



FINANCIËLE & MILIEU-IMPACT VAN BETONHERSTEL

UITKRAGENDE BETONNEN BALKONS

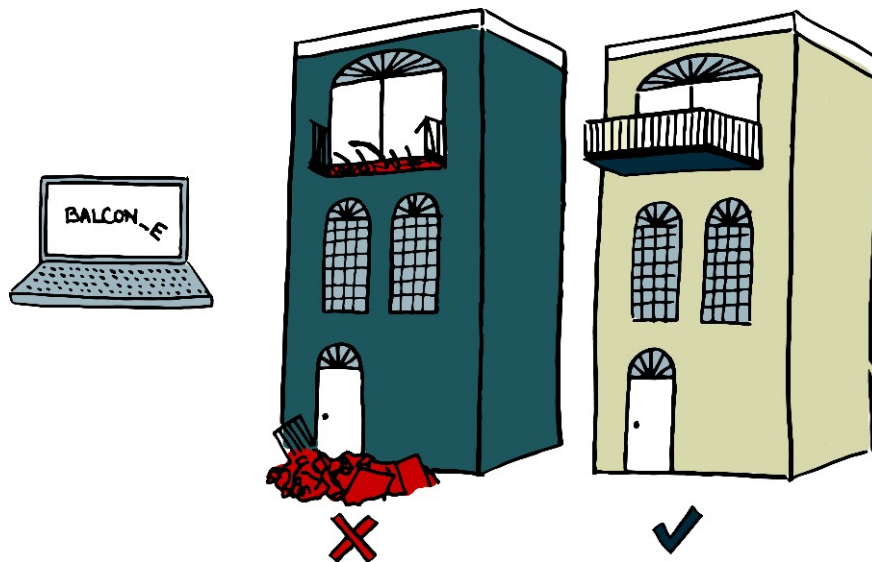
Balcon-e

Diagnose, beoordeling en duurzaam herstel van uitkragende betonnen balkons

lisee
DO-HOGESCHOOL

FINANCIËLE EN MILIEU-IMPACT VAN BETONHERSTEL

UITKRAGENDE BETONNEN BALKONS



balcon-e.odisee.be

Dit document werd opgemaakt in het kader van het PWO-project Balcon-e. Dit project werd gefinancierd via de middelen voor Praktijkgericht Wetenschappelijk Onderzoek (PWO) van Odisee, ter beschikking gesteld door de Vlaamse Overheid.

Odisee Hogeschool en degenen die aan dit document hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van dit document. Toch kan niet worden uitgesloten dat de inhoud onjuistheden bevat. De gebruiker van dit document aanvaardt daarvoor het risico. Odisee Hogeschool sluit, mede ten behoeve van de auteurs, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit dit gebruik. De gebruiker zal Odisee vergoeden en vrijwaren m.b.t. alle vorderingen, en m.b.t. alle bedragen die worden betaald met het oog op de regeling van een geschil met een derde partij die om het even welke schade lijdt die rechtstreeks of onrechtstreeks het gevolg is van de activiteiten van de gebruiker die gebruik maakt van dit document.

September 2021

Lydia Wittocx (Odisee Hogeschool – projectmedewerker)
Bart Craeye (Odisee Hogeschool – promotor)
Amaryllis Audenaert (Universiteit Antwerpen – partner)
Matthias Buyle (Universiteit Antwerpen – partner)
Bram Doods (WTCB – partner)



CC2021: mag niet aangepast, vertaald of gecommmercialiseerd worden zonder de uitdrukkelijke toestemming van de auteur(s).



Inhoud

Abstract.....	2
1. Introductie.....	4
2. Methodologie case study... ..	6
3. Resultaten case study.....	20
4. Bespreking en conclusies case study... ..	38
5. Besluit.....	40
Referenties.....	41
Bijlagen	44

Abstract

Vele van de betonconstructies die in de jaren '70 werden opgebouwd zijn heden toe aan een grondige herstel- en/of onderhoudsbeurt. Deze herstelgolf zal een toename van het sloopafval en de vraag naar nieuwe materialen met zich meebrengen. Om de duurzaamheid van de renovatie van bestaande gewapende betonnen constructies te verhogen, kunnen bij de keuze van de reparatietechniek naast de technische vereisten, ook de milieueffecten en de totale kosten gedurende de beoogde levensduurverlenging in beschouwing te worden genomen. Met behulp van een case study die de betonnen balkons omvat van een appartementsgebouw aan de Belgische kust worden vijf verschillende hersteltechnieken geëvalueerd door middel van een levenscyclusanalyse (LCA) en levenscycluskostenanalyse (LCC): (i) een patch repair, (ii) een klassiek herstel, (iii) een herstel met opofferanodes, (iv) kathodische bescherming met opgedrukte stroom en (v) de totale vervanging van de balkons. Uit deze studie blijkt dat een patch repair het meest gunstig scoort op zowel financiële als milieu-impact wanneer slechts een korte levensduurverlenging van de huidige situatie is gewenst. Indien de levensduur van de bestaande balkons met 20 tot 40 jaar verlengt wordt, blijken er verschillende herstelopties als optimale keuze, afhankelijk of het financiële aspect of de impact op het milieu zal doorwegen in de beslissing.

Lijst gebruikte afkortingen

CE	Circulaire Economie
FU	Functional Unit – functionele eenheid
GB	Gewapend beton
GCP	Galvanic Cathodic Protection
ICCP	Impressed Current Cathodic Protection
KB	Kathodische Bescherming
LCA	Life Cycle Assessment – Levenscyclusanalyse
LCC	Life Cycle Cost - Levenscycluskostenanalyse
MG	Modelgebouw
NAW	Netto Actuele Waarde
SA	Sensitiviteitsanalyse

1. Introductie

De jaren '70 worden onder meer gekenmerkt door een enorme bouw golf aan betonconstructies. Vele van deze constructies bereiken momenteel de beoogde ontwerplevensduur van 50 jaar. De belangrijkste oorzaak waardoor onderhoud of herstel nodig blijkt, is wapeningscorrosie [1]. Enerzijds tast wapeningscorrosie de duurzaamheid van de constructie aan, met scheuren en loszittende schollen tot gevolg. Anderzijds kan ook het draagvermogen worden aangetast wanneer de wapeningsdoorsnede reduceert als gevolg van het corrosieproces [2]. Verschillende herstelmethodes zijn mogelijk om de wapening te beschermen tegen (het verderzetten van) het corrosieproces. In een meer traditionele aanpak dient het beschadigde en chloride-verontreinigde beton vervangen te worden, waarna een goede waterdichting en beschermende coating vermijden dat vocht en/of zuurstof nog kunnen indringen. Daarnaast is kathodische bescherming (KB) een elektrochemische techniek waarbij het corrosieproces van de wapening kan worden stopgezet [3].

Heden kan dus een herstelgolf aan betonconstructies verwacht worden, wat een toename van het bouwafval en de vraag naar nieuwe materialen met zich meebrengt. Volgens [4] wordt vandaag reeds 50% van het jaarlijkse budget in de bouwsector gespendeerd aan het herstel van bestaande constructies. Meer dan 40% van de grondstoffen die wereldwijd worden ontgonnen worden gebruikt in de bouwsector en 850 miljoen ton sloopafval wordt jaarlijks in de EU gegenereerd [5]. Het productieproces van cement, als essentiële component van beton en herstelmortel, is verantwoordelijk voor 12 à 15% van het totale industriële energieverbruik [6].

De traditionele vereisten, zoals de technische performantie en investeringskosten, worden meer en meer aangevuld met een visie om de impact op de omgeving te minimaliseren tijdens het beslissingsproces [7]. Deze benadering kan hierbij dan ook worden aangevuld met strategieën om een circulaire economie (CE) mogelijk te maken. Volgens de definitie van de Europese Commissie richt een circulaire economie zich op het behouden van de waarde van producten, materialen en grondstoffen door ze opnieuw in de productiecycclus te brengen aan het einde van hun levensduur en een minimum aan afval te genereren [8]. Met deze visie op CE indachtig, is het hergebruiken van materialen en verlengen van de levensduur van bestaande producten essentieel om de impact op de omgeving te verminderen aangezien minder afval wordt gegenereerd en minder nieuwe materialen nodig zijn. Gezien de bouwsector een groot aandeel van de grondstoffen verbruikt en aanzienlijke afvalstromen genereert [9], kan de renovatie van bestaande gebouwen een belangrijke rol spelen in het verminderen van de milieu-impact [10].

Om de duurzaamheid van renovatieprojecten van bestaande betonconstructies te verhogen, dient zowel de totale kost als de milieu impact gedurende de hele cyclus van de levensduurverlenging van de geselecteerde techniek in beschouwing te worden genomen. Dit staat vaak in contrast met de huidige werkwijze waarbij een herstelmethode wordt geselecteerd louter op basis van de investeringskost, zonder de totale impact over de gehele levensduur te beschouwen. Gezien een strategie om naar een circulaire economie te evolueren meer en meer in het academisch onderzoek en beleidsdocumenten verschijnt, is het van belang dit kritisch en ook op een kwantitatieve wijze te beoordelen [11]. Methodes zoals een levenscyclusanalyse (LCA) [12] hebben hun waarde bewezen voor het nemen van goed geïnformeerde beslissingen met betrekking tot het optimaliseren van de milieuprestaties van producten, processen en diensten. Het combineren van tools zoals Life Cycle Assessment (LCA) en Life Cycle Costing (LCC) onderschrijft een holistische benadering bij het selecteren van een geschikte methode [13]–[15].

LCC studies [16]–[18] die verschillende ontwerp- en onderhoudsstrategieën voor betonnen bruggen onderzochten, wijzen uit dat de totale kost sterk afhankelijk is van omvang van de schade en corrosiegraad en dat regelmatige preventieve onderhoudsmaatregelen voordeliger zijn dan enkele grote (duurdere) interventies. Preventieve maatregelen, zoals het toepassen van roestvrijstaal of een herhaaldelijke hydrofoberende behandeling, blijken ook financieel interessanter dan curatieve ingrepen volgens [19]. Wanneer er toch pas wordt ingegrepen wanneer de corrosieschade tot uiting komt, blijken grondige interventies goedkoper over een periode van 100 jaar dan regelmatige lokale, klassieke herstellingen. Wanneer de impact op de omgeving wordt geanalyseerd met LCA, toont de studie uit [20] aan dat herstel en versterking beter is dan het afbreken en volledige herbouwen, toegepast op de case van een 40-jaar oud huis. Het toepassen van een KB-systeem kan de hoeveelheid beton die vervangen dient te worden aanzienlijk doen verminderen en deze techniek heeft reeds zijn effectiviteit bewezen [21]. Er werden echter door de auteurs geen LCA analyses over KB teruggevonden om een vergelijking te kunnen maken met de klassieke aanpak van een betonherstel. Wanneer LCA en LCC worden gecombineerd om de meest duurzame techniek te selecteren, blijkt uit [22], [23] dat het toepassen van preventief onderhoud bij bruggen kan leiden tot minder grondigere herstelbeurten met een lagere kost en omgevingsimpact als gevolg.

De beschikbare LCA en LCC studies omtrent dit topic focussen voornamelijk op beton als materiaal zelf (vb. klassiek beton vs. 'groen' beton [24], [25]) of op een beslissingsstrategie gedurende de ontwerpfase [26], [27]. Echter, er werd gesteld dat de renovatie van de bestaande (beton)constructies één van de sleutels is om de duurzaamheid te verhogen. Daarom is het van belang om veroorzaakte financiële en milieu-gerelateerde impact gedurende de gehele levensduur van een renovatie te evalueren. Uit een literatuurstudie blijkt dat er een gebrek is aan LCA-resultaten omtrent hersteltechnieken voor beschadigde betonconstructies. De beschikbare LCA/LCC studies focussen meer op de onderhoudsstrategie vanuit een ontwerp perspectief, resultaten van LCA/LCC voor de herstelling van reeds (door corrosie) beschadigde constructies zijn minder beschikbaar. Het merendeel van de LCA-studies met betrekking tot renovatie van gebouwen richt zich op energierenovatie [28], terwijl de milieu-impact van structurele bouwelementen in mindere mate wordt geëvalueerd [10].

Deze studie heeft als doel om de financiële en milieu-gerelateerde impact te evalueren van verschillende hersteltechnieken die ingezet kunnen worden om de levensduur van bestaande, gewapende betonnen balkons te verlengen. Balkons zijn slanke, betonnen elementen en worden blootgesteld aan de weersomstandigheden, waardoor ze verschillen van infrastructuurwerken of bouwelementen in een binnenklimaat. De resultaten van beschikbare LCA/LCC studies omtrent het betonherstel van bruggen kunnen dus niet zomaar toegepast worden op de situatie van balkons.

De levensduurverlenging van de bestaande balkons kan worden gerealiseerd door het toepassen van verschillende hersteltechnieken: (i) een patch repair, (ii) een klassiek herstel, (iii) het toepassen van een herstel met opofferanodes, (iv) een systeem van kathodische bescherming met opgedrukte stroom, en als laatste (v) de volledige afbraak en heropbouw van nieuwe balkons. De herstelstrategieën zijn gebaseerd op de principes en methodes beschreven in NBN EN 1504-9. Afhankelijk van de toegepaste techniek en eventueel bijkomend onderhoud, hebben deze interventies het potentieel om de levensduur van de bestaande balkons voor een korte periode (5 jaar) of langere periode (20 – 40 jaar) te verlengen. Een LCA en LCC studie werd uitgevoerd waarbij deze vijf hersteltechnieken worden toegepast op de beschadigde balkons van een 40 jaar oud residentieel gebouw om zo de levensduur te verlengen voor een periode van 5, 20 of 40 jaar.

2. Methodologie case study

In deze studie worden LCA en LCC als kwantitatieve tools [29] ingezet om verschillende herstmethodes voor beschadigde betonstructuren, te vergelijken. Er worden twee gebouwen als vertrekpunt genomen, waarbij de betonnen balkons schade vertonen en er dus een interventie nodig is. De financiële en milieu-impact wordt geëvalueerd wanneer de levensduur van de bestaande balkons voor een korte (5 jaar) of langere (20 – 40 jaar) periode wordt verlengd. Maatregelen met betrekking tot het verhogen van het draagvermogen worden niet beschouwd in deze studie. Er wordt verondersteld dat het draagvermogen van de balkons niet werd aangetast als gevolg van het corrosieproces gedurende de volledige beschouwde periode.

Dezelfde aannames zullen worden gehanteerd voor de LCA als LCC studie. Het definiëren van de functionele eenheid (*functional unit* – FU) is typisch bij een LCA de eerste stap. Omdat de technieken zowel via LCA als LCC worden vergeleken, wordt dezelfde FU ook toegepast op de LCC. Voor de twee modelgebouwen (MG1 en MG2) wordt de FU als volgt gedefinieerd:

FU voor MG1

De levensduurverlenging van 10x2 individuele, uitkragende gewapende balkons ($l=1\text{m}$; $b=2\text{m}$, $h=0,1\text{m}$ met 2 wapeningslagen net 8/8/150/150) met een conditiescore 1 (volgens NEN 2767) welke voldoet voor een periode van 5, 20, 40 jaar.

FU voor MG2

De levensduurverlenging van 15 uitkragende gewapende balkonplaten ($l=1\text{m}$; $b=20\text{m}$, $h=0,1\text{m}$ met 2 wapeningslagen net 8/8/150/150) met een conditiescore 1 (volgens NEN 2767) welke voldoet voor een periode van 5, 20, 40 jaar.

Een conditiescore van 1 betreft een uitstekende conditie volgens de methode van NEN 2767. In de FU wordt opgenomen wat strikt technisch noodzakelijk is voor een betonherstel en bescherming van de wapening waardoor de levensduur van het balkon kan worden verlengd. Het herstel van de balustrade en het isoleren als onderdeel van de gevelisolatie worden niet mee opgenomen in de analyse. Ook het heropbouwen van de afwerkingslaag bovenaan de balkons, bijvoorbeeld een tegelvloer, gietvloer of houten planken wordt niet mee beschouwd. Er is hier immers een grote variatie aan materialen mogelijk, waar telkens een ander kostenplaatje en een milieu-impact aan verbonden is [30]. In praktijk maakt het plaatsen van de bovenafwerking en balustrade wel deel uit van het totale herstel.

Voor de twee beschouwde modelgebouwen wordt de financiële en milieu-impact voor een levensduurverlenging voor een periode van 5, 20 en 40 jaar geanalyseerd. Er worden dus zes FU's gedefinieerd, waarbij telkens verschillende herstmethodes mogelijk zijn. Binnen eenzelfde FU worden deze verschillende methodes vergeleken op vlak van LCA en LCC.

Opmerking: de verschillende herstelopties worden met elkaar vergeleken binnen eenzelfde FU, bv. voor modelgebouw 1 voor een levensduurverlenging van 20 jaar. De resultaten van verschillende FU's kunnen niet onderling vergeleken worden. De uitkomsten van deze studie kunnen dus ook niet zomaar gegeneraliseerd worden naar andere situaties.

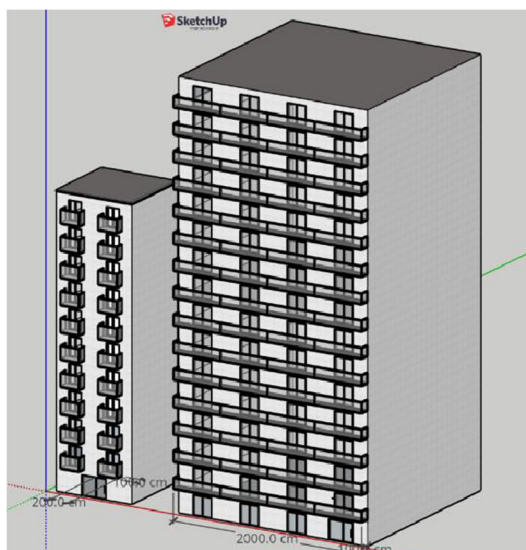
2.1 Voorstelling modelgebouwen case study

Het vertrekpunt van de vergelijkende studie zijn twee fictieve modelgebouwen (zie Figuur 2-1) waarop verschillende herstelscenario's worden toegepast. Er wordt bekeken welke impact bepaalde beslissingen hebben op het milieu en de kosten gedurende de periode van de levensduurverlenging van de balkons.

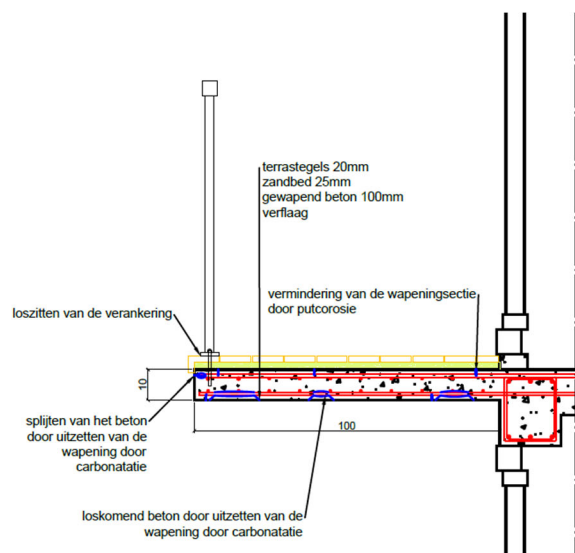
Beide gebouwen hebben een ouderdom van 40 jaar en vertonen hetzelfde schadebeeld. De betonnen balkons worden aangetast door carbonatatie en indringing van chloriden, waarbij initiatie tot corrosie is bereikt. Het gebouw bevindt zich in een kustomgeving, chloriden worden dus verondersteld aanwezig te zijn in de omgeving. Op enkele plaatsen zijn loszittende schollen en roestvlekken zichtbaar.

De algemene opbouw van het balkon is bij beide gebouwen hetzelfde: een gewapende betonplaat van 10 cm, afgewerkt met een cementgebonden zandbed en tegels (Figuur 2-2). Er is geen waterdichting aanwezig, de coating aan de onderzijde vertoont blaasvorming en bladdert af waardoor het zijn beschermende functie niet meer vervult. Wanneer het balkon hersteld of opnieuw opgebouwd wordt, worden dezelfde afmetingen en wapeningsconfiguratie aangehouden.

Modelgebouw 1	Modelgebouw 2
10 verdiepingen 2 individuele balkons per verdieping => totaal: 20 balkons	15 verdiepingen doorlopende plaat van 20m per verdieping
Afmetingen balkon: 1 x 2 x 0,10 m (lxbxh)	Afmetingen balkon: 1 x 20 x 0,10 m (lxbxh)
Totaal => 40 lopende meter, 40m ² 4 m ³ gewapend beton	Totaal => 300 lopende meter, 300m ² 30 m ³ gewapend beton
Wapening: net boven en onder 8/8/150/150	Wapening: net boven en onder 8/8/150/150



Figuur 2-1: MG1 (links) en MG2 (rechts)



Figuur 2-2: Opbouw bestaande situatie

2.2 Omschrijving herstelscenario's

Om de levensduur van de bestaande balkons te verlengen zijn verschillende herstelopties mogelijk. Er werden vijf scenario's opgesteld welke de levensduur van het balkon kunnen verlengen:

- (i) Patch repair (Patch)
- (ii) Klassiek herstel (Klassiek)
- (iii) KB-systeem met opofferanodes (GCP)
- (iv) KB-systeem met opgedrukte stroom (ICCP)
- (v) Volledige sloop en heropbouw van de balkons (Nieuw)

Deze hersteltechnieken hebben elk een andere levensduur en worden al dan niet herhaald om een langere levensduurverlenging van de balkons te bekomen. De herstelscenario's worden in de volgende paragrafen besproken. In Tabel 2-1 wordt beknopt samengevat welke onderdelen elke hersteltechniek omvat.

Zoals vermeld in de norm NBN EN 1504-9, is een voorafgaand onderzoek van de bestaande toestand die de oorzaak en omvang van de schade weergeeft een noodzakelijke eerste stap in het herstelproces. De beschreven technieken, geselecteerde materialen en uitvoeringswijze volgen de principes uit NBN EN1504-9, zodanig dat de technisch vereisten voor een goed herstel zijn vervuld. Een vroegtijdig falen van het herstel, zoals aangehaald in [31], [32] wordt daardoor vermeden.

Tabel 2-1: Overzicht levensduurverlenging en onderdelen herstelscenario's

	Patch	Klassiek	GCP	ICCP	Nieuw
Levensduurverlenging van de bestaande balkons [jaar]	5-7	20	20	20	40
Herstel bevat volgende onderdelen:					
<i>Verwijderen bestaande bovenafwerking</i>	-	x	x	x	x
<i>Herstel loszittend beton</i>	x	x	x	x	-
<i>Herstel gecontamineerd beton (rand)</i>	-	x	-	-	-
<i>Volledige vervanging balkon</i>	-	-	-	-	x
<i>Anti-corrosie coating vrijliggende wapening</i>	x	x	-	-	-
<i>Installatie inboor opofferanodes</i>	-	-	x	-	-
<i>Installatie ICCP-systeem met geleidende coating</i>	-	-	-	x	-
<i>Monitoring ICCP-systeem</i>	-	-	-	x	-
<i>Beschermende coating (onderzijde en rand)</i>	x	x	x	x	x
<i>Waterdichting bovenzijde balkon</i>	-	x	x	x	x
<i>Onderhoud vernieuwen coating (10j)</i>	-	-	-	-	x

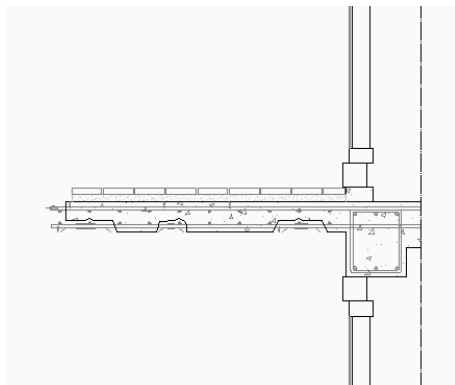
Opmerking: in alle herstelscenario's wordt een beschermende coating voorzien aan de onderzijde en rand van de balkons. Deze aanname werd gemaakt om de afwerkingsgraad gelijk te houden voor de verschillende opties. Er kan worden opgemerkt dat het toepassen van deze coating niet noodzakelijk is om de wapening tegen corrosie te beschermen wanneer een systeem met kathodische bescherming (GCP en ICCP) wordt toegepast. Daarom zal in een sensitiviteitanalyse worden bekeken hoe de impact evalueert wanneer deze coating niet wordt toegepast.

2.2.1 Patch Repair

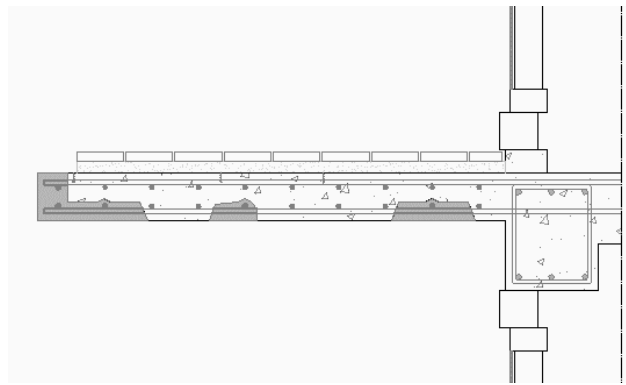
Het Patch repair-scenario omvat in deze studie het lokaal herstellen van het gedelamineerde beton (3% volume). In dit scenario wordt de bestaande bovenafwerking van het balkon niet vervangen, er wordt immers ook geen nieuwe waterdichting voorzien waardoor dit eerst verwijderd zou moeten worden. De onderzijde en randen van het balkon worden nadien wel afgewerkt met een beschermende coating. De levensduur van een patch repair voor de beschreven situatie wordt als vijf à zeven jaar verondersteld.

Wanneer de levensduur nadien verlengt wenst te worden door het toepassen van dezelfde techniek, zal een groter herstel nodig zijn dan de eerste interventie. Immers, de achterblijvende chloriden hebben opnieuw corrosie veroorzaakt en vocht en chloriden vanuit de kustomgeving kunnen blijven indringen (gekend als het ring-anode effect). Hierbij wordt telkens een groter volume te herstellen beton in rekening gebracht (resp. 7 en 15%). De onderzijde en rand van het balkon wordt opnieuw gecoat. Er wordt aangenomen dat hetzelfde scenario nog twee keer kan worden herhaald (tot maximaal een totale levensduurverlenging van 20 jaar), nadien is de toestand van het balkon dermate slecht dat een lokaal herstel niet meer zal kunnen volstaan.

Details aannames (hoeveelheden, materialen): zie [Bijlage A](#) en [Bijlage B](#)



Figuur 2-3: Verwijderen loszittend beton



Figuur 2-4: Lokaal herstel met herstelmortel

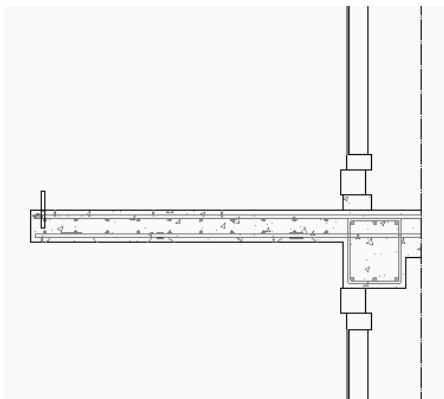
2.2.2 Klassiek herstel

Het scenario waarbij een klassiek herstel wordt uitgevoerd omvat een grondig herstel waarbij ook de volledige balkonplaat vernieuwd wordt. De bestaande afwerking wordt volledig verwijderd tot op de betonplaat (5% volume + rand). De loszittende/gedelamineerde delen worden gesaneerd en de volledige rand wordt verwijderd. Nadien wordt de balkonrand opnieuw gewapend en aangestort met beton en de overige delen hersteld met een structurele herstelmortel. Aan de bovenzijde wordt een waterdichting voorzien, de onderzijde en rand worden gecoat.

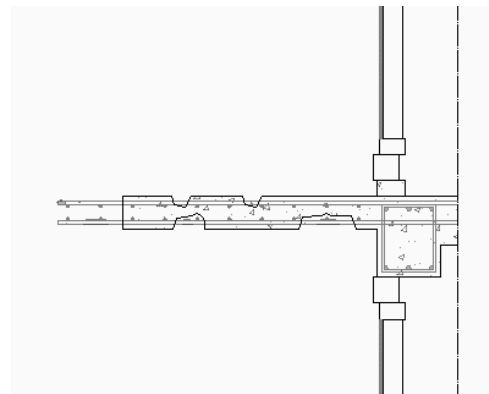
De levensduur van dit scenario wordt als twintig jaar verondersteld. Indien de levensduur nadien bijkomend verlengd wenst te worden, wordt een lokaal betonherstel uitgevoerd en een vernieuwing van de coating aan de onderzijde en rand van de balkons.

Er wordt opgemerkt dat in dit scenario een verschil tussen beide modelgebouwen vervat zit: bij de individuele balkons van MG₁ betreft het herstel van de rand een groter aandeel t.o.v. het aantal lopende meters balkon verhoudingsgewijs dan MG₂, waar de balkons doorlopende platen zijn.

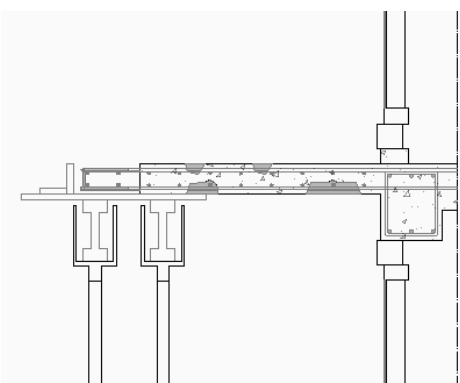
Details aannames (hoeveelheden, materialen): zie [Bijlage A](#) en [Bijlage B](#)



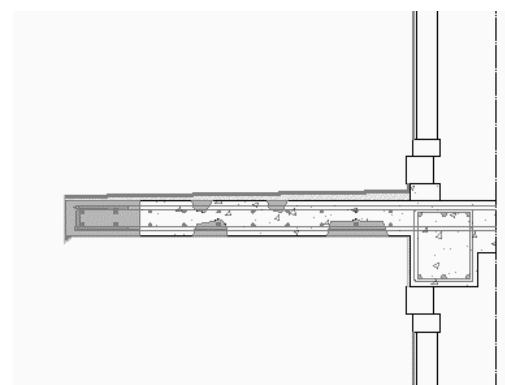
Figuur 2-5: Verwijderen bestaande opbouw balkon



Figuur 2-6: Verwijderen loszittend beton + rand



Figuur 2-7: Bekisten balkonrand plaatsen + lokaal herstel met herstelmortel

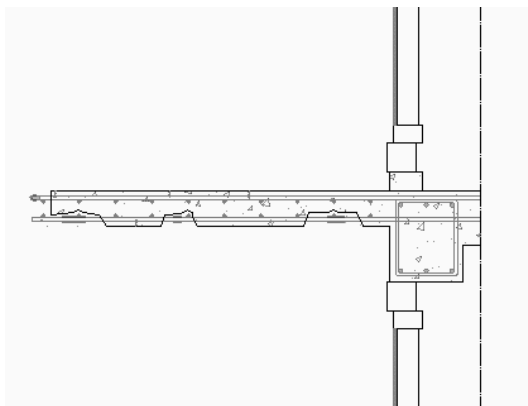


Figuur 2-8: Heraangieten rand + waterdichting plaatsen

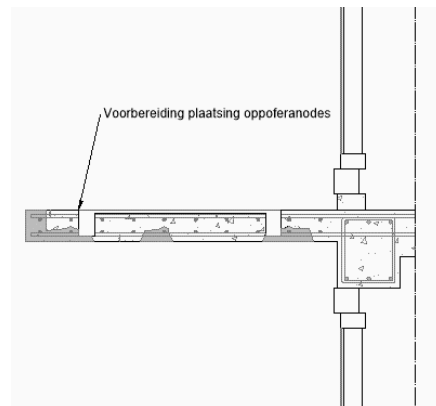
2.2.3 Herstel met toepassing van opofferanodes (GCP)

Gezien in de bestaande situatie corrosieschade optreedt, is het van belang de wapening te beschermen tegen het voortzetten van het corrosieproces. Het systeem van kathodische bescherming (KB) speelt in op het corrosieproces, waardoor niet al het gecontamineerd beton moet worden vervangen, enkel de loszittende delen (verondersteld als 3% volume). De passieve variant van KB, Galvanic Cathodic Protection (GCP), maakt gebruik van opofferanodes om de wapening te beschermen. In dit scenario worden er inbooranodes (4 stuks per m² balkon) geplaatst die de volledige wapening beschermen. De bestaande bovenafwerking wordt volledig vervangen en een nieuwe waterdichting en afwerking wordt voorzien. Er wordt verondersteld dat de opofferanodes de wapening 20 jaar zullen beschermen. Indien een verdere verlenging van de levensduur wordt gevraagd, dienen de anodes vervangen te worden.

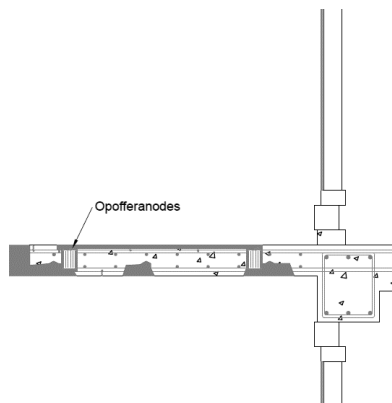
Details aannames (hoeveelheden, materialen): zie [Bijlage A](#) en [Bijlage B](#)



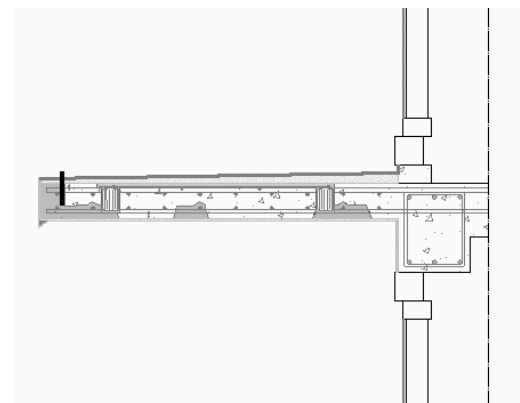
Figuur 2-9: Verwijderen loszittend beton



Figuur 2-10: Lokaal herstel met herstel mortel + voorbereiding plaatsing anodes



Figuur 2-11: Plaatsing opofferanodes



Figuur 2-12: Plaatsing waterdichting bovenzijde



Figuur 2-13: Inbooranodes

2.2.4 KB met opgedrukte stroom (ICCP)

Om de wapening te beschermen tegen corrosie kan ook een KB-systeem met opgedrukte stroom voorzien worden, genaamd Impressed Current Cathodic Protection (ICCP). In dit scenario wordt geopteerd voor een anode-systeem van geleidende koolstofcoating aan de onderzijde van de balkonplaat. Gelijkaardig aan het systeem met opofferanodes dient enkel het loszittende beton te worden hersteld (verondersteld als 3% volume). Aan de bovenzijde wordt een nieuwe waterdichting voorzien. Dit systeem vraagt wel onderhoud en monitoring om de goede werking te verzekeren. De opvolging van het systeem wordt voorzien met een onderhoudscontract, opgenomen in de LCC-studie.

Het jaarlijks stroomverbruik van dit systeem is beperkt. De kost en de milieu-impact hiervan werd onderzocht maar is verwaarloosbaar ten opzichte van de globale impact. Daarom werd dit niet in de studie opgenomen. De levensduur van de coating en elektronische componenten worden aangenomen als 20 jaar [33]. Wanneer de levensduur verder verlengt wenst te worden, wordt de geleidende coating en de elektronische componenten vervangen. De bovenafwerking, bekabeling en primaire anode worden niet vervangen.

Opmerking: Het KB-systeem met opgedrukte stroom wordt enkel toegepast op modelgebouw 2. Uit de ervaring blijkt immers dat dit soort systeem pas rendabel is voor cases vanaf ongeveer 300m² te beschermen betonoppervlak.

Details aannames (hoeveelheden, materialen): zie [Bijlage A](#) en [Bijlage B](#)

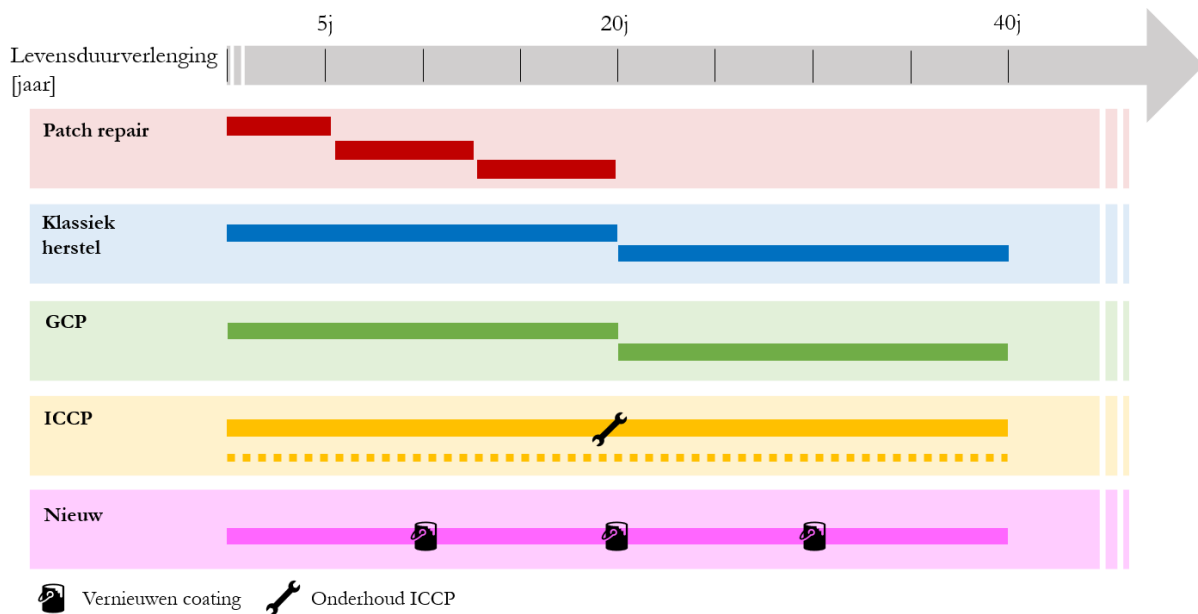
2.2.5 Sloop + volledige heropbouw (Nieuw)

De meest ingrijpende aanpak is het volledig slopen en opnieuw heropbouwen van de balkons. Het nieuwe balkon heeft dezelfde afmetingen als de bestaande situatie. Er wordt verondersteld dat deze aanpak een levensduur van 40 jaar heeft indien de coating periodiek wordt onderhouden (elke 10 jaar).

Details aannames (hoeveelheden, materialen): zie [Bijlage A](#) en [Bijlage B](#)

2.2.6. Scenario beschrijving

Per modelgebouw wordt de impact voor een levensduurverlenging van drie periodes bepaald: namelijk voor 5 jaar, 20 jaar en 40 jaar. Aangezien de hersteltechnieken elk een andere levensduur hebben, worden ze al dan niet herhaald om een langere levensduurverlenging van de balkons te bekomen. Dit wordt visueel voorgesteld op Figuur 2-14.



Figuur 2-14: Herhaling scenario's

Wanneer een levensduurverlenging van **5 jaar** wordt beschouwd:

- Het eenmalig toepassen van een patch repair volstaat hierbij. De levensduur van deze eerste interventie wordt als 5 jaar beschouwd, waardoor het potentieel van deze techniek volledig wordt benut.
- Het eenmalig toepassen van een klassiek herstel, GCP of ICCP volstaat. Er wordt geen onderhoud voorzien tijdens deze periode, enkel de kosten van de monitoring in het ICCP-scenario worden na de interventie nog beschouwd. Gezien deze hersteltechnieken het potentieel hebben om de levensduur van de balkons met 20 jaar te verlengen, kan er worden gesteld dat deze slechts voor 25% worden 'benut'. Het kan echter niet gesteld worden dat er daarom maar 25% van de totale impact beschouwd hoeft te worden. Er wordt immers ook geen uitspraak gedaan over de gebeurtenissen die zouden plaatsvinden buiten de beschouwde analyseperiode (behoud van de balkons of een vroegtijdige sloop).
- Het eenmalige toepassen van techniek 'Nieuw' volstaat. Er wordt geen onderhoud voorzien tijdens deze periode. Gezien het volledig vernieuwen van het balkon het potentieel heeft om de levensduur met 40 jaar te verlengen, kan er worden gesteld dat deze slechts voor 12,5% wordt 'benut'.

Wanneer een levensduurverlenging van **20 jaar** wordt beschouwd:

- Er worden drie interventies van het patch repair verondersteld, telkens met een groter volume betonherstel. Er wordt aangenomen dat het potentieel om de levensduur met 20 jaar te verlengen ook volledig hiermee benut is.
- Het eenmalig toepassen van een klassiek herstel, GCP of ICCP volstaat. Er wordt geen onderhoud voorzien tijdens deze periode, enkel de kosten van de monitoring in het ICCP-

scenario worden na de interventie nog beschouwd. Er wordt aangenomen dat het potentieel om de levensduur met 20 jaar te verlengen ook volledig hiermee benut is.

- Het eenmalige toepassen van techniek 'Nieuw' volstaat. Er wordt een éénmalig onderhoud (herschilderen van de beschermende coating) voorzien na een periode van 10 jaar. Gezien het volledig vernieuwen van het balkon het potentieel heeft om de levensduur met 40 jaar te verlengen, kan er worden gesteld dat deze slechts voor 50% wordt 'benut'.

Wanneer een levensduurverlenging van **40 jaar** wordt beschouwd:

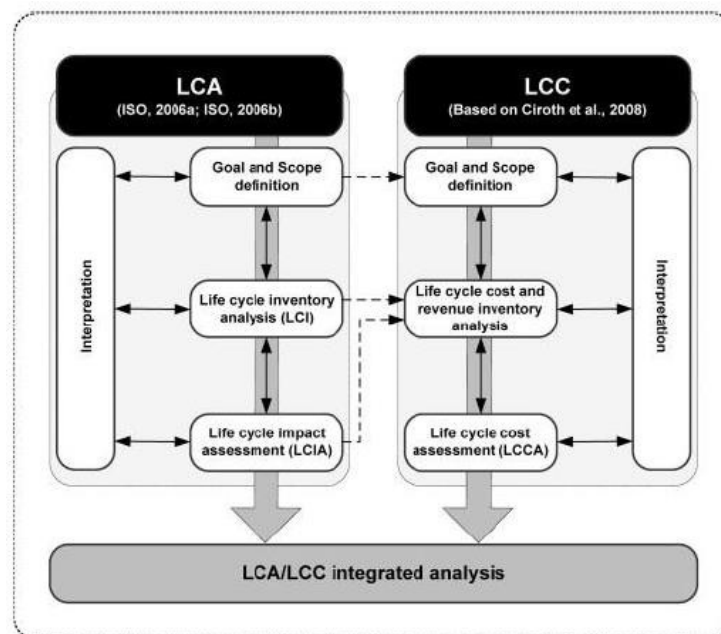
- Een scenario met het herhaaldelijk toepassen van een patch repair wordt niet meer als mogelijk beschouwd.
- De scenario's klassiek herstel, GCP en ICCP worden toegepast en na een periode van 20 jaar wordt opnieuw een interventie ingepland. Deze tweede interventie (met ook een levensduur van 20 jaar) zal beperkter zijn dan de eerste, gezien er wordt aangenomen dat de waterdichting aan de bovenzijde niet vernieuwt hoeft te worden.
- Het eenmalig toepassen van techniek 'Nieuw' volstaat. Er wordt drie maal een onderhoud (herschilderen van de beschermende coating) voorzien, telkens na een periode van 10 jaar.

Opmerking: er wordt voor elke FU de kost/impact inrekening gebracht wat nodig is om de levensduur van de bestaande situatie te verlengen. Dit omvat dus de afbraak van het beschadigde gedeelte en de opbouw zodat het balkon zijn functie kan vervullen voor de beschouwde periode. De impact van de opbouw van de originele balkons wordt dus niet meegenomen. Wat er na de analyseperiode zal gebeuren (opnieuw een herstel of sloop, is ook afhankelijk van de situatie van het gehele gebouw) wordt ook niet in deze studie beschouwd.

2.3 Methodologie voor het bepalen van de financiële en milieu-impact

Een geïntegreerde aanpak voor de beslissing van een hersteltechniek voor een levensduurverlenging wordt in deze studie benaderd door de resultaten van de LCA (milieu-impact) en LCC (totale kosten) te combineren (Figuur 2-15). Hiertoe wordt hetzelfde framework gehanteerd:

- Zelfde FU en aannames worden verondersteld, echter zijn er wel aspecten die wel bij een LCC in rekening worden gebracht en niet bij de LCA [Goal and Scope defenition]
- Alle data wordt geïnventariseerd [Inventory] en de impact wordt bepaald [Assessment]
- Vervolgens worden resultaten geanalyseerd uit zowel LCA als LCC standpunt [Integrated analysis]



Figuur 2-15: Schematische voorstelling LCA en LCC [34]

Impact en prijzen zullen in de resultaten ofwel in totaal worden weergegeven ofwel per categorie. Deze categorieën omvatten volgende acties (indien van toepassing voor die techniek):

- **Afbraak:** afbraak van bestaande bovenafwerking bij eerste interventie, saneren loszittend/gedelamineerd beton, verwijderen oude coating
- **Betonherstel:** het herstel met structurele herstelmortel of heraangieten met beton
- **Herstel/bescherming wapening:** omvat het bijplaatsen wapening met chemische verankering, coaten van de wapening, plaatsen van opofferanodes, plaatsing of onderhoud van het ICCP-systeem
- **Bescherming geheel:** dit omvat de acties ter bescherming van het gehele balkon (bevat de waterdichting aan de bovenzijde en coating aan de onderzijde en rand)

2.3.1 Methode Life Cycle Assessment (LCA)

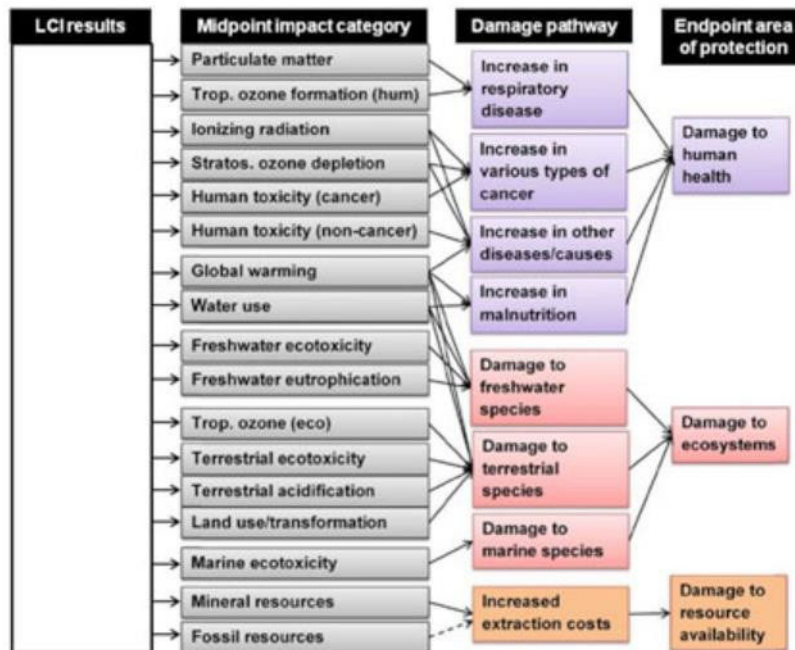
Een LCA of levenscyclusanalyse brengt de invloed op het milieu van bepaalde producten of activiteiten in kaart. Hierbij wordt het proces vanaf de ontginning van de grondstoffen via productie en (her)gebruik tot en met afvalverwerking bekeken om de volledige impact gedurende de levensduur te omvatten. Het doel van deze LCA-studie is het vergelijken van de verschillende herstelsenario's op vlak van hun milieu-impact.

In deze studie werd gekozen voor een *consequential* LCA. Hierbij wordt in kaart gebracht hoe de relevante milieustromen zullen veranderen als gevolg van bepaalde beslissingen. Deze methode heeft dus een toekomstgerichte insteek [35].

Voor het uitvoeren van een LCA wordt de werkwijze gevolgd zoals beschreven in ISO 14040. Als eerste wordt het doel beschreven in de *functional unit* (FU). Dit is de levensduurverlenging van de bestaande balkons voor een welbepaalde periode. Hiertoe kunnen verschillende technieken worden toegepast, wat omschreven werd in de verschillende scenario's. Vervolgens worden de systeemgrenzen afgebakend. Hierbij wordt gedefinieerd welke processen wel of niet mee worden opgenomen in de analyse. Het volledige herstelproces is opgenomen, incl. productie materialen, plaatsing, afbraak en het transport in elke fase. Bepaalde randprocessen en hun bijhorende producten die nodig zijn om het herstel te kunnen uitvoeren, maar hergebruikt worden op vele andere projecten (zoals een stelling) worden niet mee opgenomen voor het bepalen van de milieu-impact. De case is gesitueerd in België, de typische toegepaste technieken worden gehanteerd en de producten zijn geassembleerd in de EU.

Volgens [36] is een van de belangrijkste aspecten van een *consequential* LCA het bepalen van de *marginal suppliers* [37]. Deze werden bepaald op basis van de handelsdata van UN Comtrade [38]. De database ecoinvent (v3.5) werd gebruikt om achtergrondprocessen te modelleren, waarbij ook het principe om *transformation* en *market* processen te scheiden werd toegepast [36]. De ecoinvent *records* werden gebruikt als uitgangspunt voor het productieproces, terwijl gegevens over de marginale mixen van energieproductie werden gemodelleerd voor beton, reparatiemortels en coatings. Details van de toegepaste ecoinvent records zijn opgenomen in [Bijlage C](#).

Vervolgens wordt een inventaris opgemaakt van de benodigde producten en processen (LCI - life cycle inventory). Deze dataverzameling omvat de gerelateerde materiaal-, energie- en emissiestromen voor de beschreven FU. Voor de aannames van het transport werden de scenario's uit TOTEM [39] overgenomen. In de laatste stap worden de effecten op het milieu bepaald (LCIA - life cycle impact assessment). Hoewel beton het potentieel heeft om CO₂ op te nemen als gevolg van het carbonatatieproces [40], [41], wordt dit niet meegenomen in de emissie-inventaris, aangezien in alle herstelsenario's een beschermende coating wordt toegepast om corrosie geïnitieerd door carbonatatie te voorkomen. De ReCiPe-methode (v1.13) wordt toegepast ter beoordeling van de effecten op de omgeving. Deze methode vertaalt de resultaten van de emissies en materiaalgebruiken naar een score voor een beperkt aantal milieu-indicatoren. Hierbij worden op twee niveaus indicatoren onderscheiden: 18 midpoint indicatoren en 3 endpoint indicatoren (zie Figuur 2-16). Midpoint indicatoren zijn gericht op zichzelf staande milieuproblemen, zoals bijvoorbeeld klimaatverandering, verzuring en eco-toxiciteit. Endpoint indicatoren, zoals invloed op de menselijke gezondheid en grondstofschaarste, vatten de invloed van verschillende midpoint indicatoren samen en geven zo een beeld van de milieuschade op een hoger niveau. Anderzijds wordt er ook een *single score* berekend. Deze score (uitgedrukt in punten [pt]) geeft één alomvattende waarde van de impact weer en is daarom een overzichtelijke manier om de verschillende scenario's met elkaar te vergelijken [42], [43].



Figuur 2-16: Overzicht midpoints en endpoints ReCiPe [44]

2.3.2 Methode Life Cycle Costing (LCC)

Een LCC of Life Cycle Costing analyse is een methode om de totale kost over de levenscyclus van een project te analyseren. Het framework voor de LCC is analoog aan dat van de LCA studie. Wat wel in de kosten wordt meegerekend -en niet als milieu-impact- zijn de benodigde arbeid, gebruik van materieel en monitoring van het ICCP-systeem. De kosten werden gebaseerd op de huidige prijzen en technieken. Er dient worden opgemerkt dat prijzen zeer afhankelijk zijn van de lokale marktsituatie, de omvang van het project en de complexiteit van de uitvoering. Er wordt dus benadrukt dat in deze studie een vergelijking wordt gemaakt tussen de verschillende herstelsenario's, en niet het gehele kostenplaatje wordt begroot.

Wanneer kosten gedurende de levenscyclus worden bekeken, speelt het tijdsaspect een belangrijk rol in de analyse. Om toekomstige kastromen van de verschillende herstelsenario's te kunnen vergelijken worden de kosten omgerekend naar hun netto actuele waarde (NAW). Dit is het bedrag dat nu gereserveerd dient te worden om gedurende de gehele levensduur het herstel en onderhoud te financieren. Hiervoor worden toekomstige uitgaven verdisconteerd, dit wilt zeggen dat de huidige waarde van een toekomstige uitgave wordt bepaald.

De huidige of actuele waarde wordt berekend als volgt:

$$\text{actuele waarde} = \frac{\text{toekomstige waarde}}{(1+\text{rente})^{\text{periode}}}$$

Om een scenario in zijn geheel te evalueren worden alle kosten (interventie herstel in jaar 0, onderhoud en/of herhaling werken na x jaar) omgezet naar hun huidige waarde waarna ze worden gesommeerd.

Het tijdstip waarop een interventie plaatsvindt -met bijhorende kost- is dus van belang in een LCC, in tegenstelling tot een LCA. De waarde van de actualisatievoet beïnvloed de actuele waarde van het project [45]. De NAW wordt in deze studie met een actualisatievoet van 4% bepaald.

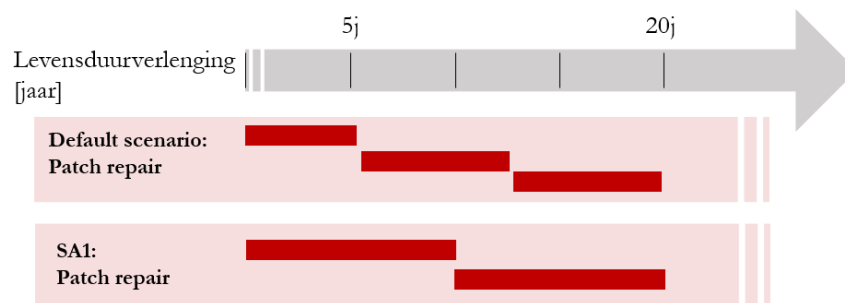
Details van de aannames van de prijzen en resultaten NAW berekening zijn opgenomen in [Bijlage D](#).

2.4 Sensitiviteitsanalyses

De beschreven scenario's worden beschouwd als de default scenario's voor de vergelijkende studie. In deze scenario's zijn tal van aannames gemaakt, waaronder ook een aantal die het resultaat van de LCA-LCC score sterk kunnen beïnvloeden. Er wordt een sensitiviteitsanalyse (SA) gemaakt van een selectie van enkele aspecten die de resultaten kunnen beïnvloeden.

2.4.1 SA1: Potentiele levensduurverlenging bij Patch Repair

Er kan worden opgemerkt dat de inschatting van de potentiele levensduurverlenging door het toepassen van een bepaalde hersteltechniek een beslissende impact kan hebben. Voor een FU van 20 jaar wordt in deze sensitiviteitsanalyse verondersteld dat twee interventies van Patch repair (met beide een levensduur van 10 jaar) zullen volstaan in plaats van drie interventies. De omvang van deze interventies wordt ingeschat zoals de eerste twee interventies in het default scenario. Zowel de totale milieu-impact als de NAW wordt geëvalueerd hierbij. Wanneer een levensduurverlenging van 10 jaar wordt verondersteld, maar er wel nog steeds wordt aangenomen dat maximaal drie interventies mogelijk zijn, blijft het behalen van een FU van 40 jaar ook hier niet mogelijk met een Patch repair.



Figuur 2-17: Visuele voorstelling SA1: levensduurverlenging van 10 jaar i.p.v. 5 à 7 jaar

2.4.2 SA2: Toepassing coating bij KB-herstelopties

In de default opgestelde scenario's wordt steeds aan de onderzijde en rand van de balkons een beschermende coating toegepast. Echter, wanneer de wapening beschermd wordt via een systeem van kathodische bescherming (GCP en ICCP), is dit niet strikt technisch noodzakelijk. Daarom wordt in de sensitiviteitsanalyse het verschil tussen de default scenario's (met coating) vergeleken met de scenario's GCP en ICCP zonder coating. Zowel de LCA als LCC score wordt geëvalueerd voor een levensduurverlenging van 20 en 40 jaar.

2.4.3 SA3: Omvang volume betonherstel bij klassiek herstel

Eén van de voordelen die aangehaald wordt voor het toepassen van een KB-systeem is dat enkel het gedelamineerde/loszittende beton dient hersteld te worden. Dit staat in tegenstelling tot een klassiek herstel waarbij al het (chloriden) gecontamineerde beton dient te worden vervangen om wapeningscorrosie te vermijden. Uit praktijk blijkt dat het volume beton herstel sterk kan oplopen bij een klassiek herstel en a priori niet altijd is in te schatten. In het default scenario wordt het betonherstel bij het klassiek herstel ingeschat als 5% volume herstel met herstelmortel plus de rand die wordt vervangen met een nieuw beton. Bij het GCP en ICCP scenario wordt een betonherstel met een volume van 3% ingeschat. Deze default scenario's worden vergeleken met een klassiek herstel waarbij een groter volume beton herstel met herstelmortel (10% en 20% i.p.v. 5%) wordt voorzien voor een eerste interventie. De aannames voor tweede interventie voor een verdere verlenging van de levensduur tot 40 jaar worden behouden zoals opgesteld in het default scenario. De vergelijking wordt gemaakt voor MG1 en MG2 voor zowel de milieu-impact als op financieel vlak, en dit voor een levensduurverlenging van 20 en 40 jaar.

2.4.4. SA4: Aantal benodigde opofferanodes voor de bescherming van de wapening

In het GCP scenario worden er opofferanodes (type inboor) toegepast om de wapening te beschermen tegen corrosie. Deze anodes bevatten een kern van zink, welke zichzelf zal 'opofferen' ten voordele van de wapening. Afhankelijk van de hoeveelheid wapening die beschermt dient te worden voor een welbepaalde periode, is een bepaalde hoeveelheid zink nodig (omgerekend naar aantal anodes/m² balkon). In het default scenario worden er vier inbooranodes per m² balkon voorzien. In de sensitiviteitsanalyse wordt de milieu-impact geëvalueerd wanneer er meer of minder anodes zouden worden toegepast (met behoud van de levensduurverlenging van 20 jaar).

2.4.5. SA5: Impact end-of-life-fase opofferanodes

Bij toepassen van opofferanodes kan een gevoeligheid worden opgemerkt met betrekking tot de end-of-life-fase. Wanneer het gehele balkon zou worden afgebroken, wordt het betonpuin en de wapening gescheiden. Er wordt verondersteld dat de anodes tot de fractie van het betonpuin behoren, aangezien het praktisch moeilijk haalbaar zal zijn om deze te scheiden. De kern van zink is na het einde van de levensduur (al dan niet volledig) 'opgebruikt' en omgezet naar zinkoxide. Het betonpuin bevat dus een fractie zinkoxide (en mogelijk ook zink). Zinkoxide komt hier waarschijnlijk voor als vaste stof (dit is o.a. ook afhankelijk van de pH van de omgeving). Het is echter onduidelijk hoe zinkoxide zal reageren indien het betonpuin wordt toegepast in een onderfundering. Aangezien het betonpuin gecontamineerd is met chloriden, zal het niet als gerecycleerd granulaat gebruikt worden voor een nieuwe betonconstructie. Er kan worden verondersteld dat de zinkoxide onoplosbaar blijft, en dus zonder bijkomende maatregelen het betonpuin als onderfundering kan worden toegepast. De veronderstelling dat de opofferanodes bij de inerte fractie gerekend kunnen worden, is een gunstige veronderstelling op vlak van milieu-impact. In een 'worst case' scenario kan worden aangenomen dat zinkoxide (en het resterende gedeelte zink) wel oplosbaar zal zijn, en dus kan uitloggen naar het grondwater/bodem. Dit heeft een effect met betrekking tot de ecologische toxiciteit [46]. In de sensitiviteitsanalyse wordt de milieu-impact vergeleken voor het toepassen van een inbooranode (productie + end-of-life-fase) voor de aanname van een inerte EoL en 'worst case' EoL. Echter, er is verder onderzoek nodig om te achterhalen hoe de impact van end-of-life-fase van opofferanodes zal zijn. Er kan worden opgemerkt dat het een verschil uitmaakt of de uitloging naar de bodem (in het 'worst case' scenario) in een beschermd natuurgebied zal plaatsvinden of in een reeds geïndustrialiseerde omgeving. In een LCA wordt echter enkel geëvalueerd welke impact een product of een proces teweeg brengt. De invloed van waar deze impact terecht zal komen, valt buiten de scope van een LCA.

3. Resultaten case study

3.1 Resultaten milieu-impact (LCA)

De resultaten van de Life Cycle Assessment voor de default scenario's van de beide modelgebouwen worden in deze paragraaf besproken. De totale impact wordt uitgedrukt als single score en weergegeven voor de gedefinieerde herstelsenario's om te voldoen aan de voorgestelde FU. De resultaten van de midpoints voor een FU van 20 jaar, worden weergegeven in [Bijlage E](#).

Cumulatieve impact (weergave tijdlijn)

De grafieken in Figuur 3-1 en Figuur 3-2 geven de totale cumulatieve impact weer, uitgedrukt als single score, respectievelijk voor MG1 en MG2. De impact wordt weergegeven op de tijdlijn op het moment dat deze zich voordoet. Er wordt opgemerkt dat er na 40 jaar (of na 20 jaar bij het patch repair scenario), er opnieuw een interventie nodig is die een impact teweeg zal brengen (een herstelling of volledige sloop), maar deze buiten de gedefinieerde FU valt en daarom dus niet wordt weergegeven.

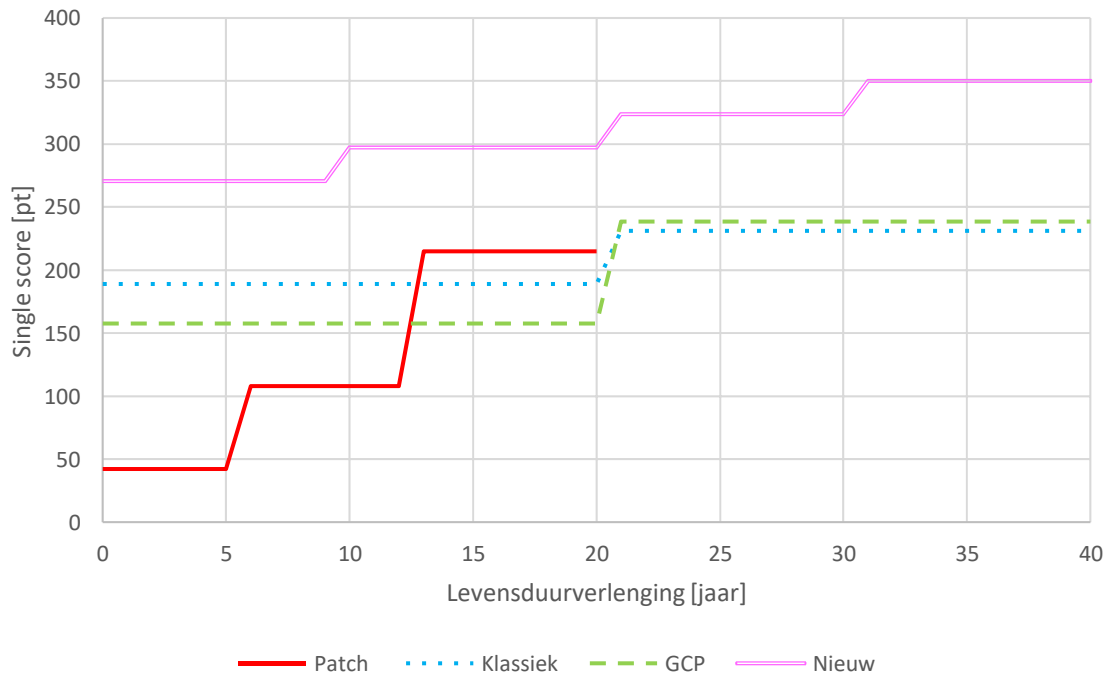
Modelgebouw 1 (Figuur 3-1):

- Het Patch Repair scenario heeft initieel het minste impact, gezien dit in omvang de kleinste interventie is. De eerstvolgende laagste optie is GCP en bedraagt een impact die 2,7 maal hoger ligt dan één interventie Patch Repair. Ook na een tweede interventie (tot een levensduurverlenging van 13 jaar) blijkt Patch laagste score te behouden. Echter, er wordt verondersteld dat met lokale herstellingen de levensduur van het balkon maar maximaal voor een periode van 20 jaar te kunnen verlengen. Voor die maximale verlenging van 20 jaar (met drie interventies in totaal) blijkt Patch Repair niet meer de voordeligste optie.
- Het toepassen van GCP heeft bij aanvang een lagere impact (20% minder) dan klassiek (waarbij een veel groter volume betonherstel wordt uitgevoerd), maar voor een bijkomende levensduurverlenging na 20 jaar komt de totale impact van een GCP scenario hoger (3% meer) uit dan klassiek. Er dient worden opgemerkt dat de omvang van de benodigde interventie op jaar 20 een inschatting is.
- De totale vernieuwing balkons heeft steeds de grootste impact: 6,4 maal de impact van Patch (FU=5j), 1,9 maal de impact van GCP (FU=20j) en 1,5 maal de impact van klassiek (FU=40j).

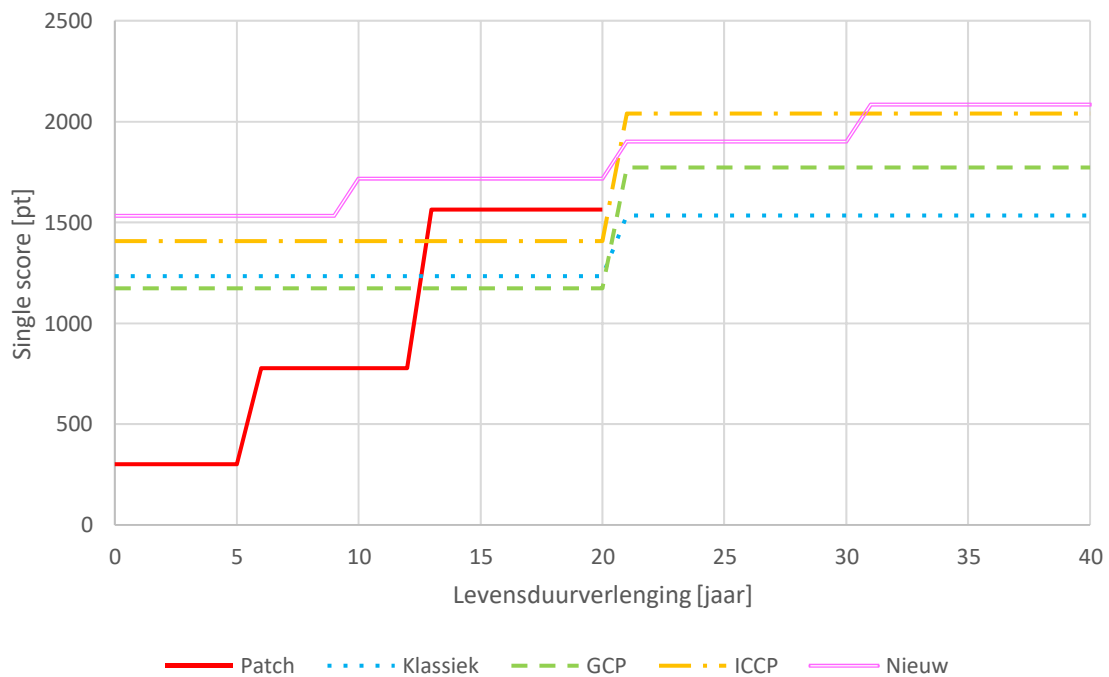
Modelgebouw 2 (Figuur 3-2):

- Het scenario waarin de balkons volledig worden afgebroken en opnieuw opgebouwd blijkt ook bij MG2 initieel en voor een levensduurverlenging van 40 jaar de minst gunstige optie.
- Patch repair veroorzaakt ook bij MG2 initieel het minste milieu-impact, ongeveer 25% van de eerstvolgende meest gunstige optie. Voor een overbrugging van 20 jaar is Patch met drie interventies niet de meest gunstige optie.
- Bij de eerste levensduurverlenging (voor een periode van 20 jaar) hebben het scenario klassiek en GCP een gelijke impact ($\pm 5\%$). Bij MG1 had klassiek in dat geval een grotere impact: dit verschil is te wijten aan het verschil in configuratie van de balkons. Bij klassiek herstel wordt de volledige rand vervangen en bij individuele balkons (zoals bij MG1) is de verhouding rand ten opzichte van het totaal aantal lopende meter groter dan bij doorlopende balkonplaten (zoals MG2).
- Voor een verlenging van 40 jaar blijkt met de gemaakte aannames dat een klassiek herstel voor de case de meest gunstige optie is (13% dan de eerstvolgende laagste optie).

- Bijkomend bij MG2 is het ICCP-scenario: initieel brengt deze hersteltechniek een hoge milieu-impact teweeg (3,5 maal hoger dan patch). Wanneer de bestaande situatie met 20 jaar wordt verlengt, is ICCP 13% gunstiger dan Patch. Na een tweede interventie, om een levensduur van 40 jaar te bereiken, is de impact gelijkaardig aan het scenario Nieuw.



Figuur 3-1: Totaal cumulatieve milieu-impact MG1



Figuur 3-2: Totaal cumulatieve milieu-impact MG2

Impact per categorie en benutting van de potentiële levensduurverlenging

De grafieken aan de linkerkant van Figuur 3-3 en Figuur 3-4 geven de impact per categorie weer die een hersteltechniek teweegbrengt om een levensduurverlenging van de bestaande situatie te bekomen en dit per FU. De totale impact wordt onderverdeeld in vier categorieën: (i) afbraak bestaande situatie, (ii) het betonherstel, (iii) het herstel en/of de bescherming van de wapening en (iv) de bescherming van het gehele balkon, wat de waterdichting aan de bovenzijde en coating aan de onderzijde en rand omvat. De impact van de categorie 'afbraak' kan netto negatief zijn: de winst die bekomen wordt omwille van recyclage van het staal en de uitsparing van een productieproces van wapeningsstaal is groter dan de impact van het afbraakproces. Zodoende wordt een negatieve impact bekomen voor het verwijderen van wapeningsstaal. Deze negatieve impact is bovendien groter dan de impact van het verwijderen van de inerte sloopfractie (o.a. het betonpuin), waardoor de score van de afbraak bij het scenario 'Nieuw' een negatieve waarde heeft. Het effect van de negatieve impact bij het verwijderen van wapeningsstaal is ook zichtbaar wanneer het scenario Klassiek en GCP worden vergeleken: hoewel er bij Klassiek meer wordt afgebroken (wapening rand + 5% volume + rand beton) dan in GCP (3% volume), heeft Klassiek toch een lagere impact in de categorie 'afbraak' omdat er hier wapening wordt gerecupereerd. Er wordt opgemerkt dat de wapening die wordt afgebroken, nadien wel weer wordt vervangen: dit geheel brengt netto wel een positieve impact met zich mee. De impact van de categorie 'bescherming' omvat bij het scenario Patch enkel de beschermende coating aan de onderzijde en rand. Voor de andere scenario's (Klassiek, GCP, ICCP en Nieuw) komt hier telkens ook de waterdichting bij. Het onderhoud van de coating bij Nieuw wordt ook hierbij gerekend voor de FU van 20 en 40 jaar.

De grafieken aan de rechterkant van Figuur 3-3 en Figuur 3-4 geven de totale impact weer per hersteltechniek voor een gedefinieerde FU. De gehele balk geeft deze totale impact weer die door de keuze van de hersteltechniek teweeg is gebracht. Het zwart ingekleurde gedeelte op deze balk geeft weer hoeveel er van het potentieel van de totale levensduurverlenging van de techniek wordt benut voor de gedefinieerde FU. Wanneer een verlenging van de bestaande balkons voor 5 jaar is gewenst, zou er gesteld kunnen worden dat bij een klassiek herstel het potentieel van deze techniek voor 5/20^{ste} (25%) wordt 'benut'. Uiteraard kan er niet gesteld worden voor een verlenging van 5 jaar er ook maar 25% van de totale milieu-impact kan worden toegewezen aan dit scenario. Er wordt immers geen uitspraak gedaan over de gebeurtenissen (een blijvende verlenging of totale sloop) die zullen plaatsvinden in de periode die buiten de analyseperiode valt.

Om de meest geschikte techniek te selecteren dient zowel de totale impact zo laag mogelijk gehouden te worden als 'het potentieel' van een techniek zo optimaal mogelijk te benutten voor de bestudeerde FU.

Modelgebouw 1 (Figuur 3-3):

- Wanneer een FU van 5 jaar wordt beschouwd, blijkt Patch Repair de meest gunstige optie: enerzijds heeft dit scenario met laagste totale impact en wordt het potentieel volledig 'benut'.
- Wanneer Klassiek en GCP worden vergeleken heeft de categorie 'betonherstelling' een groter aandeel bij klassiek (gezien een grotere volume beton wordt hersteld) dan GCP. Bij GCP wordt de impact van de categorie 'wapening' bepaald door de opofferanodes, dewelke groter is in dit geval dan het vervangen van de wapening aan de balkonreus.
- Het aandeel betonherstel bij Patch is voor een FU van 20 jaar (sommatie van de drie interventies) groter dan bij Nieuw (10% meer), hoewel het hier om kleiner totaal volume gaat dan een totale vervanging van de balkons (25% vs. 100% volume). Hier wordt telkens gewerkt met een structurele herstelmortel (klasse R4), wat een hogere impact heeft dan beton per volume-eenheid.

-
- Het scenario Nieuw heeft telkens totaal de grootste impact; hoewel de categorie 'afbraak' een netto negatieve impact heeft. Het potentieel van deze keuze wordt voor een FU van 5 of 20 jaar slechts deels benut.

Modelgebouw 2 (Figuur 3-4):

- Ook voor MG2 blijkt Patch Repair de meeste gunstige optie wanneer een levensduurverlenging van 5 jaar beschouwd wordt: dit scenario heeft zowel de laagste totale impact en benut ook het volledige potentieel van de techniek.
- Voor een FU van 5 en 20 jaar hebben Klassiek en GCP ongeveer evenveel impact, waarbij Klassiek een groter aandeel in het betonherstel en bij GCP in het beschermen van de wapening door het gebruik van opofferanodes. Wanneer een bijkomende interventie nodig is om een totale levensduurverlenging van 40 jaar te verkrijgen, heeft het GCP-scenario een grotere totale impact, veroorzaakt door de nieuwe opofferanodes die geplaatst worden om de wapening verder te beschermen.
- Als de scenario's GCP en ICCP worden vergeleken, kan worden vastgesteld dat ze dezelfde impact in categorieën 'afbraak', 'betonherstel' en 'bescherming' voor elke FU vertonen. Het verschil bevindt zich in hoe de wapening zal beschermd worden: via een passief systeem met opofferanodes of actief systeem met opgedrukte stroom. In deze case blijkt een ICCP-systeem een grotere impact te veroorzaken dan GCP (36% voor een FU van 40 jaar).

FU = 5 jaar



FU = 20 jaar



FU = 40 jaar



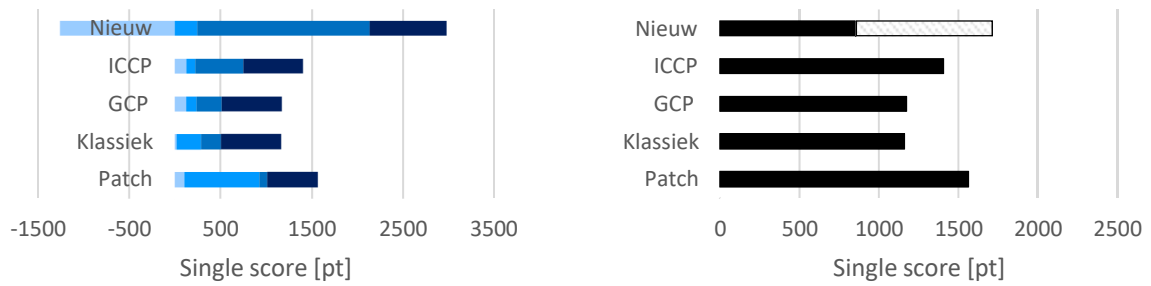
- Afbraak bestaand
- Betonherstel
- Herstel/ bescherming wapening
- Bescherming
- "benutting" potentieel
- TOTAAL

Figuur 3-3: Impact per categorie per FU - MG1

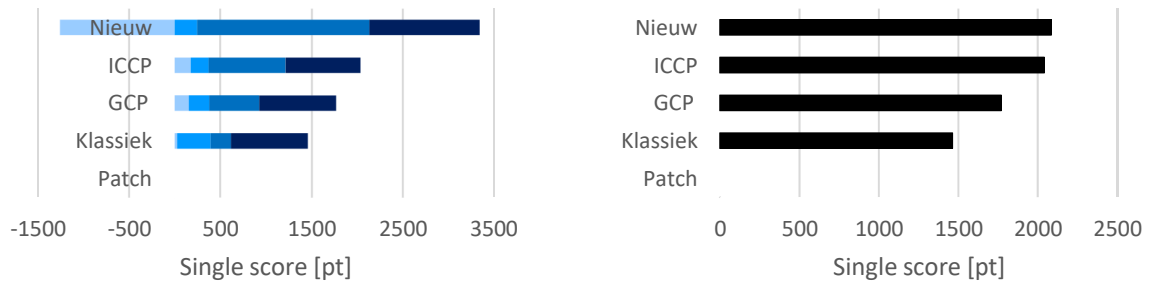
FU = 5 jaar



FU = 20 jaar



FU = 40 jaar



- Afbraak bestaand
- Betonherstel
- Herstel/ bescherming wapening
- Bescherming
- "benutting" potentieel
- TOTAAL

Figuur 3-4: Impact per categorie en per FU - MG2

3.2 Resultaten financiële impact (LCC)

De resultaten van de Life Cycle Cost voor de default scenario's van de beide modelgebouwen worden in deze paragraaf besproken. De totale NPV wordt weergegeven voor de gedefinieerde herstelsenario's om te voldoen aan de voorgestelde FU.

Cumulatieve NAW (weergave tijdlijn)

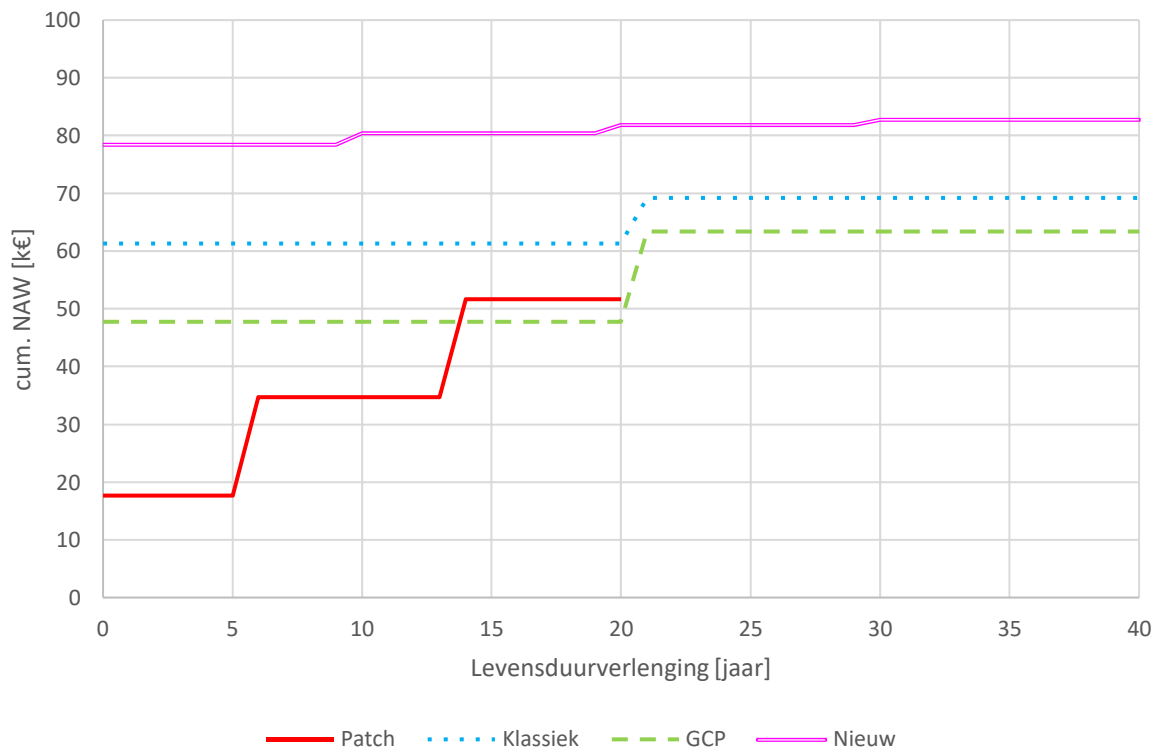
De grafieken in Figuur 3-5 en Figuur 3-6 geven de (totale) cumulatieve NAW weer, voor MG1 en MG2. De kost wordt weergegeven wanneer dit zich voordoet op de tijdlijn, want het tijdstip is van belang bij een LCC. Er is gerekend met een actualisatievoet van 4%. Er wordt opgemerkt dat er na 40 jaar (of na 20 jaar bij het patch repair scenario), er opnieuw een interventie nodig is die een kost teweeg zal brengen (een herstelling of volledige sloop), maar deze buiten de gedefinieerde FU valt en daarom dus niet wordt weergegeven.

Modelgebouw 1 (Figuur 3-5):

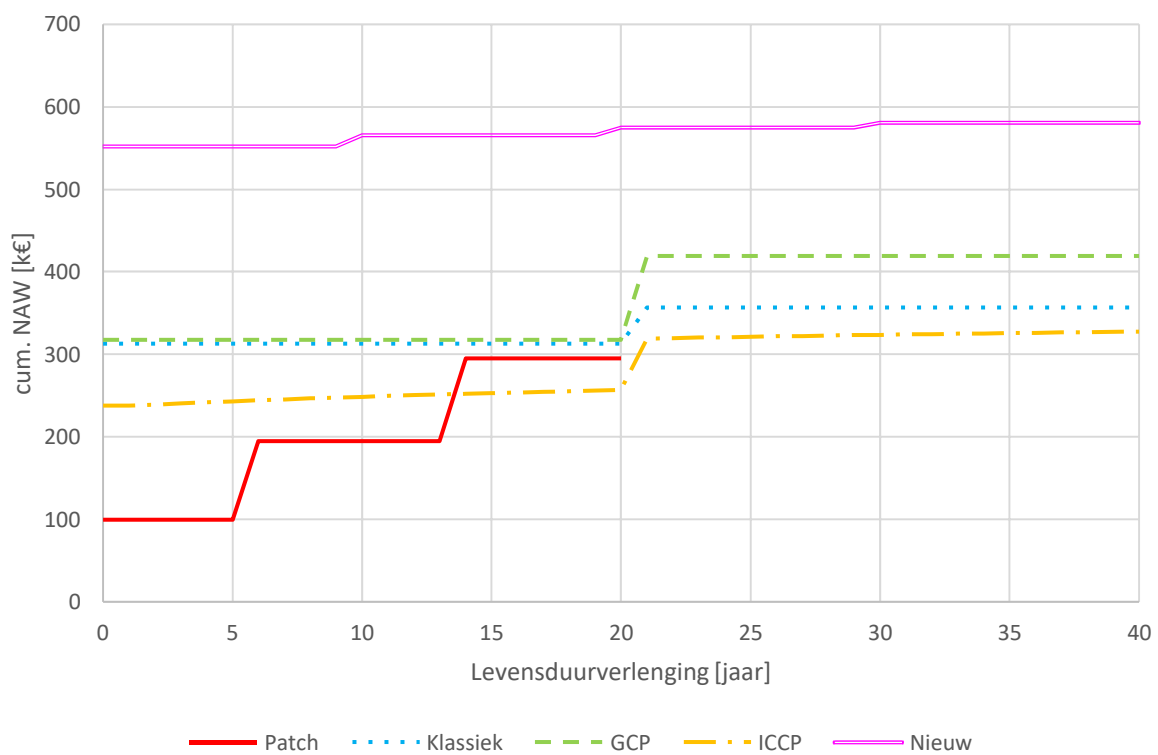
- Gedurende de eerste twee interventies tijdens het Patch Repair scenario (tot een levensduurverlenging van 13 jaar), blijkt dit financieel gezien de meest gunstige optie: 60% goedkoper dan de eerstvolgende voordeligste optie. Om een levensduurverlenging van 20 jaar te bekomen, worden drie interventies nodig geacht wanneer Patch Repair wordt toegepast, wat de onzekerheid over de totaalprijs groter maakt.
- Om de levensduur van de balkons met 20 jaar te verlengen, blijkt een herstel met het toepassen van inbooranodes (GCP) het meest economisch, hoewel het verschil met Patch Repair beperkt is ($\pm 8\%$). Om na een periode van 20 jaar de levensduur opnieuw te verlengen, dienen er nieuwe opofferanodes geplaatst te worden in het GCP scenario. De kost van deze interventie is groter dan de bijkomende interventie tijdens het scenario met een klassiek herstel, maar GCP blijft een gunstigere totale NAW behouden dan klassiek.
- Een volledige vervanging van de balkons blijft gedurende de totaal beschouwde periode van 40 jaar financieel gezien de minst gunstige optie. GCP blijkt voor 40 jaar de voordeligste optie.

Modelgebouw 2 (Figuur 3-6):

- Het Patch Repair scenario (tot een levensduurverlenging van 13 jaar) blijkt financieel gezien de meest gunstige optie na deze twee interventies. Om een levensduurverlenging van 20 jaar te bekomen, worden drie interventies nodig geacht wanneer Patch Repair wordt toegepast, wat de onzekerheid over de totaalprijs groter maakt.
- Voor een levensduurverlenging van 20 jaar blijkt ICCP financieel het meest voordelig te zijn, waarbij ook een onderhoudscontract werd ingerekend voor de jaarlijkse controles. Voor diezelfde periode blijken Klassiek en GCP ook gelijkwaardig (1,5% verschil), echter een volgende interventie voor een bijkomende verlenging van 20 jaar, blijkt de optie klassiek financieel gunstiger (17% t.o.v. GCP).
- Een volledige vervanging van de balkons blijft gedurende de totaal beschouwde periode van 40 jaar financieel gezien de minst gunstige optie, net zoals het geval was bij MG1.



Figuur 3-5: LCC tijdlijn - MG1



Figuur 3-6: LCC tijdlijn - MG2

Impact per categorie en benutting van de potentiële levensduurverlenging

De grafieken aan de linkerkant van Figuur 3-7 en Figuur 3-8 geven de kost per categorie weer die een hersteltechniek teweegbrengt om een levensduurverlenging van de bestaande situatie te bekomen en dit per FU. De totale kost wordt onderverdeeld in vier categorieën: (i) afbraak bestaande situatie, (ii) het betonherstel, (iii) het herstel en/of de bescherming wapening en (iv) de bescherming van het gehele balkon, wat de waterdichting aan de bovenzijde en coating aan de onderzijde en rand omvat. In tegenstelling tot de LCA waarbij een categorie een netto een negatieve impact kan hebben, brengt elke categorie een kost met zich mee.

De grafieken aan de rechterkant van Figuur 3-7 en Figuur 3-8 geven de totale kost (uitgedrukt als Netto Actuele Waarde) weer per hersteltechniek voor een gedefinieerde FU. De gehele balk geeft deze totale kost weer die door de keuze van de hersteltechniek teweeg is gebracht. Het zwart ingekleurde gedeelte op deze balk geeft weer hoeveel er van het potentieel van de totale levensduurverlenging van de techniek wordt benut voor de gedefinieerde FU. Wanneer een verlenging van de bestaande balkons voor 5 jaar is gewenst, zou er gesteld kunnen worden dat bij een klassiek herstel het potentieel van deze techniek voor 5/20^{ste} (of 25%) wordt 'benut'. Uiteraard kan er niet gesteld worden voor een verlenging van 5 jaar er ook maar 25% van de totale kost kan worden toegewezen aan dit scenario. Er wordt immers geen uitspraak gedaan over de gebeurtenissen (een blijvende verlenging of totale sloop) die zullen plaatsvinden in de periode die buiten de analyseperiode valt.

Om de meest geschikte techniek te selecteren dient zowel de totale kost zo laag mogelijk gehouden te worden als 'het potentieel' van een techniek zo optimaal mogelijk te benutten voor de bestudeerde FU.

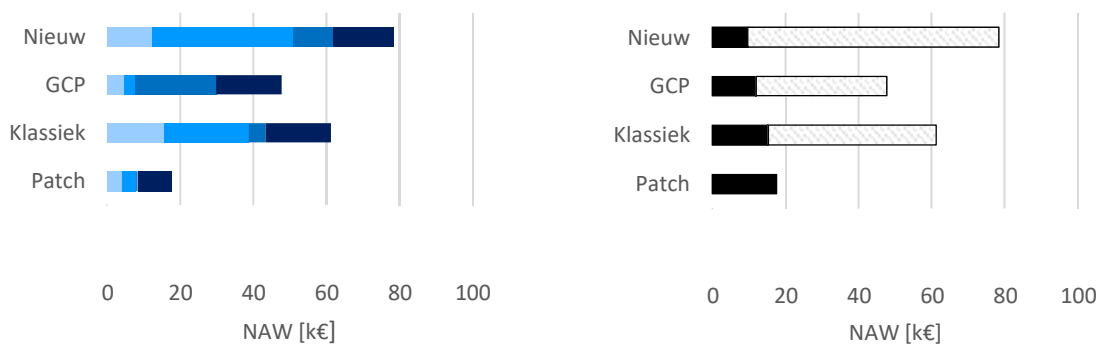
Modelgebouw 1 (Figuur 3-7):

- Voor de gedefinieerde FU van 5 jaar blijkt Patch Repair financieel gezien het meest gunstige scenario: dit omvat de laagste totale kost en het potentieel wordt volledig 'benut' in deze periode.
- Wanneer de bestaande balkons hersteld zouden worden om een levensduurverlenging van 20 jaar te bekomen, blijkt GCP de meest voordelige optie. Zowel GCP, Klassiek als Patch benutten volledig het potentieel van hun methode in deze periode, maar Klassiek en GCP hebben een grotere NAW.
- Voor de drie gedefinieerde FU's blijkt een totale vervanging van de balkons steeds de grootste kost te bedragen. Bovendien wordt deze investering slechts deels benut wanneer een levensduurverlenging van slechts 5 of 20 jaar gewenst zou zijn.

Modelgebouw 2 (Figuur 3-8):

- Voor de gedefinieerde FU van 5 jaar blijkt Patch Repair financieel gezien het meest gunstige scenario: dit omvat de laagste totale kost en het potentieel wordt volledig 'benut' in deze periode
- Voor een FU van 20 jaar blijkt ICCP het meest voordelig, ook al wordt er een jaarlijkse kost ingerekend voor de controle van het systeem. Daarna volgen Patch, Klassiek en GCP, maar de verschillen tussen deze drie technieken onderling zijn gering ($\pm 5\%$).
- Voor de drie gedefinieerde FU's blijkt het scenario 'Nieuw' steeds de grootste kost te bedragen

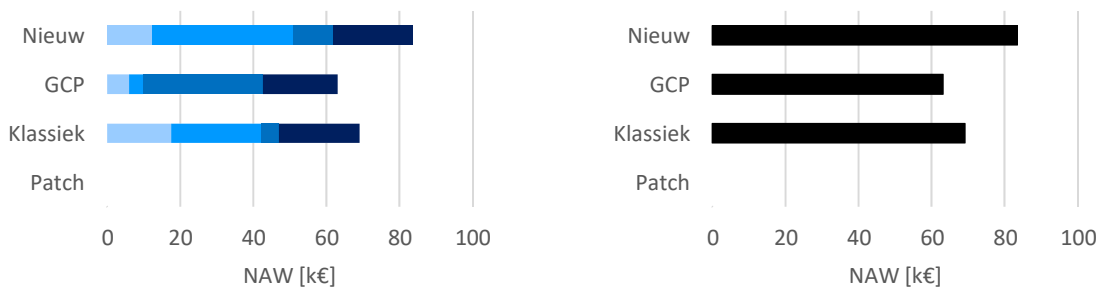
FU = 5 jaar



FU = 20 jaar



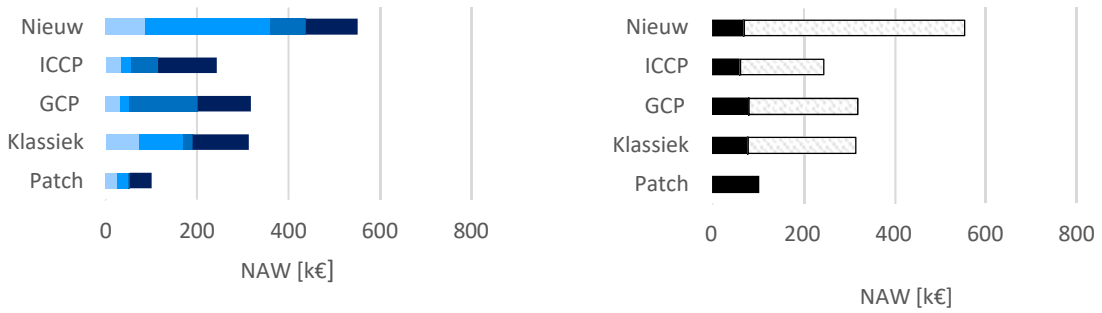
FU = 40 jaar



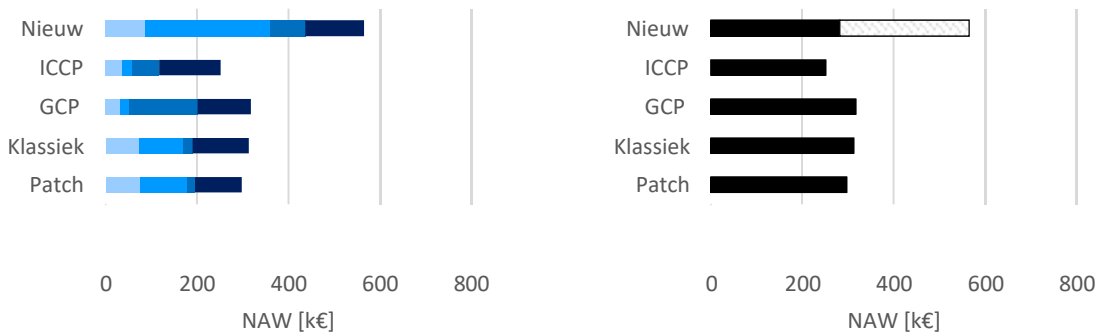
- Afbraak bestaand
- Betonherstel
- Herstel/ bescherming wapening
- Bescherming
- "benutting" potentiel
- TOTAAL

Figuur 3-7: NAW per categorie - MG1

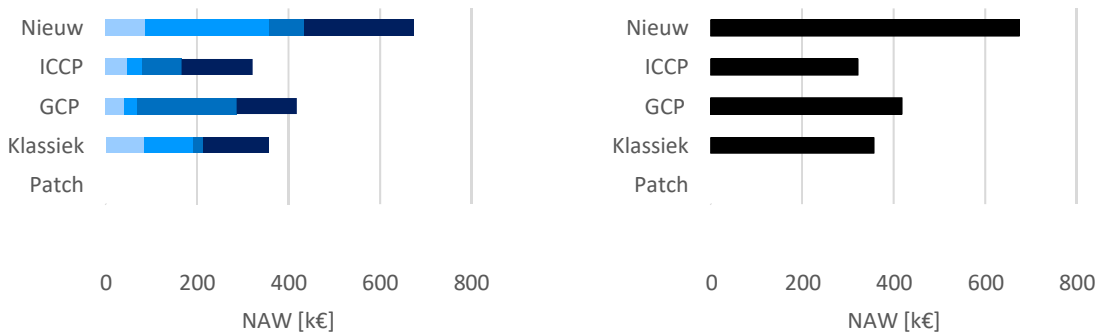
FU = 5 jaar



FU = 20 jaar



FU = 40 jaar



- Afbraak bestaand
- Betonherstel
- Herstel/ bescherming wapening
- Bescherming
- "benutting" potentieel
- TOTAAL

Figuur 3-8: NAW per categorie - MGz

3.3. Resultaten LCA en LCC gecombineerd

Om de hersteltechnieken te evalueren op vlak van milieu en financiële impact, worden de resultaten van de LCA en LCC gecombineerd weergegeven in dit deel voor de default scenario's.

Weergave LCA vs. LCC score per FU

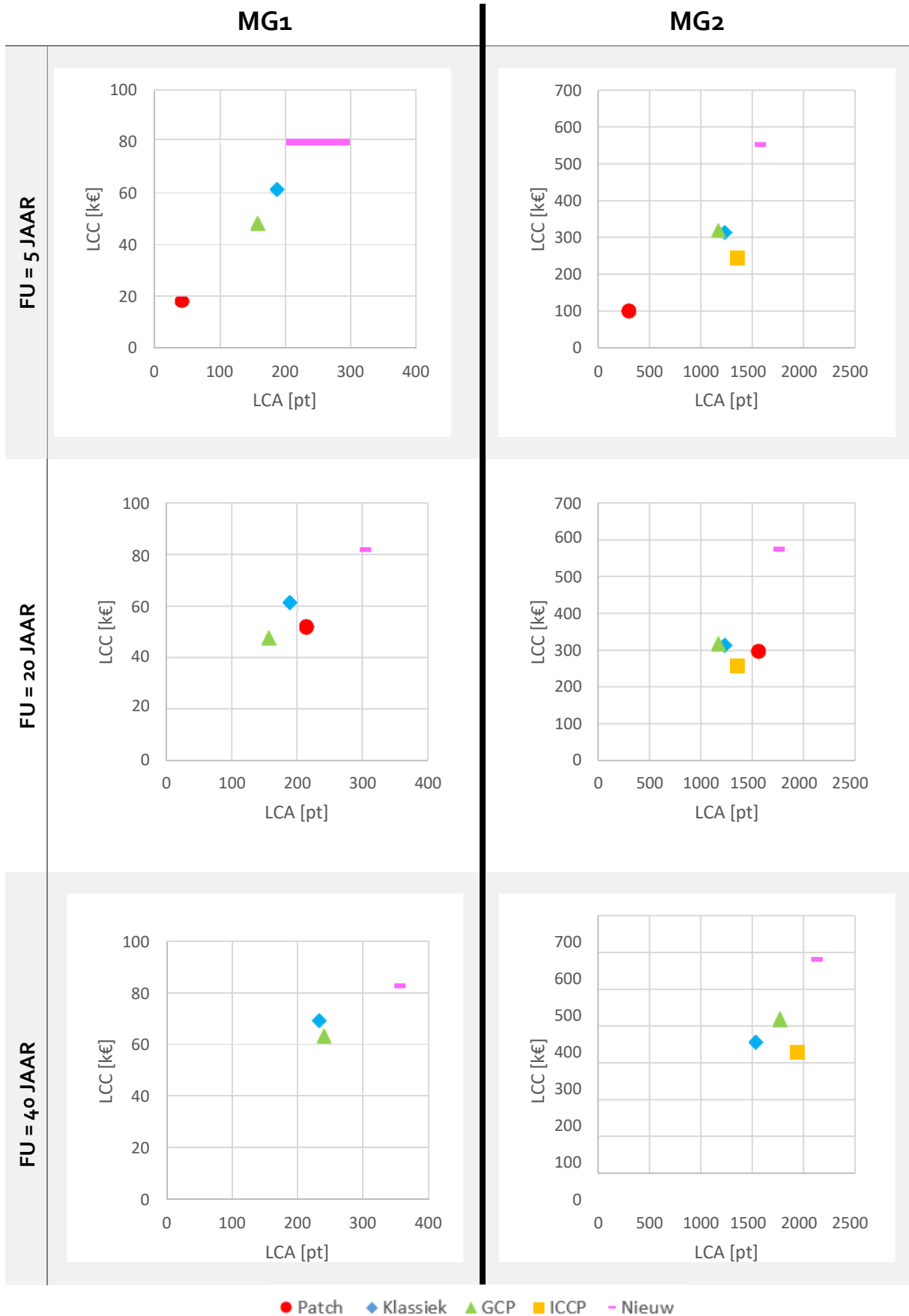
De resultaten van de LCC en LCA worden weergegeven op eenzelfde grafiek om de herstelopties op vlak van financiële en milieu-impact te vergelijken per FU. De totale milieu-impact en totale kost voor een levensduurverlenging van 5, 20 en 40 jaar wordt gevisualiseerd in Figuur 3-9. De LCA score (uitgedrukt in pt) wordt weergegeven op de x-as, de LCC score (uitgedrukt in k€) op de y-as. De meest gunstige optie bevindt zich het dichtst tegen de oorsprong van de grafiek, waar een hersteltechniek de minste financiële en milieu-impact met zich meebrengt. Er wordt hier geen rekening gehouden met eventuele 'restwaarde'.

Modelgebouw 1:

- Voor een levensduurverlenging van 5 jaar is patch afgetekend op LCA en LCC vlak de meest gunstige scenario. Hier geldt: hoe groter de omvang van het herstel, des te groter de milieu-impact en kosten
- Om de staat van de balkons 20 jaar te verlengen, scoort het GCP het beste op zowel LCA als LCC. Wanneer 40 jaar levensduurverlenging gevraagd is, blijkt klassiek gunstiger op LCA vlak, en GCP gunstiger op LCC. De verschillen tussen beide scenario's zijn echter beperkt.
- Een volledige vervanging blijkt steeds op LCA als LCC vlak de minst voordelige optie voor de drie gedefinieerde FU's (bevindt zich telkens het verst van de oorsprong van de grafiek).

Modelgebouw 2:

- Ook hier blijkt patch voor een FU van 5 jaar duidelijk het te verkiezen scenario op zowel LCA als LCC vlak.
- Wanneer een verlenging van 20 jaar gevraagd is, zijn de scenario's GCP en ICCP een optimum: GCP heeft de laagste LCA-score en ICCP de laagste LCC. De andere scenario's veroorzaken een hogere milieu-impact wanneer een lagere LCC-score wordt verkozen, of visa versa. Het verschil tussen GCP en Klassiek is echter beperkt (5% LCC en 14% LCA). Welke optie er wordt verkozen is afhankelijk of de impact op het milieu of de kosten zal doorwegen op de beslissing.
- Als een verlenging van 40 jaar gewenst is, wordt de afweging gemaakt tussen klassiek en ICCP. GCP heeft een lagere LCA-score dan ICCP (-10%), maar een hogere kost dan Klassiek (+17%). De totale vervanging heeft in deze FU (net zoals de voorgaande) zowel de hoogste financiële als milieu-impact.



Figuur 3-9: LCA vs. LCC per FU - MG1 & MG2

Weergave procentueel aandeel per categorie voor LCA en LCC (FU = 20 jaar)

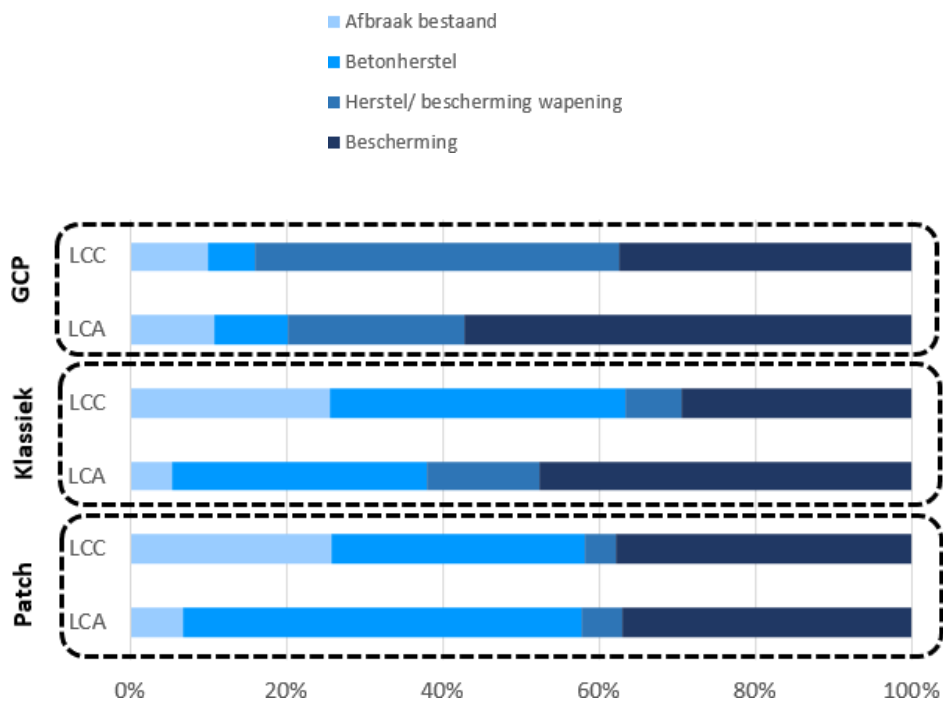
De staafdiagrammen op Figuur 3-10 en Figuur 3-11 geven per categorie (afbraak, betonherstel, wapening, bescherming) procentueel het aandeel weer van de milieu-impact en kost voor een FU van 20 jaar, respectievelijk voor MG1 en MG2. Omdat hier enkel de FU voor een levensduurverlenging van 20 jaar wordt beschouwd, wordt het scenario 'Nieuw' niet meegenomen aangezien dit scenario nog een 'restwaarde' heeft. Van de totale impact wordt procentueel weergegeven welk aandeel elke categorie omvat. Aangezien in de LCC kosten worden ingerekend welke niet tot een bepaalde categorie specifiek behoren (vb. voor de algemene uitvoering van de werken zoals het plaatsen van een stelling of de jaarlijkse monitoring van het ICCP-systeem), worden deze kosten verdeeld over vier gedefinieerde categorieën.

Modelgebouw 1 (Figuur 3-10):

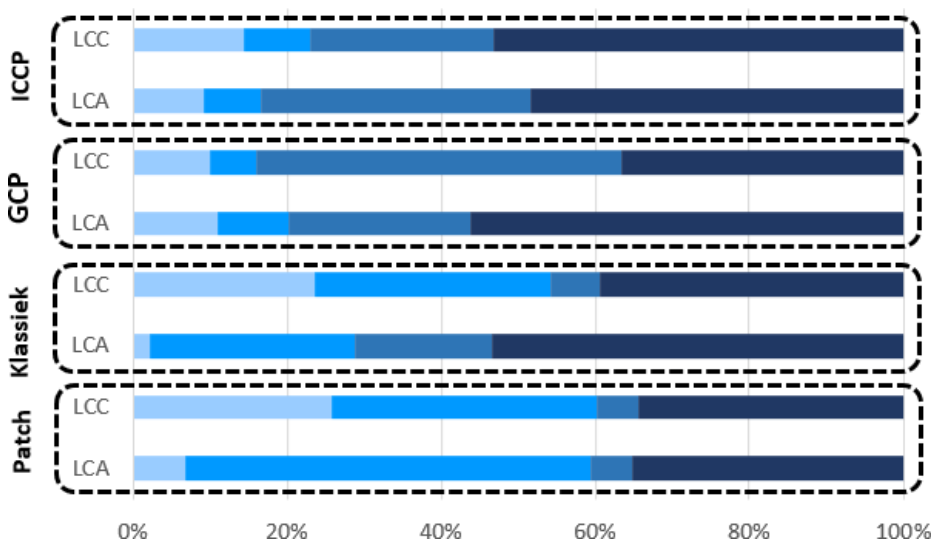
- Voor zowel Patch als Klassiek blijkt de categorie 'Afbraak' een groter aandeel in de totale kost (26%) dan in de totale milieu-impact te omvatten (6%). Er kan hier worden opgemerkt dat in de categorie 'afbraak' bij Klassiek het verwijderen van de wapening in de balkonrand een negatieve LCA-impact heeft, maar er bij LCC nooit een negatieve kost kan zijn.
- Bij het Patch Repair blijken de subprocessen 'bescherming wapening' en 'bescherming geheel' procentueel een even groot aandeel (37%) te hebben in de LCA als LCC. Bij Klassiek en GCP heeft de bescherming van het geheel een groter aandeel in de LCA (resp. 48% en 57%) dan de LCC (resp. 29% en 37%).
- Bij het GCP scenario hebben de opofferanodes, als onderdeel van het bescherming van de wapening, een groter aandeel in de LCC (47%) dan in de LCA (23%).

Modelgebouw 2 (Figuur 3-11):

- Voor zowel Patch als Klassiek blijkt de categorie 'Afbraak' een groter aandeel in de totale kost (resp. 26% en 24%) dan in de totale milieu-impact te omvatten (resp. 7% en 2%). Er kan hier worden opgemerkt dat in de categorie 'afbraak' bij Klassiek het verwijderen van de wapening in de balkonrand een negatieve LCA-impact heeft, maar er bij LCC nooit een negatieve kost kan zijn.
- Bij het Patch Repair en ICCP blijken de 'bescherming geheel' procentueel een even groot aandeel (resp. 35% en ca. 50%) te hebben in de LCA als LCC. Bij Klassiek en GCP heeft de bescherming van het geheel een groter aandeel in de LCA (resp. 53% en 56%) dan de LCC (resp. 39% en 37%).
- Wanneer een passief en actief KB-systeem worden vergeleken in het gedeelte hoe de wapening wordt beschermd, hebben opofferanodes een hogere kost t.o.v. het actieve KB-systeem met een geleidende coating (47% vs. 24%). Op LCA-vlak bedraagt het aandeel bij ICCP meer dan GCP (35 vs. 24%).



Figuur 3-10: Procentueel aandeel per categorie LCA en LCC, FU = 20 jaar - MG1



Figuur 3-11: Procentueel aandeel per categorie LCA en LCC, FU = 20 jaar - MG2

3.3 Resultaten sensitiviteitsanalyses

3.3.1. SA1: Potentiele levensduurverlenging bij Patch Repair

Wanneer een potentiële levensduurverlenging van 10 jaar wordt aangenomen bij het Patch repair scenario, dan volstaan twee interventies om te voldoen aan de FU van 20 jaar. Figuur 3-12 en Figuur 3-13 geven het resultaat weer van de totale LCA en LCC-score. De LCA-score bedraagt dezelfde als die van de twee eerste default gedefinieerde interventies van een patch repair. Bij de LCC is het bijkomende verschil dat de NAW van de tweede interventie op jaar 10 wordt bepaald, wat de totale NAW wijzigt t.o.v. de default scenario's. Met de default gemaakte aannames was GCP het meest voordelig op vlak van LCA en LCC voor MG₁. Uit deze sensitiviteitsanalyse blijkt dat twee Patch interventies meten een totale levensduurverlenging van 20 jaar nog gunstigere uit te komen. Dit punt bevindt zich het dichtst tegen de oorsprong op de grafiek. Ook bij MG₂ blijkt dit voordeliger dan het meest gunstige scenario met de default aannames. De aanname van de potentiële levensduurverlenging van een hersteltechniek heeft dus een belangrijke invloed op de resultaten.

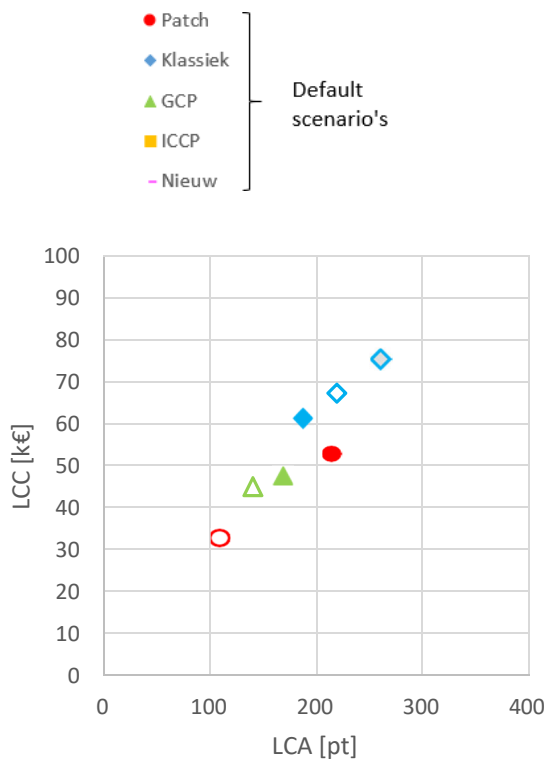
3.3.2. SA2: Toepassing coating bij KB-herstelopties

Het toepassen van een beschermende coating aan de onderzijde van de balkons is niet strikt technisch noodzakelijk wanneer de wapening wordt beschermd via het principe van kathodische bescherming (GCP en ICCP). Daarom worden in deze sensitiviteitsanalyse de default scenario's (telkens met coating) vergeleken met de scenario's GCP en ICCP voor een FU voor 20 en 40 jaar zonder coating. In een FU van 20 jaar wordt het verschil in de LCA en LCC-score voor het eenmalig toepassen van de coating opgemerkt, bij 40 jaar is dit een verschil van twee maal de coating. Figuur 3-12 en Figuur 3-14 geven de resultaten weer voor MG₁, Figuur 3-13 en Figuur 3-15 voor MG₂. Wanneer MG₁ wordt beschouwd, was GCP reeds het meest gunstige scenario, zowel op LCA als LCC vlak voor een levensduurverlenging van 20 en 40 jaar van de bestaande balkons. Wanneer er geen coating wordt ingerekend, is de score nog gunstiger. In het geval van MG₂ waren GCP en ICCP als optima bevonden, waarbij een klassiek herstel slechts een klein verschil toonde met GCP voor een FU van 20 jaar. Wanneer geen coating wordt toegepast zijn GCP en ICCP duidelijke optima. Indien een levensduurverlenging van 40 jaar voor de balkons van 40 jaar wordt voorzien, was een klassiek herstel in de default opgestelde scenario's het meest gunstig, zowel op vlak van LCA als LCC. Wanneer geen coating wordt voorzien in GCP en ICCP, blijkt dat deze scenario's samen met het default klassiek herstel de meest optimale keuzes blijken.

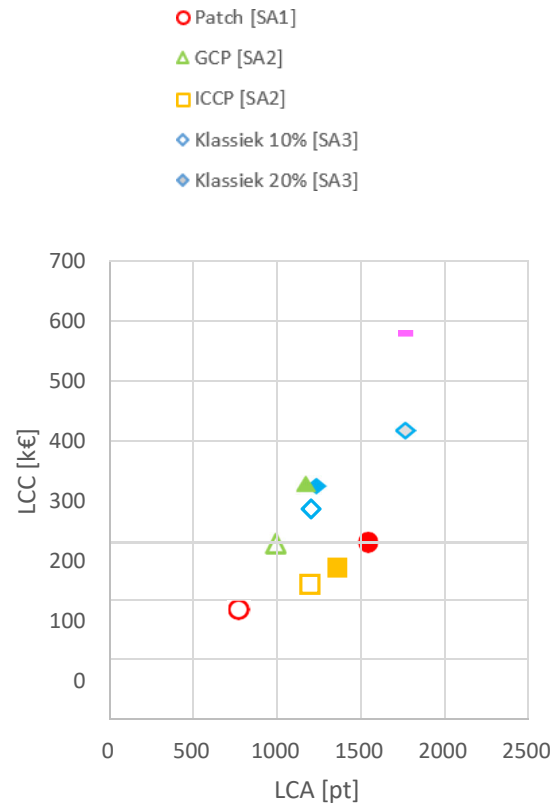
3.3.3. SA3: Omvang volume betonherstel bij klassiek herstel

Eén van de voordelen die wordt aangehaald voor het toepassen van een KB-systeem is dat enkel het loszittende beton hersteld dient te worden, en dus niet al het verontreinigde beton in het geval van een klassiek herstel. In deze sensitiviteitsanalyse worden de default scenario's vergeleken met een klassiek herstel waarin een groter volume beton wordt hersteld met herstelmortel (10% en 20% i.p.v. 5%) tijdens de eerste interventie voor een levensduurverlenging van 20 jaar. Het herstel van de rand met beton blijft behouden zoals het default scenario. Ook het bijkomende herstel na 20 jaar om een levensduurverlenging tot 40 jaar te bekomen, blijft analoog aan het default scenario. De resultaten voor MG₁ en MG₂ voor een FU van 20 en 40 jaar worden weergegeven op de Figuren 3-13 t.e.m. 3-15. Voor MG₁ was het default Klassiek herstel al niet het meest gunstige scenario, dus wanneer een groter volume betonherstel wordt ingerekend, stijgt de financiële en milieu-impact. Voor een levensduurverlenging van 40 jaar blijken de totale kosten van het scenario 20% betonherstel gelijk aan dat van het default Nieuw scenario. Wanneer MG₂ wordt beschouwd, blijkt voor een FU van 20 jaar de LCA score van klassiek herstel met 20% betonherstel zelfs groter dan het default scenario nieuw. Hoewel er in Nieuw een groter volume beton wordt vervangen (100%) dan Klassiek" (20% + randen); wordt bij Nieuw er opnieuw met beton gewerkt, wat een lagere milieu-impact heeft dan

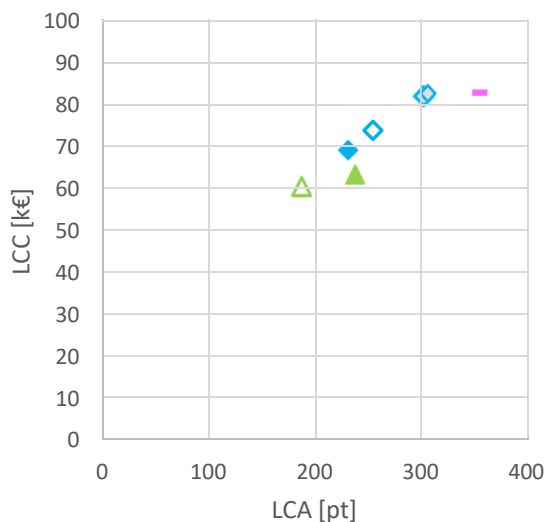
herstelmortel o.w.v. het aandeel cement. Voor een levensduurverlenging van 40 jaar blijkt het "Klassiek" met 10% betonherstel een gelijkaardige score te behalen als GCP op zowel LCA als LCC.



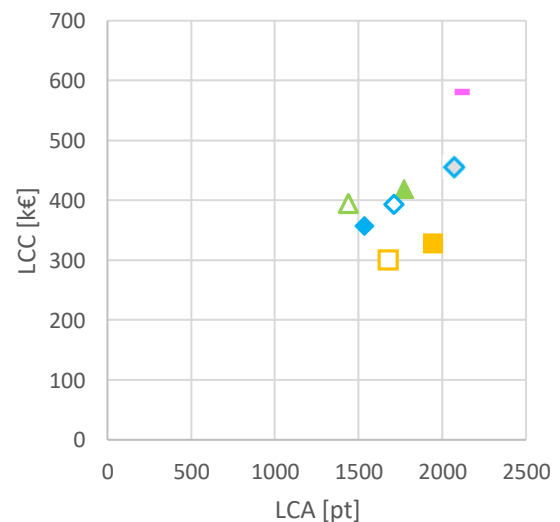
Figuur 3-12: Sensitiviteit coating en volume betonherstel
FU = 20 jaar – MG₁



Figuur 3-13: Sensitiviteit coating en volume betonherstel
FU = 20 jaar – MG₂



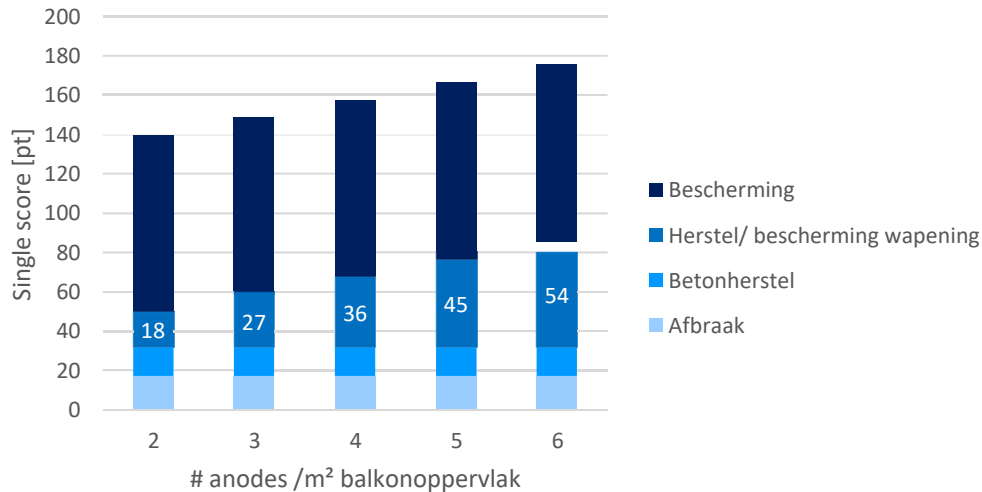
Figuur 3-14: Sensitiviteit coating en volume betonherstel
FU = 40 jaar – MG₁



Figuur 3-15: Sensitiviteit coating en volume betonherstel
FU = 40 jaar – MG₂

3.3.4. SA4: Aantal benodigde opofferanodes voor de bescherming van de wapening

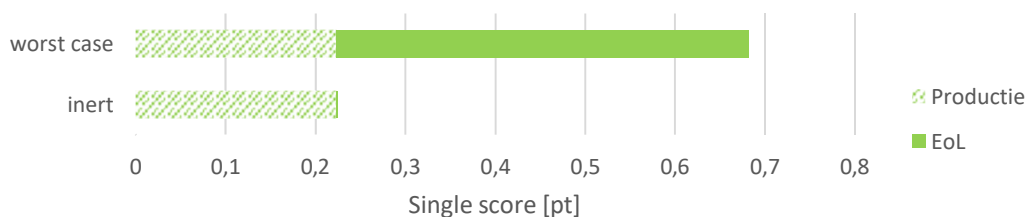
In het default scenario GCP worden vier inbooranodes voorzien per m² balkon om de wapening gedurende 20 jaar te beschermen. De benodigde hoeveelheid zink -en dus het aantal anodes- kan worden bepaald via de wet van Faraday, of wordt gebaseerd op praktijkervaring. Op Figuur 3-16 wordt de totale milieu-impact weergegeven in functie van het aantal inbooranodes dat per m² wordt voorzien voor MG1. Wanneer het modelgebouw vb. slechts één wapeningslaag zou bevatten, kan de LCA-score van GCP verminderen omdat er minder anodes voorzien moeten worden.



Figuur 3-16: Totale impact GCP scenario voor verlenging van 20 jaar; ifv aantal benodigde opofferanodes – MG1

3.3.5. SA5: Impact end-of-life-fase opofferanodes

In het default scenario van GCP wordt verondersteld dat de restfractie zinkoxide (en evt. zink) die achterblijft in de anodes na het einde van de levensduur, niet zal uitloggen/reageren wanneer het betonpuin als inerte fractie wordt toegepast in een onderfundering in de wegenbouw tijdens de end-of-life-fase (EoL). Het is echter onzeker of de zink(oxide) fractie zich wel inert zal gedragen. In het slechts denkbare geval (worst case) kan er uitloging naar het grondwater en de bodem plaatsvinden. Figuur 3-17 toont de totale impact (uitgedrukt als single score) voor de productie en EoL van één inbooranode. Dit omvat de productie (kern van 70g zink + omhulling van poreuze mortel) en de impact gedurende de end-of-life-fase: verondersteld als 'inert' of 'worst case'. Hieruit blijkt dat de totale impact voor één anode drie maal groter is wanneer het meest ongunstige EoL wordt verondersteld. Deze aanname kan dus een doorslaggevend invloed hebben op de totale impact van het GCP scenario.



Figuur 3-17: Totale impact (single score) voor één inbooranode, inert vs. worst case end-of-life-fase

4. Bespreking en conclusies case study

In de geëvalueerde case study werden vijf verschillende hersteltechnieken om de levensduur van bestaande betonnen balkons te verlengen: (i) een patch repair, (ii) een klassiek herstel, (iii) een herstel met opofferanodes (GCP), (iv) kathodische bescherming met opgedrukte stroom (ICCP) en (v) de totale vernieuwing van de balkons. Deze hersteltechnieken werden toegepast op twee fictieve modelgebouwen.

Case study Modelgebouw 1:

- Voor korte periode (5 jaar) is een Patch Repair op vlak van LCA en LCC duidelijk de meest gunstige optie. Enerzijds heeft dit lokale herstel de kleinste totale impact, en anderzijds wordt ook het volledige potentieel van deze ingreep 'benut'. De andere scenario's (Klassiek, GCP en Nieuw) hebben nog een zekere 'restwaarde', maar dat valt buiten de beschouwde analyseperiode.
- Wanneer een periode van 20 jaar wordt beschouwd is het scenario GCP het meest gunstig, zowel de milieu-impact als het financiële aspect. Wanneer er geen coating aan de onderzijde van de balkons zou worden toegepast verkleint de totale impact en kost nog. Echter, de impact tijdens de end-of-life-fase van de inbooranodes is onzeker, waardoor deze hersteltechniek mogelijk te gunstig werd ingeschat. Wanneer er echter verondersteld wordt dat een patch repair slechts twee interventies nodig heeft om de levensduur van de balkons met 20 jaar te verlengen, blijkt dit zowel op LCA als LCC nog gunstiger dan GCP zonder coating.
- Indien de levensduur van de bestaande balkons met 40 jaar verlengt wenst te worden, wordt het scenario Patch niet meer als een mogelijke optie beschouwd. Het scenario Klassiek en GCP zijn beide optima: Klassiek heeft een lagere LCA-score, GCP een lagere kost. Beide herstelopties hebben na 20 jaar wel een tweede interventie nodig, waarbij de omvang van dit herstel een voorzichtige aanname is. Door het niet toepassen van een coating zal GCP zowel op financieel als milieu-impact gunstiger scoren.
- De totale vernieuwing van de balkons is zowel op LCA als LCC de minst gunstige optie voor de drie gedefinieerde levensduurverlengingen. Er kan wel opgemerkt worden dat het potentieel van deze techniek om de levensduur te verlengen mogelijk groter is dan 40 jaar.

Case study Modelgebouw 2:

- Voor korte periode (5 jaar) is een Patch Repair op vlak van LCA en LCC duidelijk de meest gunstige optie. Enerzijds heeft dit lokale herstel de kleinste totale impact, en anderzijds wordt ook het volledige potentieel van deze ingreep 'benut'. De andere scenario's (Klassiek, GCP, ICCP en Nieuw) hebben nog een zekere 'restwaarde', maar dat valt buiten de beschouwde analyseperiode.
- Voor een levensduurverlenging van 20 jaar worden de default scenario's GCP en ICCP als optima bekomen: hierbij heeft GCP een lagere milieu-impact en ICCP een lagere financiële impact. De LCA en LCC scores van een klassiek herstel hebben echter maar een gering verschil met GCP. Wanneer er geen coating wordt ingerekend bij de herstelopties met KB, blijken GCP en ICCP duidelijke optima met de gemaakte aannames. De LCA-score van het GCP-scenario kan echter wel sterk beïnvloed worden door de impact gedurende de end-of-life-fase die wordt verondersteld. Daarnaast is ook de omvang van de bijkomende interventie die na 20 jaar is ingerekend voor de bijkomende verlenging een inschatting. Uit de sensitiviteitsanalyse blijkt dat wanneer slechts twee interventies in het Patch Repair scenario zouden volstaan voor een overbrugging van 20 jaar, deze situatie het meest gunstig is, zowel LCA als LCC.

-
- Wanneer een levensduurverlenging van 40 gewenst is, blijkt het default veronderstelde Klassiek scenario de laagste financiële en milieu-impact te veroorzaken. Wanneer bij GCP en ICCP geen coating in rekening wordt gebracht, blijken deze scenario's samen met klassiek de meest optimale keuzes.
 - De totale vernieuwing van de balkons is zowel op LCA als LCC de minst gunstige optie voor de drie gedefinieerde levensduurverlengingen. Er kan wel opgemerkt worden dat het potentieel van deze techniek om de levensduur te verlengen mogelijks groter is dan 40 jaar.

De balkons van modelgebouw 1 en 2 hebben dezelfde opbouw en vertonen dezelfde schade. MG1 is echter kleiner in omvang en heeft individuele kleinere balkons waarbij MG2 lange doorlopende platen de balkons vormen. Dit verschil is merkbaar bij het scenario Klassiek: hier wordt de volledige rand vervangen, waarbij het aandeel vervanging van de rand t.o.v. het aantal lopende meter balkons groter is bij MG1 dan MG2. Het scenario waarbij een KB-systeem met opgedrukte stroom (ICCP) wordt toegepast, werd niet geëvalueerd voor MG1, gezien de beperkte omvang van het te beschermen oppervlak beton (40m²).

Deze studie heeft getracht de praktijk te benaderen: de beschreven scenario's zijn een inschatting van de uit te voeren herstelmethodes om de levensduur van de bestaande balkons ter verlengen voor een bepaalde periode. Er worden geen extreme omstandigheden tijdens de beschouwde periode voorzien. In deze studie werd de focus gelegd op het betonherstel wanneer de bestaande situatie is aangetast door corrosie: daarom werd ook niet het volledige balkon herstel meegenomen zoals de vernieuwing van de balustrade en bovenafwerking (tegels, gietvloer,...). In werkelijkheid zal dit uiteraard wel voorzien moeten worden en brengt dit ook een kost en milieu-impact met zich mee. Voor de toegepaste materialen werd er gewerkt met algemene aannames wanneer er weinig data beschikbaar was over de samenstelling van producten zoals de toegepaste coatings en herstelmortel. De sensitiviteitanalyses hebben ook uitgewezen dat bepaalde aannames in de toegepaste herstelmethodes (het al dan niet toepassen van een coating, de omvang van het betonherstel) als ook de end-of-life-fase bij opofferanodes een bepalende impact kunnen hebben op het eindresultaat. Ook het potentieel van een hersteltechniek om de levensduur van de bestaande situatie te verlengen, kan een bepalende invloed hebben op het totale LCA en LCC score. Er wordt benadrukt dat de resultaten van deze studie, waarbij vijf herstelsenario's werden geëvalueerd voor de levensduurverlenging van de balkons van twee fictieve modelgebouwen, niet gegeneraliseerd kunnen worden en toegepast op andere situaties. Er wordt opgemerkt dat factoren zoals overlast door (de herhaling van) interventies/onderhoud, esthetische wensen, de mogelijkheden tot uitbereiding van de balkons, uitvoeringstermijn, het voorzien van een koudebrug-onderbreking in het geheel van de gevelisolatie niet in rekening werden gebracht. Deze factoren kunnen ook een belangrijke rol spelen binnen het beslissingsproces, maar werden niet mee opgenomen in deze studie.

5. Besluit

Vele verouderde en beschadigde betonconstructies zijn heden toe aan een grondige onderhouds- of herstelbeurt. Om de duurzaamheid van renovatieprojecten van bestaande betonconstructies te verhogen, dient zowel de totale kost als de milieu impact gedurende de hele cyclus van de levensduurverlenging van de geselecteerde techniek in beschouwing te worden genomen. In deze case study werden vijf verschillende hersteltechnieken (patch repair, klassiek herstel, GCP, ICCP en totale vervanging) geëvalueerd met behulp van LCA en LCC als kwantitatieve tools. Om het optimale herstelscenario te selecteren, dient enerzijds zowel de totale financiële als milieu-impact in beschouwing te worden genomen en anderzijds dient het potentieel van de techniek optimaal benut te worden. Wanneer een korte levensduurverlenging (5 jaar) gewenst is, blijkt een Patch Repair de meest gunstige optie. Wanneer een langere periode beoogd wordt, zijn verschillende scenario's (klassiek, GCP, ICCP) optima: afhankelijk van de periode (20 of 40 jaar) en de configuratie van de balkons (MG₁ vs. MG₂). Naast kosten en milieu-impact zijn er echter ook nog tal van andere factoren (zoals esthetische vereisten) die een bepalende invloed kunnen hebben tijdens het beslissingsproces. De resultaten van deze case study kunnen echter niet gegeneraliseerd worden voor andere situaties: zo kan de kostprijs en milieu-impact sterk worden beïnvloed door de desbetreffende situatie, de potentiële levensduurverlenging van de bestaande situatie, de keuze van bepaalde materialen, de uitvoeringswijze en complexiteit. Elk betonherstelproject dient individueel beoordeeld te worden om de meest duurzame hersteloptie te kunnen selecteren.

Referenties

- [1] A. E. K. Jones, B. K. Marsh, L. A. Clark, B. P. A. M. Seymour, and A. M. Long, "Development of a holistic approach to ensure Cement, the durability of new concrete construction," *Br. Cem. Assoc. Rep. C/21*, p. 81, 1997.
- [2] J. Broomfield, *Corrosion of steel in concrete - Understanding, investigation and repair*, Second edi. Taylor & Francis, 2007.
- [3] P. Chess, *Cathodic Protection For Reinforced Concrete Structures*. CRC Press ; Taylor & Francis Group, 2019.
- [4] Confederatie Bouw, "De bouw en Europa," 2014.
- [5] C. Fischer and M. Werge, "EU as a Recycling Society. Present recycling levels of Municipal Waste and Construction & Demolition Waste in the EU," *ETC/SCP working paper 2/2009*. pp. 1–73, 2009, [Online]. Available: http://scp.eionet.europa.eu/publications/wp2009_2/wp/WP2009_2.
- [6] M. B. Ali, R. Saidur, and M. S. Hossain, "A review on emission analysis in cement industries," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 5, pp. 2252–2261, 2011, doi: 10.1016/j.rser.2011.02.014.
- [7] I. Ribeiro, P. Peças, A. Silva, and E. Henriques, "Life cycle engineering methodology applied to material selection, a fender case study," *J. Clean. Prod.*, vol. 16, no. 17, pp. 1887–1899, 2008, doi: 10.1016/j.jclepro.2008.01.002.
- [8] European Commission, "Circular economy," 2021. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy#:~:text=A circular economy aims to, minimising the generation of waste>.
- [9] H. Yuan, "A SWOT analysis of successful construction waste management," *J. Clean. Prod.*, vol. 39, pp. 1–8, 2013, doi: 10.1016/j.jclepro.2012.08.016.
- [10] A. Vilches, A. Garcia-Martinez, and B. Sanchez-Montañes, "Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review," *Energy Build.*, vol. 135, pp. 286–301, 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.11.042.
- [11] N. Gregson, M. Crang, S. Fuller, and H. Holmes, "Interrogating the circular economy: the moral economy of resource recovery in the EU," *Econ. Soc.*, vol. 44, no. 2, pp. 218–243, 2015, doi: 10.1080/03085147.2015.1013353.
- [12] M. Buyle, J. Braet, and A. Audenaert, "Life cycle assessment in the construction sector: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 26, pp. 379–388, 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.05.001.
- [13] R. Hoogmartens, S. Van Passel, K. Van Acker, and M. Dubois, "Bridging the gap between LCA, LCC and CBA as sustainability assessment tools," *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 48, pp. 27–33, 2014, doi: 10.1016/j.eiar.2014.05.001.
- [14] J. H. Miah, S. C. L. Koh, and D. Stone, "A hybridised framework combining integrated methods for environmental Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing," *J. Clean. Prod.*, vol. 168, pp. 846–866, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.08.187.
- [15] M. C. Reich, "Economic assessment of municipal waste management systems - Case studies using a combination of life cycle assessment (LCA) and life cycle costing (LCC)," *J. Clean. Prod.*, vol. 13, no. 3, pp. 253–263, 2005, doi: 10.1016/j.jclepro.2004.02.015.
- [16] D. Frangopol, A. C. Estes, and S. L. Obispo, "Life-Cycle Cost Design of Deteriorating Structures," *J. Struct. Eng.*, vol. 123, no. 10, pp. 1390–1401, 1997, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1997)123.
- [17] M. Safi, H. Sundquist, and R. Karoumi, "Cost-Efficient Procurement of Bridge Infrastructures by Incorporating Life-Cycle Cost Analysis with Bridge Management Systems," *J. Bridg. Eng.*, vol. 20, no. 6, p. 04014083, 2015, doi: 10.1061/(asce)be.1943-5592.0000673.
- [18] F. Ghodoosi, S. Abu-Samra, M. Zeynalian, and T. Zayed, "Maintenance Cost Optimization for Bridge Structures Using System Reliability Analysis and Genetic Algorithms," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 144, no. 2, p. 04017116, 2018, doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0001435.

-
- [19] R. Polder, Y. Pan, W. Courage, and W. Peelen, "Preliminary study of life cycle cost of preventive measures and repair options for corrosion in concrete infrastructure," *Heron*, vol. 61, no. 1, pp. 1–13, 2016, [Online]. Available: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:f4428119-41df-45f8-b80a-4b43910d6097>.
- [20] P. L. Gaspar and A. L. Santos, "Embodied energy on refurbishment vs. demolition: A southern Europe case study," *Energy Build.*, vol. 87, pp. 386–394, 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.11.040.
- [21] A. Byrne, B. Norton, and N. Holmes, "State-of-the-art review of cathodic protection for reinforced concrete structures," *Mag. Concr. Res.*, vol. 68, no. 13, pp. 664–677, 2016, doi: 10.1680/jmacr.15.00083.
- [22] H. B. Xie, W. J. Wu, and Y. F. Wang, "Life-time reliability based optimization of bridge maintenance strategy considering LCA and LCC," *J. Clean. Prod.*, vol. 176, pp. 36–45, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.12.123.
- [23] I. J. Navarro, J. V. Martí, and V. Yepes, "Reliability-based maintenance optimization of corrosion preventive designs under a life cycle perspective," *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 74, no. October 2018, pp. 23–34, 2019, doi: 10.1016/j.ear.2018.10.001.
- [24] P. Van Den Heede and N. De Belie, "Environmental impact and life cycle assessment (LCA) of traditional and 'green' concretes: Literature review and theoretical calculations," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 34, no. 4, pp. 431–442, 2012, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2012.01.004.
- [25] J. Turk, Z. Cotič, A. Mladenovič, and A. Šajna, "Environmental evaluation of green concretes versus conventional concrete by means of LCA," *Waste Manag.*, vol. 45, no. 305, pp. 194–205, 2015, doi: 10.1016/j.wasman.2015.06.035.
- [26] H. Hafez, R. Kurda, N. Al-Ayish, T. Garcia-Segura, W. M. Cheung, and B. Nagaratnam, "A whole life cycle performance-based ECONomic and ECOlogical assessment framework (ECO2) for concrete sustainability," *J. Clean. Prod.*, vol. 292, p. 126060, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126060.
- [27] A. B. Rohden and M. R. Garcez, "Increasing the sustainability potential of a reinforced concrete building through design strategies: Case study," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 9, 2018, doi: 10.1016/j.cscm.2018.e00174.
- [28] UNEP, "Buildings and climate change: Summary for decision-makers," Paris, 2009. doi: 10.1007/978-1-4471-4781-7_2.
- [29] G. A. Norris, "Integrating life cycle cost analysis and LCA," *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 6, no. 2, pp. 118–120, 2001, doi: 10.1007/bf02977849.
- [30] I. Zabalza Bribián, A. Valero Capilla, and A. Aranda Usón, "Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential," *Build. Environ.*, vol. 46, no. 5, pp. 1133–1140, 2011, doi: 10.1016/j.buildenv.2010.12.002.
- [31] G. P. Tilly and J. Jacobs, "Concrete Repairs: Performance in service and current practice." IHS BRE Press, p. 44, 2007.
- [32] J. H. M. Visser and Q. F. Van Zon, "Performance and service life of repairs of concrete structures in The Netherlands," *Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting III - Proceedings of the 3rd International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting, ICCRRR 2012*. pp. 876–881, 2012.
- [33] A. Van Den Hondel and H. Van Den Hondel, "Cathodic protection of concrete with conductive coating anodes: 25 years of experience with projects and monitoring results," *MATEC Web Conf.*, vol. 199, 2018, doi: 10.1051/mateconf/201819905009.
- [34] C. L. Simões, L. M. Costa Pinto, R. Simoes, and C. A. Bernardo, "Integrating environmental and economic life cycle analysis in product development: A material selection case study," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 18, no. 9, pp. 1734–1746, 2013, doi: 10.1007/s11367-013-0561-9.
- [35] M. Buyle, *Towards a structured consequential modelling approach for the construction sector: the Belgian case. A fairy tale on methodological choices in LCA*. 2018.

-
- [36] B. P. Weidema *et al.*, "Overview and methodology. Data quality guideline for the ecoinvent database version 3 Weidema." Swiss Centre for Life Cycle Inventories., 2013.
- [37] M. Buyle, M. Pizzol, and A. Audenaert, "Identifying marginal suppliers of construction materials: consistent modeling and sensitivity analysis on a Belgian case," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 23, no. 8, pp. 1624–1640, 2018, doi: 10.1007/s11367-017-1389-5.
- [38] United Nations, "UN Comtrade Database," 2019. <http://comtrade.un.org/>.
- [39] K. Allacker *et al.*, "Environmental profile of building elements [update 2020]," 2020.
- [40] T. García-Segura, V. Yepes, and J. Alcalá, "Life cycle greenhouse gas emissions of blended cement concrete including carbonation and durability," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 19, no. 1, pp. 3–12, 2014, doi: 10.1007/s11367-013-0614-0.
- [41] F. Xi *et al.*, "Substantial global carbon uptake by cement carbonation," *Nat. Geosci.*, vol. 9, no. 12, pp. 880–883, 2016, doi: 10.1038/ngeo2840.
- [42] M. Goedkoop, R. Heijungs, M. Huijbregts, A. De Schryver, J. Struijs, and R. Van Zelm, "ReCiPe 2008 - Report I: Characterisation." pp. 1–44, 2009, [Online]. Available: http://www.pre-sustainability.com/download/misc/ReCiPe_main_report_final_27-02-2009_web.pdf.
- [43] A. W. Sleeswijk, L. F. C. M. van Oers, J. B. Guinée, J. Struijs, and M. A. J. Huijbregts, "Normalisation in product life cycle assessment: An LCA of the global and European economic systems in the year 2000," *Sci. Total Environ.*, vol. 390, no. 1, pp. 227–240, 2008, doi: 10.1016/j.scitotenv.2007.09.040.
- [44] RIVM, "LCIA: het ReCiPe model," 2018. <https://www.rivm.nl/life-cycle-assessment-lca/recipe>.
- [45] W. Galle, *Scenario based life cycle costing an enhanced method for evaluating the financial feasibility of transformable building*. 2016.
- [46] M. Sethurajan, D. Huguenot, P. N. L. Lens, H. A. Horn, L. H. A. Figueiredo, and E. D. van Hullebusch, "Fractionation and leachability of heavy metals from aged and recent Zn metallurgical leach residues from the Três Marias zinc plant (Minas Gerais, Brazil)," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 23, no. 8. pp. 7504–7516, 2016, doi: 10.1007/s11356-015-6014-1.

Bijlagen

Bijlage A: Materiaalkeuzes

Overzicht algemene aannames toegepaste materialen:

Herstelmortel	Structurele herstelmortel klasse R4 (cementgehalte 800 kg/m ³)
Beton	35 MPa (cementgehalte 315 kg/m ³)
Chape	Hellingschape (cementgehalte 150 kg/m ³)
Chemische verankering wapening	Epoxy-gebaseerde verankeringslijm
Opofferanode	Type inboor anode, 70g zink/stuk
Anti-corrosie coating voor wapening	Cementgebonden coating ter bescherming van de wapening
Coating onderzijde + rand	Polyurethaan gebaseerde coating
Waterdichting	Vloeibare polyurethaan gebaseerde waterdichting in 2 lagen met glasvezelversterking
Anode-systeem ICCP	Geleidende koolstof coating als secundaire coating, TI-draad als primaire anode

Bijlage B: beschrijving herstelscenario's

Zie Tabel B-1 t.e.m. Tabel B-3.

Tabel B-1: Toelichting herstel – Interventie 1

			Patch repair	Klassiek herstel	GCP	ICCP	Nieuw
Levensduurverlenging			5 jaar	20 jaar	20 jaar	20 jaar	40 jaar
Onderdeel	LCA	LCC					
ALGEMEEN							
Werfinrichting		•	Werfinrichting, stelling, bouwlift, ed. gedurende de uitvoering van de werken.				
AFBRAAK							
Afbraak bestaande bovenafwerking (zandbed + tegels)	•	•	NVT	Volledige afbraak en afvoer bestaande bovenafwerking			
Saneren loszittend beton	•	•	3% volume	5% volume	3% volume	3% volume	NVT
Afbraak betonrand	•	•	NVT	Afbraak beton + wapening rand balkon	NVT	NVT	NVT
Afbraak volledig balkon	•	•	NVT	NVT	NVT	NVT	Afbraak beton + wapening
BETONHERSTEL							
Handmatig betonherstel R4 mortel	•	•	3% volume	5% volume	3% volume	3% volume	NVT
Heraangieten balkonrand	•	•	NVT	Heraangieten balkonrand met beton	NVT	NVT	NVT
Heraangieten balkon	•	•	NVT	NVT	NVT	NVT	Heraangieten volledig balkon met beton
HERSTEL/ BESCHERMING WAPENING							
Schoonstralen wapening	•	•	Vrijliggende wapening (3%) wordt ontroest	Vrijliggende wapening wordt ontroest	Vrijliggende wapening wordt ontroest	Vrijliggende wapening wordt ontroest	NVT
Coaten wapening	•	•	Vrijliggende wapening (3%) wordt gecoat	Vrijliggende wapening wordt gecoat	NVT	NVT	NVT
Bijwapenen balkonneus	•	•	NVT	Bijplaatsen + chemisch verankeren wapening balkonneus	NVT	NVT	NVT
Wapening balkon geheel	•	•	NVT	NVT	NVT	NVT	Wapening + chemische verankering volledig balkon
Plaatsen opofferanodes	•	•	NVT	NVT	4 inbooranodes/m ² met 70g zink per anode	NVT	NVT
Plaatsing ICCP-systeem met geleidende coating	•	•	NVT	NVT	NVT	Plaatsing primaire anode + geleidende coating, bekabeling en controlekast	NVT
BESCHERMING							
Aanbrengen coating onderzijde + rand	•	•	Aan de volledige onderzijde en rand van het balkon wordt een beschermende coating aangebracht				
Chape + waterdichting bovenzijde	•	•	NVT	Hellingsschape + Vloeibare waterdichting in 2 lagen met versterkingsmat			
ONDERHOUD/MONITORING							
Herschilderen coating onderzijde + rand	•	•	NVT	NVT	NVT	NVT	Herschilderen coating na 10 jaar
Monitoring ICCP systeem		•	NVT	NVT	NVT	Volgens onderhoudscontract	NVT

Tabel B-46: Toelichting herstel - interventie

			Patch repair	Klassiek herstel	GCP	ICCP	Nieuw	
Levensduurverlening na einde levensduur interventie 1			7 jaar	20 jaar	20 jaar	20 jaar		
Onderdeel	LCA	LCC						
ALGEMEEN								
Werfinrichting		•	Werfinrichting, stelling, bouwlift, ed. gedurende de uitvoering van de werken.					
AFBRAAK								
Afbraak bestaande bovenafwerking (zandbed + tegels)	•	•	NVT	NVT	NVT	NVT		
Saneren loszittend beton	•	•	7% volume	5% volume	3% volume	3% volume		
Afbraak volledig balkon	•	•	NVT	NVT	NVT	NVT		
BETONHERSTEL								
Handmatig betonherstel R4 mortel	•	•	7% volume	5% volume	3% volume	3% volume		
Plaatsing ICCP-systeem met geleidende coating	•	•	NVT	NVT	NVT	Vernieuwing geleidende coating + elektronische componenten		
HERSTEL/ BESCHERMING WAPENING								
Schoonstralen wapening	•	•	Vrijliggende wapening (7%) wordt ontroest	Vrijliggende wapening (3%) wordt ontroest				
Coaten wapening	•	•	Vrijliggende wapening (7%) wordt gecoat	Vrijliggende wapening (3%) wordt gecoat				
Bijwapenen balkonneus			NVT	NVT	NVT	NVT		
Plaatsen opofferanodes	•	•	NVT	NVT	4 inbooranodes/m ² met 70g zink per anode	NVT		
BESCHERMING								
Aanbrengen coating onderzijde + rand	•	•	Aan de volledige onderzijde en rand van het balkon wordt een beschermende coating aangebracht					
Chape + waterdichting bovenzijde	•	•	NVT	NVT	NVT	NVT		
ONDERHOUD/MONITORING								
Herschilderen coating onderzijde + rand	•	•	NVT	NVT	NVT	NVT		
Monitoring ICCP systeem		•	NVT	NVT	NVT	Volgens onderhoudscontract		

Tabel B-47: Toelichting herstel - interventie

			Patch repair	Klassiek herstel	GCP	ICCP	Nieuw
Levensduurverlening na einde levensduur interventie 2			7 jaar	X			
Onderdeel	LCA	LCC					
ALGEMEEN							
Werfinrichting		•	Werfinrichting, stelling, bouwlift, ed. gedurende de uitvoering van de werken.				
AFBRAAK							
Afbraak bestaande bovenafwerking (zandbed + tegels)	•	•	NVT				
Saneren loszittend beton	•	•	15% volume				
Afbraak volledig balkon	•	•	NVT				
BETONHERSTEL							
Handmatig betonherstel R4 mortel	•	•	15% volume				
HERSTEL/ BESCHERMING WAPENING							
Schoonstralen wapening	•	•	Vrijliggende wapening (15%) wordt ontroest				
Coaten wapening	•	•	Vrijliggende wapening (15%) wordt gecoat				
BESCHERMING							
Aanbrengen coating onderzijde + rand	•	•	Aan de volledige onderzijde en rand van het balkon wordt een beschermende coating aangebracht				

Bijlage C: Overzicht ecoinvent records LCA

Tabel C-1: Records LCA - Transformation

				Transformation	
Materiaal	EH	HH	Ecoinvent (3.5) record	Wijziging in origineel record	
Additieven voor herstelmortel	1	kg			
	1	kg	Chemical, organic {GLO} market for Conseq, U		
Straalmiddel	1	kg			
	1	kg	Aluminium oxide {RNA} aluminium oxide production Conseq, U		
				wijziging: aluminium oxide factory {GLO} --> {RER}	
Bedrading opofferanode	1	kg			
	1	kg	Copper {GLO} market for Coseq,U		
	1	kg	Wire drawing, copper {GLO} market for Conseq, U		
Cement mortar {BE}	1	kg			
			<i>origineel record: Cement mortar production</i>		
			...	Cement vervangen door portland cement en energiemix vervangen door Belgische mix (medium voltage)	
Cement, Portland {EG}	1	kg			
			<i>origineel record: Cement mortar production</i>		
			...	Energienmix wordt vervangen door: "Electricity, medium voltage {EG} market for electricity, medium voltage Conseq, U"	
Chape	1	m ³			
			origineel record: Lean concrete {CH} production, with cement II/B Conseq,U		
				energiemix wordt vervangen door: "Electricity, medium voltage {BE} market for Conseq, U"	
Chemische verankering	1	kg			
	0,4	kg	Epoxy resin, liquid {RER} market for epoxy resin, liquid Conseq, U		
	0,1	kg	Chemical, organic {GLO} market for Conseq, U		
	1	kg	Chemical factory, organics {RER} construction Conseq, U		
	0,5	kg	Sand {RER} market for Conseq, U		
Anti-corrosie coating wapening	1	kg			
	0,8	kg	Cement mortar {BE} market for cement mortar Conseq, U		
	0,2	kg	Chemical, organic {GLO} market for Conseq, U		
Beton 35MPa {BE}	1	m ³			
			<i>origineel record: Concrete, 35MPa concrete production 35MPa, RNA only Conseq, U</i>		
				Portland cement wordt vervangen door: "Portland cement market"	
				Energienmix wordt vervangen door: "Electricity, medium voltage {BE} market for Conseq, U"	
				Gravel wordt vervangen door: "Gravel, round {CH} gravel and sand quarry operation Conseq, U"	
				Sand wordt vervangen door: "Sand {CH} gravel and quarry operation Conseq, U"	
Gietvloer production	1	kg			
	0,5312	kg	Polyol {RER} market for polyol Conseq, U		
	0,3104	kg	Toluene diisocyanate {RER} market for toluene diisocyanate Conseq, U		
	0,2	kg	Chemical, organic {GLO} market for Conseq, U		
	4,0E-10	p	Chemical factory, organics {RER} construction Conseq, U		

Herstelmortel R4 (cement 700 kg/m³)	1	kg		
			<i>origineel record: cement mortar RER, production</i>	
	0,39886	kg	Portland Cement market	portland cement --> portland cement market
	0,532764	kg	Silica sand {GLO} market for Coseq,U	
	0,068376	kg	Additieven voor herstelmortel	
			...	
Herstelmortel R4 (cement 800 kg/m³)	1	kg		
			<i>origineel record: cement mortar RER, production</i>	
	0,451977	kg	Portland Cement market	portland cement --> portland cement market
	0,480226	kg	Silica sand {GLO} market for Coseq,U	
	0,067797	kg	Additieven voor herstelmortel	
			...	
Herstelmortel R4 (cement 850 kg/m³)	1	kg		
			<i>origineel record: cement mortar RER, production</i>	
	0,477528	kg	Portland Cement market	portland cement --> portland cement market
	0,455056	kg	Silica sand {GLO} market for Coseq,U	
	0,067416	kg	Additieven voor herstelmortel	
			...	
Opofferanode	1	kg		
	0,235	kg	Zink production	
	0,076	kg	Bedrading anode production	
	0,4819	kg	Light mortar {BE} production Conseq, U	
	0,2056	kg	Tap water {RER} market group for Conseq, U	
Betoncoating (polyurethaan gebaseerd)	1	kg		
			<i>origineel record: Alkyd paint, white, without water, in 60% solution state {RER} alkyd paint production, white, water-based, product in 60% solution state Conseq, U</i>	
	0,24	kg	N,N-dimethylformamide {GLO} market for Conseq, U	
	0,37184	kg	Polyol {RER} market for polyol Conseq, U	
	0,21728	kg	Toluene diisocyanate {RER} market for toluene diisocyanate Conseq, U	
	0,2	kg	Chemical, organic {GLO} market for Conseq, U	
			...	Energiemix en productieproces werd behouden
Waterdichting polyurthaan production (80/20)	1	kg		
	0,5312	kg	Polyol {RER} market for polyol Conseq, U	
	0,3104	kg	Toluene diisocyanate {RER} market for toluene diisocyanate Conseq, U	
	0,2	kg	Chemical, organic {GLO} market for Conseq, U	
	4,0E-10	p	Chemical factory, organics {RER} construction Conseq, U	
Waterdichting versterkingsmat	1	kg		
	1	kg	Glass fibre {RER} production Conseq, U	
	4,0E-10	p	Chemical factory, organics {RER} construction Conseq, U	
Zink production	1	kg		
	1	kg	Zinc concentrate {GLO} market for Coseq,U	
	1	kg	Casting, brass {GLO} market for Coseq,U	
			...	
Geleidende coating (anode ICCP)	1	kg		
	1	p	Chemical factory {GLO} market for Conseq, U	
	0,4	kg	Graphite {GLO} market for Conseq, U	
	0,4	kg	Chemical, inorganic {GLO} market for Conseq, U	
	0,2	kg	Aluminium oxide {GLO} market for Conseq, U	

Primaire_anode draad (ICCP)	1	kg	titanium production, primary GLO	
		0,41957		
		0,580371	Copper {MS} market	
		1	Wire drawing, copper {GLO} market for Conseq, U	
Elektronica, production	1	st	origineel record: Printer, laser, black/white {GLO} production Conseq, U	
			verwijderen: Toner module	
Kabel (ICCP)	1	kg		
	1	kg	Copper {MS} market	
	1	kg	Wire drawing, copper {GLO} market for Co	wijziging: Copper {GLO} --> {MS} market

Tabel C-2: Records LCA - Market

Materiaal	EH		HH		Market	
			Ecoinvent record		aanpassing	
Betoncoating market	1	kg				
	1	kg	Betoncoating production			
	0,0352	tkm	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Conseq, U			
	0,09	tkm	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Conseq, U			
	0,0063	tkm	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Conseq, U			
Straalmiddel market	1	kg				
	1	kg	Straalmiddel production			
	0,09	tkm	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Conseq, U			
	0,0352	tkm	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Conseq, U			
	0,0063	tkm	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Conseq, U			
Beton market	2400	kg				
	1	m ³	Concrete, 35MPa {BE} concrete production 35MPa, RNA only Conseq, U			
	0,1	tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Conseq, U			
Cement mortars {BE} market for cement mortars	1	kg				
	1	kg	Cement mortars {BE} production Conseq, U			
	0,05785	tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Conseq, U			
	0,00315	tkm	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Conseq, U			
	0,06	tkm	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Conseq, U			
Cement, Portland {EG} market for Conseq,U	1	kg				
	1	kg	Cement, Portland {EG} production Conseq,U_OS			
	6	tkm	Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO} market for Conseq, U			
	0,1	tkm	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Conseq, U			
Chape market	2250	kg				
	1	m ³	chape production			
	0,1	tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Conseq, U			

Chemische verankering market	1	kg	
	1	kg	chemische verankering production
	0,06	tkm	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,05785	tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,00315	tkm	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Conseq, U
Coating wapening market	1	kg	
	1	kg	coating wapening production
	0,09	kg	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,0352	kg	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,0063	kg	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Conseq, U
Gietvloer market	1	kg	
	1	kg	Gietvloer production
	0,09	tkm	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,03835	tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,00415	tkm	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Conseq, U
Herstelmortel R4_market (cement 700kg/m³)	1	kg	
	1	kg	Herstelmortel R4 (cement 700 kg/m³)
	0,05785	tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,00315	tkm	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,06	tkm	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Conseq, U
Herstelmortel R4_market (cement 800kg/m³)	1	kg	
	1	kg	Herstelmortel R4 (cement 800 kg/m³)
	0,05785	tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,00315	tkm	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,06	tkm	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Conseq, U
Herstelmortel R4_market (cement 850kg/m³)	1	kg	
	1	kg	Herstelmortel R4 (cement 850 kg/m³)
	0,05785	tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,00315	tkm	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,06	tkm	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Conseq, U
Opofferanode market	1	kg	
	1	kg	Opofferanode production
	0,05785	tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,00315	tkm	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,06	tkm	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Conseq, U
Portlandcement market	1	kg	
	0,75	kg	Cement, Portland {Europe without Switzerland} market for Conseq,U
	0,25	kg	Cement, Portland {EG} market for Conseq,U
Primer market (epoxy gebaseerd)	1	kg	
	1	kg	Epoxy resin, liquid {RER} production Conseq, U
	0,0352	tkm	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,09	tkm	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,0063	tkm	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Conseq, U
Reinforcing steel	1	kg	
			origineel: Reinforcing steel {GLO} market for Conseq, U
	0,85	kg	RER
	0,15	kg	ROW
Wapening market	1	kg	
	1	kg	Reinforcing steel
	0,025	tkm	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,082875	tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,000875	tkm	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Conseq, U

Waterdichting polyurthaan markt	1	kg	
	1	kg	Waterdichting polyurthaan production (80/20)
	0,0352	tkm	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,09	tkm	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,0063	tkm	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Conseq, U
waterdichting versterkingsmat markt	1	kg	
	1	kg	waterdichting versterkingsmat production
	0,06	tkm	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,05785	tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,00315	tkm	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Conseq, U
Verbruik laagspanningsnet	1	kWh	
	1	kWh	Electricity, low voltage {BE} market for Conseq, U
Verbruik PV-panelen	1	kWh	
	1	kWh	Electricity, low voltage {BE} electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted Conseq, U
Router	1	p	
	1	p	Router, internet {GLO} market for Conseq, U_OS
	0,1	tkm	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,028	tkm	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,007	tkm	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Conseq, U
Electronica	1	p	
			origineel record: Printer, laser, black/white {GLO} market for Conseq, U
	0,1	tkm	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,028	tkm	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,007	tkm	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Conseq, U
Elektriciteitskast	1	kg	
	1	kg	Glass fibre reinforced plastic, polyester resin, hand lay-up {GLO} market for Conseq, U
	0,1	tkm	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,028	tkm	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,007	tkm	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Conseq, U
Copper {MS} markt	1	kg	
			orgineel record: Copper {GLO} market for Coseq,U
	0,581401	kg	Copper {RER} production, primary Conseq, U
	0,175125	kg	Copper {RoW} production, primary Conseq, U
Kabel (ICCP) markt	1	kg	
	1	kg	Kabel (ICCP)
	0,1	tkm	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,028	tkm	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,007	tkm	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Conseq, U
Geleidende coating markt	1	kg	
	1	kg	anode_geleidende coating
	0,09	tkm	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,0352	tkm	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,0063	tkm	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Conseq, U
Primaire anode (ICCP) markt	1	kg	
	1	kg	primaire_anode draad
	0,09	tkm	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,0352	tkm	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,0063	tkm	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Conseq, U
Primer (anode ICCP) markt	1	kg	
	1	kg	primer_anode
	0,09	tkm	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,0352	tkm	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,0063	tkm	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Conseq, U

Tabel C-3: Records LCA – End of Life (EoL)

End of life			
Materiaal	EH	HH	Ecoinvent record
Inert waste, waste at site	1	kg	
	0,75	kg	Inert waste, pre-treated, breaking place
	0,25	kg	Inert waste, pre-treated, sorting place
	0,0437	MJ	Diesel, burned in building machine {GLO} market for Conseq, U
Inert waste, pre-treated, breaking place	1	kg	
	1	kg	Inert waste, sorted
	0,03	tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	0,0015	kWh	Electricity, low voltage {BE} market for Conseq, U
Inert waste, pre-treated, sorting place	1	kg	
	0,4	kg	Inert waste, pre-treated, breaking place
	0,6	kg	Inert waste, sorted
	0,003538	MJ	Diesel, burned in building machine {GLO} market for Conseq, U
	0,0037	kWh	Electricity, low voltage {BE} market for Conseq, U
	1,0E-10	p	Sorting facility, for construction waste {GLO} market for Conseq, U
	0,0006	m ³	Excavation, hydraulic digger {GLO} market for Conseq, U
Inert waste, sorted	1	kg	
	0,05	kg	Inert waste, sorted, landfill
	0,95	kg	Inert waste, sorted, recycled
Inert waste, sorted, landfill	1	kg	
	0,05	tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	1	kg	Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill Conseq, U
Inert waste, sorted, recycled	1	kg	
	1	kg	Inert waste, recycled
	-0,95	kg	Inert waste, avoided products
	0,1	tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Conseq, U
Inert waste, recycled	1	kg	
	0,0359	MJ	Diesel, burned in building machine {GLO} market for Conseq, U
Inert waste, avoided products	1	kg	
	0,030333	kg	Sand [BE]
	0,069667	kg	Sand [DE]
	0,272999	kg	Gravel [BE]
	0,627001	kg	Gravel [DE]

Steel, waste at site	1	kg	
	0,85	kg	Steel, pre-treated, collection point
	0,15	kg	Steel, pre-treated, sorting plant
	0,0437	MJ	Diesel, burned in building machine {GLO} market for Conseq, U
Steel, pre-treated, collection point	1	kg	
	1	kg	Steel, sorted
	0,03	tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Conseq, U
Steel, pre-treated, sorting plant	1	kg	
	1	kg	Steel, sorted
	0,00612	MJ	Diesel, burned in building machine {GLO} market for Conseq, U
	1,0E-10	p	Sorting facility, for construction waste {GLO} market for Conseq, U
	0,000141	m ³	Excavation, hydraulic digger {GLO} market for Conseq, U
	0,0022	kWh	Electricity, low voltage {BE} market for Conseq, U
Steel, sorted	1	kg	
	0,05	kg	Steel, sorted landfill
	0,95	kg	Steel, sorted recycling
Steel, sorted landfill	1	kg	
	0,05	tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	1	kg	Scrap steel {CH} treatment of, inert material landfill Conseq, U
Steel, sorted recycling	1	kg	
	1	kg	Steel, recycling
	-0,90498	kg	Steel, avoided products
	0,1	tkm	Steel, avoided products
Steel, recycling	1	kg	
	0,1	MJ	Diesel, burned in building machine {GLO} market for Conseq, U
	1	kg	Iron scrap, sorted, pressed {GLO} market for Conseq, U
	0,393357	kWh	Electricity, medium voltage {BE} market for Conseq, U
	1,0E-09	p	Scrap preparation facility {GLO} market for Conseq, U
			...
Steel, avoided products	1	kg	
	0,926998	kg	Steel, low-alloyed [CN]
	0,073002	kg	Steel, low-alloyed [IND]

Waterdichting, waste at site	1	kg	
	1	kg	Waterdichting, pre-treated, sorting plant
	0,0437	MJ	Diesel, burned in building machine {GLO} market for Conseq, U
Waterdichting, pre-treated, sorting plant	1	kg	
	1	kg	Waterdichting, sorted
	0,1639	MJ	Diesel, burned in building machine {GLO} market for Conseq, U
	0,0022	kWh	Electricity, low voltage {BE} market for Conseq, U
	1,0E-10	p	Sorting facility, for construction waste {GLO} market for Conseq, U
	0,0013	m ³	Excavation, hydraulic digger {GLO} market for Conseq, U
Waterdichting, sorted	1	kg	
	0,05	kg	Waterdichting, sorted, landfill
	0,95	kg	Waterdichting, sorted, incineration
Waterdichting, sorted, landfill	1	kg	
	0,05	tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	1	kg	Waste polyurethane {CH} treatment of, inert material landfill Conseq, U
Waterdichting, sorted, incineration	1	kg	
	0,002	tkm	Transport, freight, lorry, unspecified {RER} market for transport, freight, lorry, unspecified Conseq, U
	1	kg	Waste polyurethane {CH} treatment of, municipal incineration Conseq, U
Finishing layer glued to rubble, waste at site	1	kg	
	1	kg	Finishing layer glued to rubble, pre-treated, sorting plant
	0,0437	MJ	Diesel, burned in building machine {GLO} market for Conseq, U
Finishing layer glued to rubble, pre-treated, sort	1	kg	
	1	kg	Finishing layer glued to rubble, sorted
	0,007711	MJ	Diesel, burned in building machine {GLO} market for Conseq, U
	0,0022	kWh	Electricity, low voltage {BE} market for Conseq, U
	1,0E-10	p	Sorting facility, for construction waste {GLO} market for Conseq, U
	0,001307	m ³	Excavation, hydraulic digger {GLO} market for Conseq, U
Finishing layer glued to rubble, sorted	1	kg	
	1	kg	Finishing layer glued to rubble, sorted, landfill
Finishing layer glued to rubble, sorted, landfill	1	kg	
	0,05	tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Conseq, U
	1	kg	Waste paint {CH} treatment of, sanitary landfill Conseq, U
Zink	1	kg	
	1	kg	Zinc emissions to soil
printed wiring boards, waste	1	kg	
	1	kg	Used printed wiring boards {GLO} market for Conseq, U
elektronica, waste	1	kg	
	1	kg	Waste electric and electronic equipment {GLO} treatment of, shredding Conseq, U
kabels, waste	1	kg	
	1	kg	Used cable {GLO} market for Conseq, U
elektriciteitskast, waste	1	kg	
	1	kg	Waste plastic, mixture {BE} market for waste plastic, mixture Conseq, U

Bijlage D: Kostprijsberekening en NAW

Aannames prijzen en hoeveelheden voor kostprijsberekening eerste interventie voor MG1: zie Tabel D-1

Aannames prijzen en hoeveelheden voor kostprijsberekening eerste interventie voor MG2: zie Tabel D-2

Netto actuele waarde (bepaald met actualisatievoet 4%) MG1, per categorie: zie Tabel D-3 t.e.m. Tabel D-5.

Netto actuele waarde (bepaald met actualisatievoet 4%) MG1, per categorie: zie Tabel D-6 t.e.m. Tabel D-8.

Tabel D-1: Kostprijsberekening - MG1

				Patch (interventie 1)		Klassiek		GCP		Nieuw		
				HH	Prijs	HH	Prijs	HH	Prijs	HH	Prijs	
1. Werfinrichting			EH	Prijs								
1.1	Werfkeet + toilet	<i>huur arbeidsvoorzieningen gedurende werken, prijs uitgedrukt per dag</i>	st, per dag	20	29	580	75	1500	35	700	58	1160
1.2	Stelling											
1.2.1		<i>Stelling plaatsen + demonteren + huur eerste 20 dagen; per dag</i>	m ² , per dag	1	20	6880	20	6880	20	6880	20	6880
1.2.2		<i>stelling huren per dag na 20 dagen per m²</i>	m ² , per dag	0,07	9	217	55	1324	15	361	38	915
1.3	Lift	<i>bouwlift personen en goederen</i>	st, per dag	35	29	1015	75	2625	35	1225	58	2030
2. Algemene werken			EH	Prijs								
2.1	Bescherming ramen											
2.1.1		<i>Bescherming ramen plaatsen (materiaal/materieel + plaatsing)</i>	m ²	9,2	56	515	56	515	56	515	56	515
2.1.2		<i>Verwijderen bescherming ramen + afvalverwerking</i>	m ²	3,5	56	196	56	196	56	196	56	196
3. Afbraakwerken			EH	Prijs								
3.1	Verwijderen terrasopbouw	<i>Balkonvloer (tegels) + zandbed verwijderen (materieel + afvalverwerking + arbeidskost)</i>	m ²	38			40	1520	40	1520	40	1520
3.2	Verwijderen balkonneus	<i>Saneren beton grotere opp. (inzet materieel + afvalverwerking + arbeidskost)</i>	dm ³	5,5			1600	8800				

3.3	Saneren verontreinigd beton	Aanduiden betonschade + saneren beton kleine opp. (inzet materieel + afvalverwerking + arbeidskost)	dm ³	6,7	120	804	160	1072	160	1072	200	1340
3.4	Betoncoating onderzijde verwijderen	Schoonstralen betonoppervlak (inzet materieel + arbeidskost)	m ²	25	48	1200	40	1000	48	1200		
3.5	Verwijderen volledig balkon	Totale afbraak balkons (inzet materieel + afvalverwerking + arbeidskost)	dm ³	2							3800	7600
4. Betonherstelligen			EH	Prijs								
4.1	Schoonstralen wapening	Schoonstralen blootliggende wapening (inzet materiaal + materieel + arbeidskost)	kg	7	10	70	207	1449	17	119		
4.2	Coating wapening	Coating op blootliggende wapening aanbrengen (inzet Materiaal + materieel + arbeidskost), per m ² staaloppervlak	m ²	44	3	132	27	1188				
4.3	Betonherstel uitvoeren handmatig	Uitvoeren plaatselijke betonherstellingen met herstmortel (inzet materieel + materiaal + arbeidskost)	dm ³	14	120	1680	160	2240	160	2240		
4.4	Bekisting balkonneus	Bekisten + ontkisten balkonneus (inzet materieel + materiaal + arbeidskost)	m	95			80	7600				
4.5	Bijwapenen balkonneus	Bijwapenen balkonneus (materiaal + arbeidskost)	kg	5,5			167	918,5				
4.6	Balkonneus storten	Aanstorten balkonneus	dm ³	5,2			1600	8320				

4.7	Opofferanodes	<i>Plaatsen opofferanodes type inboor; lokalisatie wapening + plaatsing + controle (materiaal +materieel + arbeidskost)</i>	st	110				160	17600			
4.8	Bekisting balkon	<i>Plaatsen bekisting en onderstempeling + onkisten geheel balkon</i>	m ²	300						40	12000	
4.9	Wapening balkon	<i>Plaatsing wapening nieuwe balkons</i>	kg	5						418	2090	
4.10	Chemisch verankeren wapeningsstaven	<i>Plaasten chemische verankering wapeningsstaven</i>	st	18						400	7200	
4.11	Aanstorten nieuw balkon	<i>Aanstorten nieuw balkon</i>	dm ³	5,2						4000	20800	
5. Afwerking balkon			EH	Prijs								
5.1	Uitvlakken voor betoncoating		m ²	25	40	1000	40	1000	40	1000	40	1000
5.2	Betoncoating	<i>Aanbrengen betoncoating onderzijde + rand balkon (inzet materiaal + materieel + arbeidskost)</i>	m ²	35	96	3360	96	3360	96	3360	96	3360
5.3	Chape	<i>Aanbrengen chape (inzet materiaal + materieel + arbeidskost)</i>	m ²	95			40	3800	40	3800	40	3800
5.4	Waterdichting	<i>Primer + waterdichting aanbrengen (materiaal + arbeidskost)</i>	m ²	150			40	6000	40	6000	40	6000
TOTAAL					€ 17.649		€ 61.308		€ 47.788		€ 78.406	

Tabel D-2: Kostprijsberekening – MG2

				Patch1		Klassiek		GCP		Nieuw		ICCP		
				HH	Prijs	HH	Prijs	HH	Prijs	HH	Prijs	HH	Prijs	
1. Werfinrichting				EH	Prijs									
1.1	Werfkeet + toilet	<i>huur arbeidsvoorzieningen gedurende werken, prijs uitgedrukt per dag</i>	st, per dag	20	99	1980	249	4980	126	2520	263	5260	150	3000
1.2	Stelling													
1.2.1		<i>Stelling plaatsen + demonteren + huur eerste 20 dagen; per dag</i>	m ² , per dag	1	20	20000	20	20000	20	20000	20	20000	20	20000
1.2.2		<i>stelling huren per dag na 20 dagen per m²</i>	m ² , per dag	0,07	79	5530	229	16030	106	7420	243	17010	130	9100
1.3	Lift	<i>bouwlift personen en goederen</i>	st, per dag	35	99	3465	249	8715	126	4410	263	9205	150	5250
2. Algemene werken				EH	Prijs									
2.1	Bescherming ramen													
2.1.1		<i>Bescherming ramen plaatsen (materiaal/materieel + plaatsing)</i>	m ²	9,2	240	2208	240	2208	240	2208	240	2208	240	2208
2.1.2		<i>Verwijderen bescherming ramen + afvalverwerking</i>	m ²	3,5	240	840	240	840	240	840	240	840	240	840
3. Afbraakwerken				EH	Prijs									
3.1	Verwijderen terrasopbouw	<i>Balkonvloer (tegels) + zandbed verwijderen (materieel + afvalverwerking + arbeidskost)</i>	m ²	38			300	11400	300	11400	300	11400	300	11400

3.2	Verwijderen balkonneus	Saneren beton grotere opp. (inzet materieel + afvalverwerking + arbeidskost)	dm ³	5,5			6600	36300						
3.3	Saneren verontreinigd beton	Aanduiden betonschade + saneren beton kleine opp. (inzet materieel + afvalverwerking + arbeidskost)	dm ³	6,7	1200	8040	1200	8040	1200	8040	1500	10050	1200	8040
3.4	Betoncoating onderzijde verwijderen	Schoonstralen betonoppervlak (inzet materieel + arbeidskost)	m ²	25	333	8325	234	5850	333	8325			333	8325
3.5	Verwijderen volledig balkon	Totale afbraak balkons (inzet materieel + afvalverwerking + arbeidskost)	dm ³	2							28500	57000		
4. Betonherstelligen				EH	Prijs									
4.1	Schoonstralen wapening	Schoonstralen blootliggende wapening (inzet materiaal + materieel + arbeidskost)	kg	7	125	875	996	6972	125	875			125	875
4.2	Coating wapening	Coating op blootliggende wapening aanbrenge (inzet Materiaal + materieel + arbeidskost), per m ² staaloppervlak	m ²	44	16	704	128	5632						
4.3	Betonherstel uitvoeren handmatig	Uitvoeren plaatselijke betonherstellingen met herstelmortel (inzet materieel + materiaal + arbeidskost)	dm ³	14	1200	16800	1200	16800	1200	16800			1200	16800
4.4	Bekisting balkonneus	Bekisten + ontkisten balkonneus (inzet materieel + materiaal + arbeidskost)	m	95			300	28500						

4.5	Bijwapenen balkonneus	<i>Bijwapenen balkonneus (materiaal + arbeidskost)</i>	kg	5,5		690	3795					
4.6	Balkonneus storten	<i>Aanstorten balkonneus</i>	dm ³	5,2		6600	34320					
4.7	Opofferanodes	<i>Plaatsen opofferanodes type inboor; lokalisatie wapening + plaatsing + controle (materiaal + materieel + arbeidskost)</i>	st	110				1200	132000			
4.8	Bekisting balkon	<i>Plaatsen bekisting en onderstempeling + onkisten geheel balkon</i>	m ²	300						300	90000	
4.9	Wapening balkon	<i>Plaatsing wapening nieuwe balkons</i>	kg	5						3235	16175	
4.10	Chemisch verankeren wapeningsstaven	<i>Plaasten chemische verankering wapeningsstaven</i>	st	18						3000	54000	
4.11	Aanstorten nieuw balkon	<i>Aanstorten nieuw balkon</i>	dm ³	5,2						30000	156000	
4.12	Plaatsing ICCP systeem geleidende coating	<i>Plaatsing + inwerking stellen KB systeem opgedrukte stroom type geleidende coating</i>	m ²	150								300 45000
5. Afwerking balkon			EH	Prijs								
5.1	Uitvlakken voor betoncoating		m ²	25		300	7500	300	7500	300	7500	300 7500
5.2	Betoncoating	<i>Aanbrengen betoncoating onderzijde + rand balkon (inzet materiaal + materieel + arbeidskost)</i>	m ²	35		666	23310	666	23310	666	23310	666 23310
5.3	Chape	<i>Aanbrengen chape (inzet materiaal + materieel + arbeidskost)</i>	m ²	90				300	27000	300	27000	300 27000

5.4	Waterdichting	Primer + waterdichting aanbrengen (materiaal + arbeidskost)	m ²	150		300	45000	300	45000	300	45000	300	45000
TOTAAL													
					€ 99.577	€ 313.192	€ 317.648	€ 551.958	€ 233.648				

Tabel D-3: Netto actuele waarde per categorie, FU = 5 jaar – MG1

FU = 5 jaar	Patch	Klassiek	GCP	Nieuw
Afbraak	€ 4.289	€ 15.740	€ 4.780	€ 12.294
Betonherstel	€ 3.596	€ 23.066	€ 2.824	€ 38.551
Herstel/bescherming wapening	€ 432	€ 4.516	€ 22.336	€ 10.919
Bescherming	€ 9.332	€ 17.986	€ 17.849	€ 16.643
TOTAAL	€ 17.649	€ 61.308	€ 47.788	€ 78.406

Tabel D-4: Netto actuele waarde per categorie, FU = 20 jaar – MG1

FU = 20 jaar	Patch	Klassiek	GCP	Nieuw
Afbraak	€ 13.374	€ 15.740	€ 4.780	€ 12.240
Betonherstel	€ 16.727	€ 23.066	€ 2.824	€ 38.381
Herstel/bescherming wapening	€ 2.063	€ 4.516	€ 22.336	€ 10.871
Bescherming	€ 19.507	€ 17.986	€ 17.849	€ 18.941
TOTAAL	€ 51.672	€ 61.308	€ 47.788	€ 80.433

Tabel D-5: Netto actuele waarde per categorie, FU = 40 jaar – MG1

FU = 40 jaar	Patch	Klassiek	GCP	Nieuw
Afbraak	NVT	€ 17.622	€ 5.982	€ 12.294
Betonherstel	NVT	€ 24.644	€ 3.831	€ 38.551
Herstel/bescherming wapening	NVT	€ 4.706	€ 32.891	€ 10.919
Bescherming	NVT	€ 22.081	€ 20.464	€ 21.721
TOTAAL	€ -	€ 69.053	€ 63.168	€ 83.485

Tabel D-6: Netto actuele waarde per categorie, FU = 5 jaar – MGz

FU = 5 jaar	Patch	Klassiek	GCP	ICCP	Nieuw
Afbraak	€ 24.859	€ 74.071	€ 31.470	€ 34.916	€ 87.049
Betonherstel	€ 25.519	€ 95.755	€ 19.042	€ 21.127	€ 272.964
Herstel/bescherming wapening	€ 2.399	€ 19.722	€ 150.607	€ 57.691	€ 77.867
Bescherming	€ 46.801	€ 123.644	€ 116.529	€ 129.291	€ 114.079
TOTAAL	€ 99.577	€ 313.192	€ 317.648	€ 243.026	€ 551.958

Tabel D-7-4: Netto actuele waarde per categorie, FU = 20 jaar – MGz

FU = 20 jaar	Patch	Klassiek	GCP	ICCP	Nieuw
Afbraak	€ 76.871	€ 74.071	€ 31.470	€ 36.048	€ 86.821
Betonherstel	€ 102.770	€ 95.755	€ 19.042	€ 21.812	€ 272.251
Herstel/bescherming wapening	€ 15.882	€ 19.722	€ 150.607	€ 59.561	€ 77.663
Bescherming	€ 102.472	€ 123.644	€ 116.529	€ 133.481	€ 128.734
TOTAAL	€ 297.995	€ 313.192	€ 317.648	€ 250.902	€ 565.469

Tabel D-8 : Netto actuele waarde per categorie, FU = 40 jaar – MGz

FU = 40 jaar	Patch	Klassiek	GCP	ICCP	Nieuw
Afbraak	NVT	€ 84.980	€ 39.898	€ 46.968	€ 86.578
Betonherstel	NVT	€ 106.953	€ 27.694	€ 32.649	€ 271.488
Herstel/bescherming wapening	NVT	€ 20.775	€ 218.589	€ 86.778	€ 77.446
Bescherming	NVT	€ 144.182	€ 132.397	€ 155.651	€ 239.186
TOTAAL	€ -	€ 356.890	€ 418.579	€ 322.046	€ 674.698

Bijlage E: Resultaten midpoints LCA (FU = 20 jaar)



Figuur E-o-1: Resultaten midpoints FU=20 jaar - MG1





Balcon-e

Diagnose, beoordeling en duurzaam herstel van uitkragende betonnen balkons