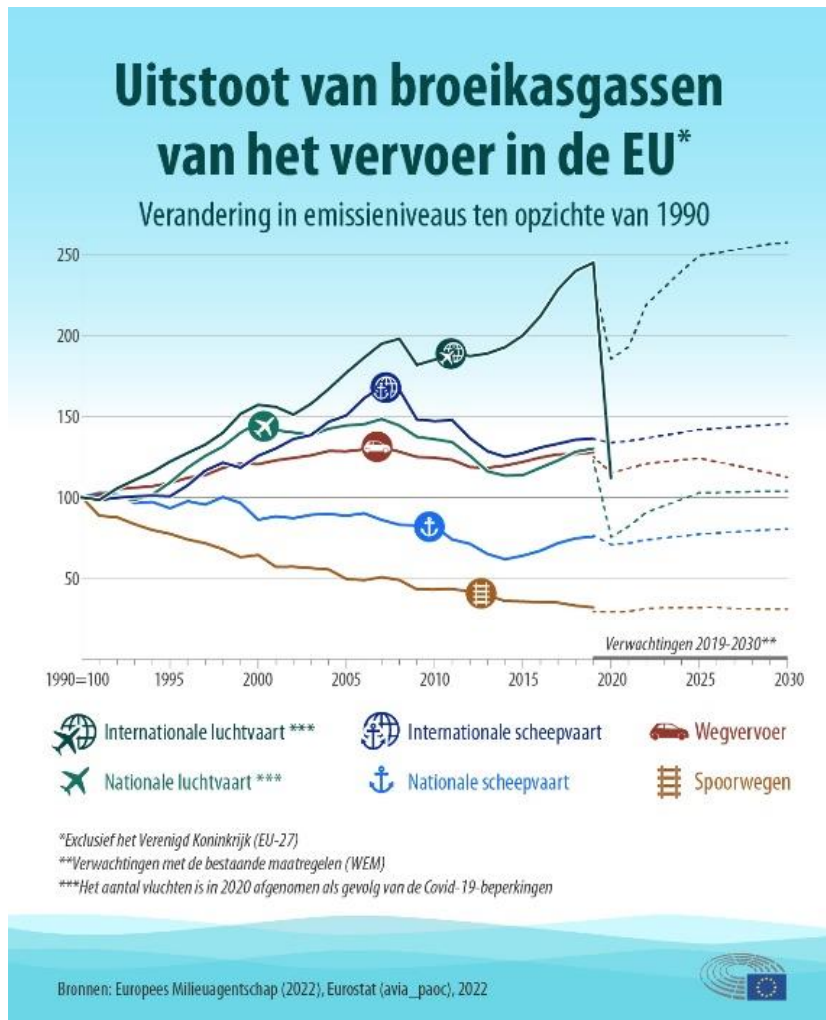
- Khan, M. N. N., Saha, A. K., & Sarker, P. K. (2020). Reuse of waste glass as a supplementary binder and aggregate for sustainable cement-based construction materials: A review. *Journal of Building Engineering*, 28, 101052. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101052>
- Knoeri, C., Sanyé-Mengual, E., & Althaus, H.-J. (2013). Comparative LCA of recycled and conventional concrete for structural applications. *The international journal of life cycle assessment*, 18(5), 909-918.
- Kou, S. C., & Poon, C. S. (2009). Properties of self-compacting concrete prepared with recycled glass aggregate. *Cement and Concrete Composites*, 31(2), 107-113.
- La, J., & Heiets, I. (2021). The impact of digitalization and intelligentization on air transportation system. *Aviation*, 25(3), 159-170. <https://doi.org/https://doi.org/10.3846/aviation.2021.15336>
- Lakatos, E. S., Yong, G., Szilagyi, A., Clinci, D. S., Georgescu, L., Iticescu, C., & Cioca, L.-I. (2021). Conceptualizing core aspects on circular economy in cities. *Sustainability*, 13(14), 7549.
- Lam, C. S., Poon, C. S., & Chan, D. (2007). Enhancing the performance of pre-cast concrete blocks by incorporating waste glass-ASR consideration. *Cement and Concrete Composites*, 29(8), 616-625.
- Lee, D. S., Fahey, D. W., Skowron, A., Allen, M. R., Burkhardt, U., Chen, Q., Doherty, S. J., Freeman, S., Forster, P. M., Fuglestvedt, J., Gettelman, A., De Leon, R. R., Lim, L. L., Lund, M. T., Millar, R. J., Owen, B., Penner, J. E., Pitari, G., Prather, M. J., . . . Wilcox, L. J. (2021). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*, 244, Article 117834. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834>
- Lehner, M., Mont, O., & Heiskanen, E. (2016). Nudging-A promising tool for sustainable consumption behaviour? *Journal of Cleaner Production*, 134, 166-177.
- Ling, T.-C., Poon, C.-S., & Wong, H.-W. (2013). Management and recycling of waste glass in concrete products: Current situations in Hong Kong. *Resources, conservation and recycling*, 70, 25-31.
- Loop, a. I. (2022). *Ons circulaire productieproces*. Retrieved 6/12/2022 from <https://loopalife.com/nl-be/pages/ons-circulaire-productieproces-1>
- Looptworks. (2022). *Our solutions*. Retrieved 6/12/2022 from <https://www.looptworks.com/pages/partner-with-looptworks>
- López Ruiz, L. A., Roca Ramón, X., & Gassó Domingo, S. (2020). The circular economy in the construction and demolition waste sector – A review and an integrative model approach. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119238. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119238>
- Makers, C. C. (2022). *Circulair ondernemen met de 9R-strategieën*. Retrieved 27/10/2022 from <https://circularcompanymakers.nl/circulair-ondernemen-9r-strategieen/>
- Marinković, S., Radonjanin, V., Malešev, M., & Ignjatović, I. (2010). Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete. *Waste management*, 30(11), 2255-2264.
- Maťová, H., Kaputa, V., & Triznová, M. (2019). Responsible Consumer in the context of Circular Economy. 12th Woodema Annual International Scientific Conference-Digitisation and Circular Economy: Forestry and Forestry Based Industry Implications,
- Mo, K. H., Alengaram, U. J., & Jumaat, M. Z. (2016). Bond properties of lightweight concrete—a review. *Construction and Building Materials*, 112, 478-496.
- Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blengini, G. A., Alaerts, L., Van Acker, K., de Meester, S., & Dewulf, J. (2019). Circular economy indicators: What do they measure? *Resources, conservation and recycling*, 146, 452-461. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.045>
- Odumuyiwa, V., Adelopo, A., & Nubi, A. (2021). *Circular economy in Africa: examples and opportunities ELECTRONICS AND E-WASTE*. <https://emf.thirdlight.com/link/z1fp0exz31i0-gpq8bm/@/#id=0>
- Omgevingspsycholoog, D. (2016, 31/05/2016). *Wat is nudging en hoe pakken we het aan?* Retrieved 7/12/2022 from <https://www.omgevingspsycholoog.nl/nudging/>
- Pan, J., Feng, Y., Wang, J., Sun, Q., Zhang, C., & Owen, D. (2012). Modeling of alkali-silica reaction in concrete: a review. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 6, 1-18.
- Parchomenko, A., Nelen, D., Gillabel, J., & Rechberger, H. (2019). Measuring the circular economy- A Multiple Correspondence Analysis of 63 metrics. *Journal of Cleaner Production*, 210, 200-216.
- Parlement, E. (2015, 22/02/2023). *Circulaire economie: definitie, belang en voordelen*. Retrieved 08/05/2023 from <https://www.europarl.europa.eu/news/nl/headlines/economy/20151201STO05603/circulaire-economie-definitie-belang-en-voordelen>

- Parlement, E. (2019, 14/06/2022). *Uitstoot van vliegtuigen en schepen: feiten en cijfers (infografiek)*. Retrieved 12/11/2022 from <https://www.europarl.europa.eu/news/nl/headlines/society/20191129STO67756/uitstoot-van-vliegtuigen-en-schepen-feiten-en-cijfers-infografiek>
- Paul, Polly, & Amie. (2021). *Mode en circulariteit: (hoe) gaat dat samen?* Retrieved 6/12/2022 from https://www.shoplikeyougiveadamn.nl/blogs/mode-en-circulariteit-hoe-gaat-dat-samen-/bl-358#de_macht_ligt_ook_bij_jou
- Poon, C. S., & Ling, T. (2010). Use of recycled glass in architectural mortars. *Wuhan Ligong Daxue Xuebao/Journal of Wuhan University of Technology*, 32(17).
- Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). Circular economy: measuring innovation in the product chain. *Planbureau voor de Leefomgeving*(2544).
- Protis, E. K. (2018). Delta partners with Looptworks to transform over 350k pounds of retired uniforms. <https://news.delta.com/delta-partners-looptworks-transform-over-350k-pounds-retired-uniforms>
- RECUP. (2022). *Eten en drinken om mee te nemen – zonder wegwerpafval*. Retrieved 6/12/2022 from <https://recup.de/>
- Rizos, V., Behrens, A., Kafyeke, T., Hirschnitz-Garbers, M., & Ioannou, A. (2015). The circular economy: Barriers and opportunities for SMEs. *CEPS Working Documents*.
- Rossi, E., Bertassini, A. C., dos Santos Ferreira, C., do Amaral, W. A. N., & Ometto, A. R. (2020). Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: Plastic, textile and electro-electronic cases. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119137.
- Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., Cluzel, F., & Kendall, A. (2018). A taxonomy of circular economy indicators. <https://go.exlibris.link/ypRIBDCv>
- Saikia, N., & De Brito, J. (2014). Mechanical properties and abrasion behaviour of concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate. *Construction and Building Materials*, 52, 236-244.
- Sakthivelmurugan, E., Senthilkumar, G., & Karthick, K. (2022). Analysis of the impact of circular economy over linear economy in the paper processing industry. *Materials Today: Proceedings*.
- Schwarz, N., Cam, H., & Neithalath, N. (2008). Influence of a fine glass powder on the durability characteristics of concrete and its comparison to fly ash. *Cement and Concrete Composites*, 30(6), 486-496.
- Sebastian, R., & Louis, J. (2021). Understanding waste management at airports: A study on current practices and challenges based on literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 147, 111229.
- Serres, N., Braymand, S., & Feugeas, F. (2016). Environmental evaluation of concrete made from recycled concrete aggregate implementing life cycle assessment. *Journal of Building Engineering*, 5, 24-33.
- Shao, Y., Lefort, T., Moras, S., & Rodriguez, D. (2000). Studies on concrete containing ground waste glass. *Cement and concrete research*, 30(1), 91-100.
- Schiphol Airport Amsterdam, (2019).
- Sparandara, L., Werner, M., Kaminsky, A., Finch, L., & Douglas, K. (2019). *ACCELERATING THE CIRCULAR ECONOMY THROUGH COMMERCIAL DECONSTRUCTION AND REUSE*. E. M. Foundation. <https://emf.thirdlight.com/link/v6qyhiosqs7-s9k2oe/@/preview/1?o>
- Takata, R., Sato, S., Nonaka, T., Ogata, H., & Hattori, K. (2004). Investigation on alkali-silica reaction utilizing waste glass in concrete and suppression effect by natural zeolite. 29th Conference on our world in concrete and structures,
- Tamanna, N., Sutan, N. M., Tuladhar, R., Lee, D. T. C., & Yakub, I. (2016). Pozzolanic properties of glass powder in cement paste. *Journal of Civil Engineering, Science and Technology*, 7(2), 75-81.
- Technology, C. C. (2023). *C2CA Technology*. Retrieved 08/05/2023 from <https://www.c2ca-technology.nl/about/>
- TGTG. (2022). *Klaar om voedsel te redden?* Retrieved 4/12/2022 from <https://toogoodtogo.be/nl-be/consumer>
- The Restart Project. (2019). *London's Electrical Sector A review of current activity in London and good practice across Europe to accelerate the circular economy in the electricals sector*. <https://relondon.gov.uk/wp-content/uploads/2021/03/LWARB-London-Electrical-report.pdf>
- Turgut, P., & Yahlizade, E. (2009). Research into concrete blocks with waste glass. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 3(3), 186-192.
- Van Gulck, L., Wastiels, L., & Steeman, M. (2022). How to evaluate circularity through an LCA study based on the standards EN 15804 and EN 15978. *The international journal of life cycle assessment*, 27(12), 1249-1266. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02099-w>

- Velenturf, A. P. M., & Purnell, P. (2021). Principles for a sustainable circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1437-1457. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.018>
- Vera, I., Bowman, M., & Mechielsen, F. (2022). *NO TIME TO WASTE*. <https://feedbackglobal.org/wp-content/uploads/2022/09/Feedback-EU-2022-No-Time-To-Waste-report.pdf>
- Vlaanderen. (2023a). *Alles over Vlaanderen circulair*. Retrieved 08/05/2023 from <https://www.vlaanderen-circulair.be/nl/over-ons>
- Vlaanderen. (2023b). *Indicatoren*. Retrieved 08/05/2023 from <https://cemonitor.be/indicator>
- Walker, S., Coleman, N., Hodgson, P., Collins, N., & Brimacombe, L. (2018). Evaluating the Environmental Dimension of Material Efficiency Strategies Relating to the Circular Economy. *Sustainability*, 10(3), 666. <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/3/666>

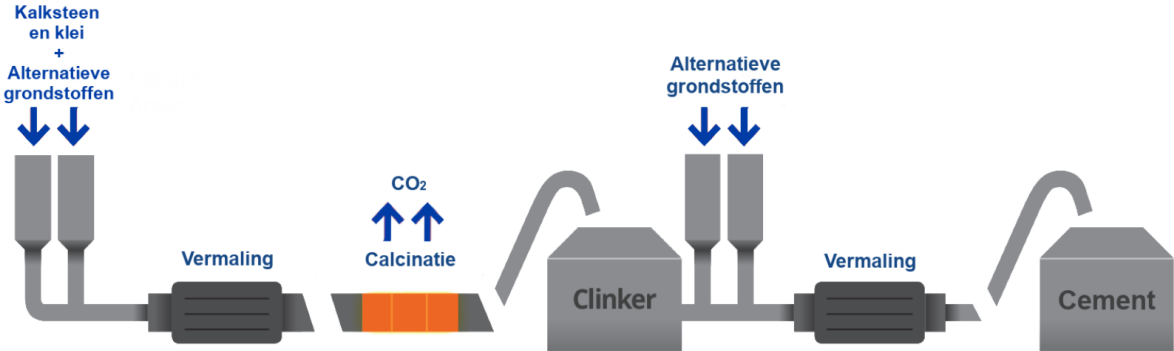
9. Bijlagen

Bijlage 1



Bijlage 1: Uitstoot van broeikasgassen van het vervoer in de EU

Bijlage 2



Bijlage 2: Productieproces van cement