

PerpetuAL

Haalbaarheidsstudie

Eindverslag

Deze studie is verricht met financiële ondersteuning door het Ministerie van Klimaat en Energie in het kader van de Topsector Energie Studies 2021 onder referentienummer TESN221039.

Openbaar Eindverslag

*5 januari 2024
Wim Gielingh
Monique Fledderman*

Inhoudsopgave

Samenvatting PerpetuAL	3
1 Inleiding	5
1.1 Context en aanleiding.....	5
1.2 Circulariteit versnelt de route naar zero carbon.....	5
1.3 PerpetuAL haalbaarheidsstudie	6
1.4 De aanpak	7
2 Resultaten.....	8
2.1 Herinrichting processen kringloop	8
2.2 Procesanalyses: de roadmap naar CO ₂ neutraal	11
2.3 Processimulatie.....	12
2.4 Workflow management.....	12
2.5 Het kringloop integratie platform	12
3 Vervolgen op de haalbaarheidsstudie PerpetuAL.....	13
3.1 Pilot Industrialisatie Ciskin:	13
3.2 Pilot Long Life Façade (werktitel)	13
3.3 Pilot Integratieplatform en applicaties.....	14
3.4 Pilot Circulaire Geveleconomie	15
3.5 Methodieken en werkwijzen.....	15
4 Verwachte CO ₂ reductie, de route naar zero carbon	16
4.1 Procesanalyse reductie, de route naar zero carbon	16
4.2 Levenscyclusanalyse scenario's	18
5 Verdienmodellen, economische en financiële kansen	20
5.1 Nieuwe business en verdienmodellen	20
5.2 Analyse kansen.....	20
6 Niet-technologische factoren.....	21
6.1 Markt mechanismen in de kringloop.....	21
6.2 Wet- en regelgeving, normalisatie en administratieve lasten	22
6.3 Industrialisatie: van projectmatig werken naar procesmatig werken.....	23
7 Opschalingspotentie en herhaalpotentieel	25
7.1 Opschalingspotentie: nieuwe processen, technologie en concepten.....	25
7.2 Herhaalpotentieel organiseren	25
8 Kennisdisseminatie.....	26
9 Conclusies	26
10 Referenties	28

Samenvatting PerpetuAL

Doel

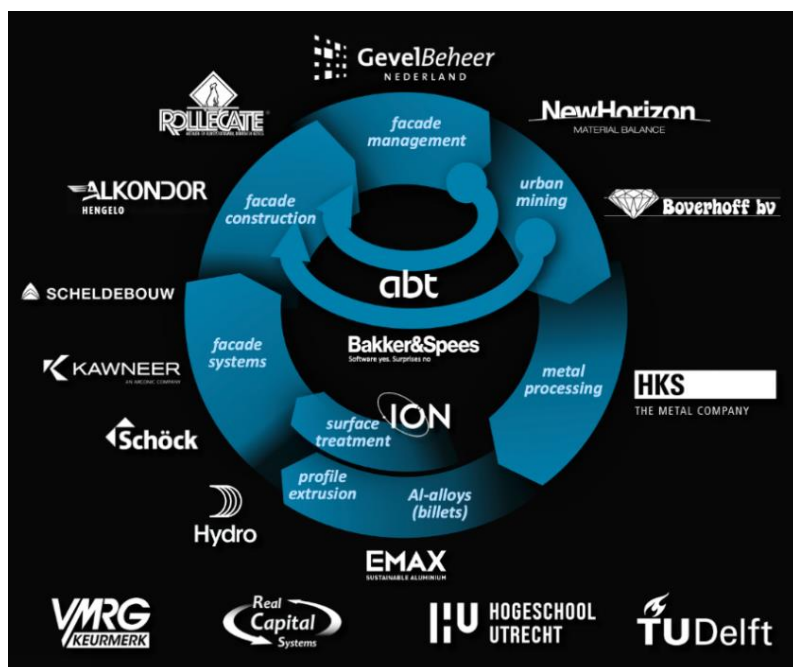
De haalbaarheidsstudie PerpetuAL, uitgevoerd in de periode mei 2022 tot en met juli 2023, maakt deel uit van een missie om technologieën en een informatie infrastructuur te ontwikkelen die eeuwigdurend gebruik van Aluminium mogelijk maken voor toepassing in gevels, gevelproducten en gevelmaterialen, waarbij CO₂ emissies naar nul teruggebracht worden.

De ambitie is om stapsgewijs **binnen 7 jaar de CO₂ uitstoot in de kringloop van aluminium gevels minimaal te halveren, om binnen 20 jaar geheel CO₂ neutraal te zijn.**

Aanpak

PerpetuAL heeft de haalbaarheid getoetst van een verzameling circulaire strategieën voor façades gegroepeerd in drie hoofdcategorieën:

- Ontwerp voor demontage en hergebruik door middel van innovatieve gevelconcepten;
- Systemen voor levensduurverlenging (repair & refurbish), hergebruik (re-use), herfabricage (re-manufacturing) en recycling met behoud van materiaalkwaliteit voor gevelmaterialen die de komende decennia vrij komen uit renovatie of slooprojecten;
- Een kennis- en ICT- infrastructuur die circulaire processen ondersteunt. Onderdeel is het ontwerp van een platform voor het beheer van data voor de gehele levenscyclus van gevels, voor alle schakels in de circulaire keten, die toegang geeft tot Industrie 4.0 technologie.



De 18 partners van PerpetuAL vertegenwoordigen de gehele kringloop van aluminiumproductie, gevelproductie, montage, beheer, onderhoud, demontage, hergebruik en recycling. Daarenboven vertegenwoordigen zij ook kennis en ICT partijen nodig voor de ontwikkeling van de infrastructuur (figuur 1).

Methodieken en werkwijzen

Voor een structurele aanpak van het onderzoek is gekozen voor een aantal methodieken:

- Procesanalyse as-is en to-be met Business Proces Model Notation (BPMN);
- Simulatie met System Dynamics (SD);
- Transactiedata analyse met DEMO;
- Levenscyclusanalyses (LCA) voor circulaire scenario's voor bepaling impact;
- Methodisch innoveren voor het verhogen van het niveau op de industriële vaardigheidsladder (capability maturity level);

- Onderzoek wetenschappelijke en praktijk publicaties voor toetsing;
- Toetsing technologie en financiële haalbaarheid door bedrijven;
- Interviews en werkgroepen voor onderzoek haalbaarheid oplossingen.

Resultaten

Ketenherinrichting:

- 35+ oplossingsvarianten (met sub-oplossingen) zijn getoetst in 7 werkgroepen, waaronder verplaatsing van klant-order-ontkoppelpunten, wijziging van de verwerkingsvolgorde in montage en demontageprocessen, en andere vormen van samenwerking met gebruikmaking van moderne industriële inzichten en systems engineering.

Impactanalyse scenario's

- 29 scenario's zijn doorgerekend
- Toetsing op CO₂ impact, Paris Proof en MKI

Innovatieve technologieën

- Een set marktrijpe technologieën in verschillende stadia van ontwikkeling en toepassing;
- Een set technologieën die zich deels nog moeten bewijzen middels pilots;
- Technologieën die variëren van circulaire (modulaire) industriële gevelconcepten, identificatie, simulatie, digitalisering, coating, re-melting, verwerking en geautomatiseerde scheiding van legeringen; inclusief gebruik van andere vormen van energie, van elektrificatie tot waterstof.

Pilots

Dit haalbaarheidsonderzoek krijgt op verschillende manieren een vervolg. Meerdere pilots worden uitgevoerd binnen het Programma Toekomstbestendige Leefomgeving welke d.d. 23 februari 2023 door het Nationaal Groeifonds is toegekend:

1. Pilot Industrialisatie Ciskin een modulair circulair gevelconcept;
2. Pilot Long Life Façade, gevelconcepten met focus op renovatie, herstel, hergebruik en relocatie;
3. Pilot Kringloop Integratie Platform en applicaties;
4. Pilot Circulaire Geveleconomie, met verbreding naar 6 kringlopen in de gevel (Glas, Staal, Aluminium, Hout, Kunststof, Hang- en Sluitwerk);
5. Methodieken en werkwijzen ter versnelling het deelprogramma Circulariteit van het Groeifonds programma.

Conclusies

Voor de kringloop van aluminium façades trekt de haalbaarheidsstudie PerpetuAL de volgende conclusies:

- Met een combinatie van oplossingen lijkt een halvering van de CO₂ emissies binnen zeven jaren haalbaar;
- Met de thans beschikbare technologie zijn low carbon primair en zero carbon secundair aluminium mogelijk;
- Aluminium speelt een belangrijke rol in de verduurzaming van onze economie waardoor de vraag naar dit metaal zal toenemen. Dit impliceert dat de vraag niet volledig afgedekt kan worden door secundair aluminium en er dus in de komende decennia een behoefte aan primair aluminium blijft bestaan;
- Een gemeenschappelijke strategie met pluriforme oplossingen voor de gevel is nodig om antwoord te kunnen geven op de diversiteit aan vragen uit de markt;
- De bestaande marktmechanismen in de bouw bevorderen circulariteit niet; er is verandering van vraag en aanbod voor nodig;
- Als opdrachtgevers in de Bouw die stap niet zetten dan zullen normen, certificaten en/of regelgeving een handje moeten helpen om circulariteit mogelijk te maken.

1 Inleiding

Eind juli 2023 is het haalbaarheidsonderzoek PerpetuAL afgerond. Naast een volledig zicht op de route naar zero carbon heeft dit geleid tot diverse vervolgpilots, methodieken en een aanzet tot kennisoverdracht.

1.1 Context en aanleiding

Bijna 20% van alle gebouwen in Nederland wordt voorzien van gevels die geheel of gedeeltelijk bestaan uit Aluminium raamwerken. Dat kan gaan om zogenoemde vliesgevels of om losse gevelelementen, al dan niet voorzien van draaiende delen. In totaal gaat het om 1,4 miljoen m² geveloppervlak per jaar.

De productie van deze gevels veroorzaakte circa 45 kton aan CO₂ emissies volgens een verkenning in 2020. Dit wordt mede veroorzaakt door de winning van aluminium uit ruwe grondstof. Het genoemde getal betreft 'embodied carbon'; dit is dus inclusief emissies die buiten Nederland plaatsvinden maar aan de Aluminium gevels worden toegeschreven.

Primair aluminium, welke gewonnen wordt uit de grondstof bauxiet, veroorzaakt (referentiecijfers 2020, [bronnen 3, 6, 7]):

Mondiaal gemiddeld	> 16 kg CO ₂ -eq per kg	<i>Hoge waarde door steenkool gestookte energiecentrales in China en India.</i>
Europees gemiddeld	6,7 kg CO ₂ -eq per kg	<i>Dankzij gebruik van duurzamere energie.</i>
Bedrijfsniveau	4,0 kg CO ₂ -eq per kg	<i>Koplopers duurzaamheid (waaronder projectpartners) dankzij gebruik van hydro-elektrische energie.</i>

Helemaal zonder CO₂ uitstoot is primair Aluminium echter niet te fabriceren, omdat bij het elektrolytisch scheiden van het metaal uit aluinaarde (= Aluminiumoxide, Al₂O₃) koolstof anodes gebruikt worden, die de zuurstofionen aan zich binden en daardoor omzetten in CO₂. Inclusief de productie van de anodes draagt dit bij aan circa 2,4 kg CO₂/ kg Al.

Er wordt mondiaal op diverse plaatsen onderzoek gedaan naar nieuwe technologieën, zoals het werken met inerte anodes: dit zijn anodes die niet verbruikt worden, en die bij het puren van aluminium uit aluinaarde alleen zuurstof emitteren. Er worden vorderingen gemeld, maar deze technieken zijn nog niet op industriële schaal toepasbaar.

1.2 Circulariteit versnelt de route naar zero carbon

Gerecycled (secundair) aluminium veroorzaakt met de huidige technologie [8, 3] :

Mondiaal gemiddeld	0,6 kg CO ₂ -eq per kg
Europees gemiddeld	0,5 kg CO ₂ -eq per kg

Op bedrijfsniveau worden aanzienlijke verbeteringen gerealiseerd, onder meer door investeringen in nieuwe typen smeltovens. Alleen al vanuit energieperspectief heeft het daarom zin om aluminium zo veel mogelijk te recyclen. De ontwikkelingen gaan snel. Het aandeel secundair aluminium in nieuwe aluminium gevels is:

Nederland aandeel herkomst secundair:	55% (gemiddeld)
Bedrijfsniveau aandeel herkomst secundair:	80% - 95% (max - project of systeem gebonden)

Dit is mede te danken aan high-tech oplossingen¹ voor het scheiden van aluminium legeringen in de metaalverwerkende industrie.

Aluminium wordt vrijwel nooit in zuivere vorm toegepast: er worden stoffen aan toegevoegd die de eigenschappen gunstig beïnvloeden. Dit mengsel wordt een legering genoemd. De minimale en maximale hoeveelheid van deze stoffen is via normen bepaald. Als bij recycling andere materialen, zoals ijzer, zink en silicium (glas), per ongeluk in de smeltoven terecht komen kan de aluminiumlegering ongeschikt worden voor de extrusie van profielen. Om weer binnen de toegestane bandbreedte te komen wordt dan toevoeging van schoon (primaire) aluminium noodzakelijk.

Kortom, des te zuiverder de input voor het recycling proces is, des te kleiner het percentage primair kan zijn. En dus des te lager de CO₂ uitstoot. Ook kan het aluminium dan veel vaker gerecycleerd worden.

De PerpetuAL haalbaarheidsstudie doet daarom aanbevelingen waarmee vrijwel alle verliezen in het productieproces van gevels en gevelelementen vermeden of gereduceerd worden.

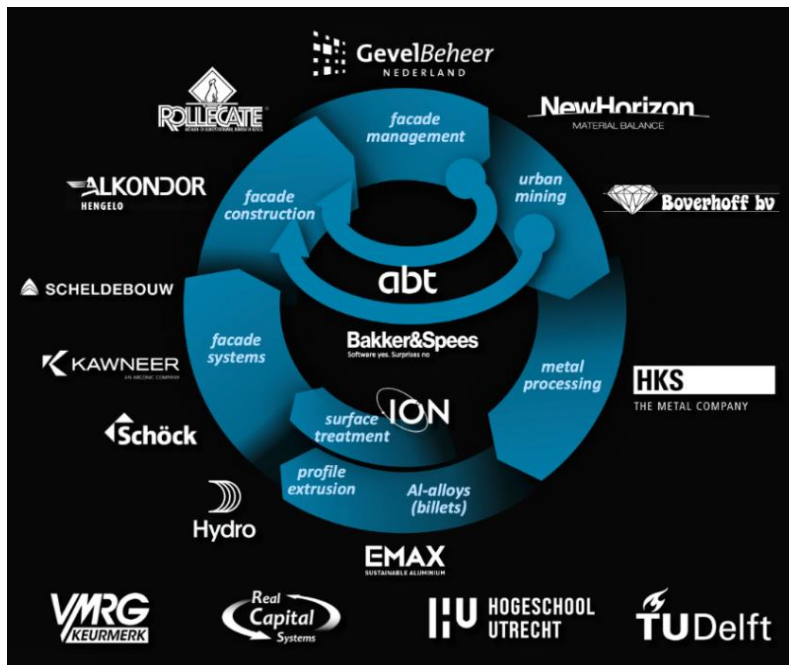
De emissiecijfers in de vorm van kg CO₂-eq per kg Aluminium moeten overigens genuanceerd worden in vergelijking met andere constructiematerialen. Aluminium is immers een relatief licht constructiemateriaal met een hoge treksterkte waardoor er minder massa nodig is per nuttige constructie-eenheid. Daarom zijn emissies uitgedrukt in kg CO₂-eq / kg Al geen objectieve maatstaf voor het onderling vergelijken van materialen.

1.3 PerpetuAL haalbaarheidsstudie

In het kort geformuleerd is het onderzoek PerpetuAL gebaseerd op:

- De **missie** om technologie en een infrastructuur te ontwikkelen die eeuwigdurend hoogwaardige circulaire toepassing van Aluminium gevels, gevelproducten en materialen mogelijk maakt, en daarbij CO₂ emissies naar nul terugbrengt.
- De **ambitie**, uitgaande van stapsgewijze realisatie, om binnen 7 jaar de CO₂ uitstoot minimaal te halveren, om binnen 20 jaar geheel CO₂ neutraal te zijn.
- Met als **doel** van het project: het op haalbaarheid toetsen van circulaire gevelconcepten en oplossingen om het percentage secundair in de kringloop te verhogen, en dit te ondersteunen met een ICT platform voor informatie-uitwisseling in de circulaire keten.
- Deelname van **bedrijven uit de volledige circulaire kringloop** van aluminiumproductie, toepassing, demontage, hergebruik en recycling vertegenwoordigen. En waarbij het **kennisveld** betrokken is voor onderzoek en opleidingen ten behoeve van nieuwe werkwijzen (figuur 1).
- Deelname van **18 partijen** (10 gesubsidieerd, 8 bijdrage in-kind) waarvan zes deelnemers internationaal opererende ondernemingen zijn.

¹ Met name gaat het hier om toepassing van wervelstroom scheidingstechnologie en röntgen fluorescentie spectrometrie voor het geautomatiseerd scheiden van versnipperde stukjes secundair aluminium. Deze technieken zijn nu al beschikbaar voor grootschalig gebruik bij metaalverwerkende bedrijven zoals Hydro en HKS (beiden betrokken in het PerpetuAL project).



Figuur 1: De 18 partners van PerpetuAL vertegenwoordigen de gehele kringloop van aluminium-productie, gevelproductie, montage, beheer, onderhoud, demontage, hergebruik en recycling. Daarenboven vertegenwoordigen zij ook kennis en ICT partijen nodig voor de ontwikkeling van de infrastructuur (figuur 1).

Het haalbaarheidsonderzoek bestond uit 3 hoofdonderdelen:

1. **Circular Facade (Re)manufacturing** - er komen de komende decennia veel gevelmaterialen vrij. PerpetuAL onderzoekt systemen voor demontage, hergebruik en recycling.
2. **Design for Disassembly and Reuse** - Levensduurverlenging, hergebruik en recycling van nieuwe gevels wordt mogelijk door innovatieve gevelconcepten.
3. **ICT- infrastructuur voor circulaire processen**. Het betreft een platform voor het beheer van data voor de gehele levenscyclus van gevels, dat alle schakels in de circulaire keten met elkaar verbindt, en de sector toegang geeft tot Industrie 4.0 technologie.

En 4 werkpakketten:

Werkpakket 1: Methodiek en voorbereiding haalbaarheidsonderzoek

- Uitwerking methodiek onderzoek, preparatie ICT infrastructuur en training deelnemers op methodiek

Werkpakket 2: 'Circular Façade (Re)manufacturing' en 'Design for Disassembly and Reuse'

- Gedetailleerde procesmodellen & data analyse huidige bedrijfsprocessen.
- Innovatieve bedrijfsprocessen en gevelconcepten.
- Uitwerking pilots

Werkpakket 3: Ontwerp ICT infrastructuur voor de circulaire gebouwde omgeving

- Uitwerking datamodelen procesanalyses en simulaties
- Uitwerking Keten(kringloop)integratieplatform

Werkpakket 4: Kennisdisseminatie en eindrapportage

- Kennisoverdracht & rapportage

1.4 De aanpak

Voor de haalbaarheidsstudie is gebruik gemaakt van de aanpak 'Methodisch Innoveren' en meer specifiek de analyse van de bedrijfsprocessen in Business Process Model and Notation (BPMN) voor de gehele kringloop. Dit, in samenwerking met de Hogeschool Utrecht en de TU Delft. In een tweede stap is met de bedrijven in zeven werkgroepen gebrainstormd.

2 Resultaten

2.1 Herinrichting processen kringloop

Er zijn zeven werkgroepen gevormd die bij elkaar ruim 50 mogelijke innovaties voor recycling, hergebruik en levensduurverlenging van aluminium gevels in de kringloop hebben beschouwd. Ook de rol van thermische isolatoren en oppervlaktebehandeling kwam daarbij aan bod.

Let wel, genoemde innovaties worden niet door elke partner ondersteund. Iedere partner maakt binnen de voorgestelde oplossingsrichtingen eigen keuzes. Enkele 'highlights' zijn:

1. De kans dat gevelelementen die beschikbaar komen uit sloop of renovatie hergebruikt kunnen worden is in het huidige proces minimaal, ook als de elementen nog in tip-top conditie zijn. De reden is dat er momenteel geen standaards zijn voor de dimensionering van elementen; ze passen niet zomaar in een nieuw ontwerp of in een ander bestaand gebouw. Enkele gevelbedrijven ontwikkelen daarom samen een modulair gevelsysteem met gestandaardiseerde maatvoering. Dit maakt de gevel flexibeler en eenvoudig aanpasbaar. De modules zijn na demontage bovendien goed herbruikbaar waardoor de levensduur toeneemt.
2. De voordelen van #1 komen pas op langere termijn beschikbaar. De vraag is daarom of de kans op hergebruik van elementen die uit de huidige gebouwvoorraad komen vergroot kan worden. Dat lijkt mogelijk te zijn als informatie over gevelelementen die beschikbaar komen enkele jaren – drie tot vijf jaar – vóór demontage beschikbaar komt en op een 'marktplaats' voor gebruikte bouwproducten wordt gepubliceerd. De kans op hergebruik wordt dan immers veel groter omdat ze dan geïntegreerd kunnen worden in nieuwe ontwerpen.
3. Van de gebouwen die als 'donorgebouw' gaan functioneren dienen 'as built' of 'as maintained' specificaties beschikbaar te zijn. Momenteel worden de 'as built' en 'as maintained' situaties niet vastgelegd. Technische tekeningen ('as designed') worden bewaard tot de garantietermijn verstreken is en zijn ook moeilijk toegankelijk. Alleen bestek en tekeningen die gebruikt zijn voor vergunningverlening zijn met enige moeite wel terug te vinden, maar die komen vrijwel nooit overeen met wat men op de bouwlocatie zelf aantreft. Deze zijn 'as required' en bevatten geen technische ontwerp specificaties en geen informatie van de toeleveranciers.
4. Voor toekomstige renovaties, urban mining (demontage van gebouwen in plaats van sloop) en het bestrijden van calamiteiten (bijvoorbeeld brand of instorting) is het van belang dat exact bekend is welke materialen er in een gebouw toegepast zijn, en hoe een gebouw schadevrij gedemonteerd kan worden. Die informatie komt echter niet van één bron: bij de realisatie van een gebouw zijn tientallen toeleveranciers van materialen en componenten betrokken. Elke toeleverancier is verantwoordelijk voor het eigen product en voor het leveren van de juiste informatie daarvan. Elke toeleverancier moet daar op aangesproken kunnen worden als onderdeel van de bouwkundige kwaliteitsborging. De latere gebruikers kunnen echter geïnteresseerd zijn in willekeurige doorsnedes van het totale pakket aan informatie. De vraag naar informatie kan bovendien ontstaan als het gebouw al enkele decennia bestaat. Sommige toeleveranciers die verantwoordelijk zijn voor het leveren van de informatie kunnen tegen die tijd niet meer bestaan. Dat vereist dat er een aparte beheerfunctie van die gemeenschappelijke informatie moet komen. Deze ontslaat de producent van de informatie echter niet van diens verantwoordelijkheid. In het kader van de kwaliteitsborging dient dit aspect nader uitgewerkt te worden in de vorm van een nationale of Europese norm en/of keurmerk waar besteksomschrijvingen en het Bouwbesluit naar kunnen verwijzen.

5. LCA (Lifecycle Assessment) data zijn gebaseerd op algemene gegevens die in de literatuur voorhanden zijn. Voor zover LCA gegevens in de Nationale Milieu Database (NMD) zijn opgenomen kunnen branches of individuele bedrijven die aanvullen met eigen cijfers, maar de vraag is hoe die tot stand komen. Als de realiteit minder gunstig is dan wat in de NMD staat is men niet gemotiveerd om die cijfers aan te passen. Ontwerpers werken dan mogelijk met incorrecte gegevens.
6. Om tot een betrouwbare LCA te komen zouden cijfers over energiegebruik, emissies en afval gekoppeld moeten worden aan processen. Bij elkaar opgeteld leiden die tot de LCA voor een product.
7. Informatie over gevelelementen in gebouwen kan op eenvoudige wijze ontsloten worden als op deze producten een identificatiemiddel is aangebracht (QR code of RFID chip) die met een mobiele telefoon, tablet of laptop leesbaar is. Dat kan gaan om productspecificaties en herkomst (producent) maar ook om procesdata en demontage handleidingen.
8. Het is technisch mogelijk om procesdata automatisch te koppelen aan de QR code tijdens productie (zie punt #7 hiervoor), maar dat wordt nu nog niet (of beperkt) gedaan.
9. Er zijn technieken beschikbaar om met coating-afstotende inkt QR codes te printen op metalen profielen. Deze blijven dus leesbaar na coating.
10. Bouwen = Stapelen. Gebouwen worden meestal vervaardigd uit geprefabriceerde elementen die met een bouwkraan op hun plek gehesen worden. Om ze weer uit elkaar te halen zou eenzelfde werkwijze in omgekeerde volgorde toegepast moeten worden, maar op veel locaties is er dan geen plek meer voor de bouwkraan. Deze werkwijze heeft ook invloed op de plaatsing van prefab gevelelementen; die worden eveneens met de bouwkraan op hun plek gehesen en van buitenaf gemonteerd aan het casco. Demontage van binnenuit is dan moeilijk, zo niet onmogelijk. Gevelsystemen die van binnenuit te demonteren zijn, zijn gunstiger voor renovatie en hergebruik, en zijn waarschijnlijk ook beter beveiligd tegen inbraak.
11. Een systeemhuis levert gecoate aluminium profielen op een standaardlengte van 6 meter. Gevelbedrijven verzagen deze tot de gewenste lengte. Indien het systeemhuis profielen zou leveren in drie verschillende standaardlengtes, bijvoorbeeld 5, 6 en 7 meter, dan kan het gevelbedrijf kiezen welke lengte het minste zaagverlies veroorzaakt. Uit simulatie blijkt dat in dergelijke gevallen de totale zaagverliezen hierdoor met 1/3 kunnen dalen.
12. Systeemhuizen maken raamcontracten met gevelbedrijven waarbij profielen per gewichtseenheid (kilogrammen) worden geleverd. Het systeemhuis heeft daardoor geen baat bij het terugdringen van verliezen. Gevelbedrijven moeten systeemhuizen verzoeken om een ander verdienmodel te hanteren waardoor beiden baat hebben bij het terugdringen van zaagverliezen.
13. Verplaatsing van het klantorder koppelpunt naar het extrusiebedrijf levert nog grotere voordelen op. Profielen die uit de extrusiepers komen hebben een lengte van 18 tot 20 meter. Omdat ze op die lengte niet transporteerbaar zijn worden ze nu in standaardlengtes gezaagd, bijvoorbeeld 6 meter, en geleverd aan de systeemhuizen. Als de lange profielen opgeslagen zouden worden (na) bij de extrusiebedrijven in plaats van bij de systeemhuizen, dan kunnen ze daar op de gewenste lengtes gezaagd worden. De verliezen dalen dan naar 3%. Maar aangezien die 3% nog niet gecoat is kunnen deze stukken direct omgesmolten en hergebruikt kan worden. De verliezen bij optie #11 betreffen namelijk gecoat materiaal dat eerst schoon gemaakt moet worden om het te kunnen omsmelten tot nieuw aluminium. Dat is in optie #13 niet het geval.

14. Een nevenvoordeel van optie #13 is dat er ook geen verliezen optreden van de coating zelf; er is 15 % minder coating materiaal nodig.
15. Een nevenvoordeel van optie #13 is dat de tussenopslag bij systeemhuizen komt te vervallen. Het inrollen van isolatoren zou dan wel bij (of in de nabijheid van) de extrusiebedrijven moeten plaatsvinden.
16. Een nevenvoordeel van optie #13 is dat er geen zaagafval bij de gevelbedrijven meer ontstaat. Daardoor vervalt het proces van verzamelen en transporteren van dit afval, alsook de tussenhandel van dit afval. Het is deze tussenhandel die mede debet is aan de export van aluminium naar Azië waar het op milieuvriendelijke wijze verwerkt wordt. Het Aluminium blijft dankzij optie #13 binnen Europa en in de meeste gevallen zelfs binnen hetzelfde bedrijf (smelten en extruderen vindt meestal binnen één bedrijf plaats).
17. bouwt voort op optie #13. Indien de eindbewerking van de profielen (verstek zagen, frezen, boren) eveneens bij het extrusiebedrijf plaats vindt dan worden de uiteinden van de profielen gecoat en ontstaan er geen blanke zaagvlakken die nabehandeling vereisen zoals bij #11 en #13. Het proces wordt dus ook efficiënter en goedkoper. De eindbewerkingen worden nu al door volautomatische machines gedaan zodat het gehele productieproces tot montage zo goed als volledig geautomatiseerd kan worden.
18. Een van de pijnpunten in het huidige proces is de aansluiting tussen ontwerper (de architect) en het gevelbedrijf. In het traditionele design-bid-build proces raakt de gevelbouwer pas betrokken in het offertestadium als onderaannemer van een hoofdaannemer. Daarbij wordt alleen nog maar gekeken naar de prijs, niet naar de kwaliteit en toegevoegde waarde van de gevel. Wil men de opdracht winnen dan moeten er concessies gedaan worden aan de kwaliteit. Vaak leiden deze projecten na gunning van de opdracht tot noodzakelijke aanpassingen van het ontwerp, en dus tot 'meerwerk'. Ook is een gevolg hiervan dat de 'as built' situatie sterk afwijkt van de 'as designed' situatie. Bij grotere projecten die een design-team aanpak kennen worden gevelbouwers eerder betrokken bij het ontwerp, maar dan in de rol van onafhankelijk adviseur. Het meest gebruikelijk is echter dat systeemhuizen hun producten promoten bij architecten in de hoop dat deze voorgeschreven worden in ontwerp en bestek. In alle hier beschreven gevallen sluit het architectonisch ontwerp, of dat nu geleverd wordt in de vorm van tekeningen of een BIM model, niet aan op de calculatiesoftware van de gevelbouwer. Het ontwerp moet in het offertestadium handmatig ingevoerd worden in het calculatie programma, wat tijd kost en tot fouten kan leiden. Om dit proces te verbeteren kan de architect gebruik maken van parametrische BIM modules die systeemhuizen aanbieden, maar daarmee wordt ook meteen een keuze gemaakt uit een bepaald type product. Een betere, maar nog niet beschikbare oplossing zou zijn om de architect gebruik te laten maken van een plug-in op het ontwerpsysteem waarmee met behulp van referentie geometrie functionele eisen aan de gevel gesteld kunnen worden. Deze plug-in dwingt de architect niet meteen om een keuze te maken uit een bepaald type product; die keuze kan wel eenvoudiger gemaakt worden door beschikbare oplossingen te rangschikken op geschiktheid voor de functionele specificaties. Bovendien kan de referentiegeometrie ingevoerd worden in de meest gangbare calculatiesoftware waardoor het maken van een offerte goedkoper, betrouwbaarder en minder riskant wordt.
19. Het probleem van de uitwisseling van data tussen partijen in de keten wordt mede veroorzaakt door verschillend gebruik van BIM systemen. Er bestaan namelijk wel standaards voor data uitwisseling maar die zijn niet afdoende als ze op verschillende manieren toegepast worden. Dit is één van de aspecten die verbeterd kan worden.

20. De ontwerp- en productieprocessen kunnen sterk vereenvoudigd én verbeterd worden door ze te standaardiseren. Gevelbouwers en installateurs zouden zich moeten ontwikkelen tot co-makers van hoofdaannemers, waarbij men integrale verantwoordelijkheid krijgt voor technisch ontwerp, productie, montage, beheer, onderhoud én terugname van gevels. De architect houdt invloed door zich te richten op functioneel ontwerp. Op deze manier wordt beter gebruik gemaakt van de bij de gevelbouwers aanwezige kennis, en kan de gevelbouwer ook meer verantwoordelijkheid dragen voor zijn product. Dit laatste is een voorwaarde voor Uitgebreide Producenten Verantwoordelijkheid.
21. Computerapplicaties ondersteunen momenteel traditionele, door mensen uitgevoerde werkwijzen. Proces- en productieautomatisering is beperkt. Dat komt mede doordat de uitwisseling van data in de keten moeizaam is. In veel gevallen is telefonische of persoonlijke communicatie leidend. Documenten worden weliswaar digitaal uitgewisseld, meestal per email, maar er is geen sprake van workflow management. BIM wordt vooral gebruikt voor visualisatie. Complexe processen die het meest geautomatiseerd zijn, zijn het scheidingsproces van de aluminium afvalstroom en de machinale bewerking van profiel elementen. Data overdracht tussen partijen in de keten, zoals tussen architect, hoofdaannemer en gevelbouwer, en tussen gevelbouwer en systeemhuis, is grotendeels handmatig waarbij aangeleverde gegevens opnieuw ingevoerd worden in de eigen computerapplicaties. Naast de oplossingen die al in punten 19 en 20 aangereikt zijn kunnen de processen verbeterd worden door workflow management over het integrale proces heen toe te passen met gemeenschappelijk beheer van specificaties en modellen die bij transacties leidend zijn.
22. Oplossing #21 (workflow management) maakt het tevens mogelijk om sommige werkzaamheden die nu sequentieel plaatsvinden parallel te schakelen (*concurrent engineering*). Een daarvan is het vroegtijdig bestellen van primair en secundair aluminium (schroot) waardoor er in de keten minder risico's ontstaan door prijsschommelingen op de internationale markten. Ook kan het risico van levertijden verkleind worden door vroegtijdig een claim te leggen op de beschikbare grondstoffen en bouwmaterialen.

2.2 Procesanalyses: de roadmap naar CO₂ neutraal

PerpetuAL heeft de volledige kringloop van aluminium in kaart gebracht door middel van Business Process Model and Notation (BPMN): van grondstof tot grondstof en van oude gevel tot nieuwe gevel.

Processen die relatief veel energie vragen of tot emissies leiden zijn aangemerkt. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen thermische energie (verhitting, afkoeling), mechanische energie (verplaatsen, vernalen, zagen e.d.) en elektrische energie. Dit, met het doel waar mogelijk te elimineren of te reduceren en anders te verduurzamen.

Verduurzaming energie betreft verduurzaming van:

- Elektrische energie - Afhankelijk van verduurzaming bronnen stroomnetwerk;
- Mechanische energie - door elektrificeren, waaronder transport
- Hoge temperatuur verhitting – van aardgas naar waterstofgas (enkele projectpartners zijn hier al actief mee bezig)

Op basis van processen en voorliggende innovaties is de verwachting dat het technisch mogelijk is om de gehele circulaire keten voor secundair aluminium CO₂ neutraal te maken. De PerpetuAL proces analyse vormt de roadmap voor de implementatie van de energietransitie.

Alleen de productie van primair aluminium is technisch nog niet mogelijk zonder CO₂ emissies met het huidige Hall-Heroult proces. Door primair aluminium zo veel mogelijk te vervangen door secundair aluminium worden emissies fors teruggebracht, en dat kan met de huidige technologie. De emissies kunnen vrijwel naar nul als men er in slaagt om het Hall Heroult proces te vervangen door elektrolyse met behulp van inerte anodes. De prognose is dat deze technologie vanaf 2030 op industriële schaal ingevoerd kan worden en dat vanaf 2045 alle aluminium op deze wijze geproduceerd wordt [11].

2.3 Processimulatie

BPMN is een computer-interpreteerbare taal die als startpunt kan dienen voor de programmering van werkstroom automatiseringssystemen. In principe is deze taal ook geschikt voor processimulatie. Er bestaan echter nog geen commerciële programma's die bedoeld zijn voor dit type simulatie. Daarom is een proef gedaan met simulatie van onderhoudsprocessen (correctief, preventief en predictief onderhoud) en de effecten daarvan op kosten en kwaliteit van het gebouwbeheer, met System Dynamics (SD). System Dynamics wordt onder meer gebruikt voor de simulatie van factoren die bijdragen aan klimaatverandering en de uitputting van grondstoffen door het Massachusetts Institute of Technology (MIT) in de VS.

Deze proef is uitgevoerd door dr. Quan Zhu van de Hogeschool Utrecht met begeleiding van prof.dr.ir. Henderik Proper van de Universiteit van Wenen, dr.ir. Pascal Ravesteijn van de Hogeschool Utrecht, en dr.ir. Wim Gielingh van Real Capital Systems. De afbeelding van het BPMN model op System Dynamics heeft geleid tot een wetenschappelijke publicatie voor de 21^e internationale conferentie over Business Process Management in 2023 [13].

2.4 Workflow management

Verskillende toepassingen van workflow management zijn genoemd bij de herinrichting van ketenprocessen. Aanbevolen wordt dat de bouwbranches voor utiliteit- en woningbouw gebruik maken van de infrastructuur die al wordt toegepast in de GWW sector: de VISI standaard. Het gebruik van VISI wordt voorgeschreven door grote opdrachtgevers zoals Rijkswaterstaat, ProRail, het Rijksvastgoedbedrijf en de havenbedrijven van Rotterdam en Amsterdam. Echter, in de woning- en utiliteitsbouw zijn geen vergelijkbare grote opdrachtgevers die zo'n standaard afdwingen. Workflow management is echter een essentiële hoeksteen voor kwaliteitsborging in de bouw.

In het PerpetuAL projectpartner welke VISI leverancier is, onderzocht hoe de data uitwisseling tussen een gevelbouwer en een systeemhuis ondersteund kan worden met de VISI systematiek. Dit blijkt technisch goed haalbaar.

2.5 Het kringloop integratie platform

Toeleveringsketens kunnen aanzienlijk efficiënter worden als er beter gebruik gemaakt wordt van informatietechnologie. Data die de ene partij produceert moet rechtstreeks gebruikt kunnen worden door een andere partij. Vaak wordt beweerd dat dit opgelost kan worden door de publicatie en acceptatie van standards, maar de praktijk is weerbarstig. Er is behoefte aan data integratie platformen die uitwisseling van data ondersteunen en daarbij meer dan alleen workflow. Veel van de genoemde verbeterpunten kunnen geïmplementeerd worden met een data integratie platform dat de gehele kringloop omspant. Binnen dit haalbaarheidsonderzoek is een beschrijving van de functionaliteit van dit platform (workflow, data beheer en transactie management, configuratie management, proces management, parametrisering en business data management) opgesteld. Dit zal geoperationaliseerd worden in het Nationaal Groeifonds programma Toekomstbestendige Leefomgeving, Consortium Gebouwen, werkpakket 4. Dit platform zal niet alleen bijdragen leveren aan de circulaire aluminium keten, maar ook aan die van staal, hout, kunststof en glas.

3 Vervolgen op de haalbaarheidsstudie PerpetuAL

Dit haalbaarheidsonderzoek krijgt op drie verschillende manieren een vervolg:

1. Pilots in het Nationaal Groeifonds Programma Toekomstbestendige Leefomgeving, Consortium Gebouwen werkpakketten 3, 4 en 6;
2. Vervolgstappen in gezamenlijk projecten met Ketenstandaard (toetsen aanpak m.b.t. gebouwspaspoorten en standaarden) en een tweetal DigiDeals met DSGO (Ketenintegratie en Cool Orange);
3. Individuele ontwikkeling door deelnemende partijen op basis van onderzoeken binnen PerpetuAL.

3.1 Pilot Industrialisatie Ciskin:

Ambitie

Ciskin is een 100% circulair gevelconcept. Dit systeem is losmaakbaar, makkelijk veranderbaar, upgradebaar en herbruikbaar is (zonder kit, pur of lijm gebruik) en gebaseerd op 85% secundair (post-consumer) aluminium en het nemen van producenten verantwoordelijkheid. Door middel van industrialisatie en digitalisering vanaf de ontwerp- engineering- werkvoorbereidings-processen wordt gestreefd naar een efficiënt concept. Het is de bedoeling dat na de Nederlandse markt, België en Luxemburg en daarna Europa volgt.

Samenwerking

De direct betrokken partijen zijn Alkondor, De Groot en Visser, Hydro, White Lioness Technologies en TU Delft Campus Real Estate. Het gehele netwerk is meer omvangrijk en de pilots maken onderdeel uit van het NGF programma Toekomstbestendige Leefomgeving.

Onderdelen van de pilot:

- Ciskin 1.0 - ontwikkelen versie 1.0 systeem en optimalisatie en uitbreiding naar versie 1.x;
- Ciskin 2.0 - volgende versie van het systeem met prefab productie en steigerloze montage;
- Pilot(s) en monitoring van de Ciskin gevel op locatie;
- Digitalisering, parametrisering en koppeling met (open) dataplatform(en).

3.2 Pilot Long Life Façade (werktitel)

Ambitie

De ambitie is de (door)ontwikkeling van concepten met een focus op renovatie, refurbishment, hergebruik en relocatie van gevels. Van eigen ervaringen in projecten (enkelstuks zoals de tijdelijke rechtbank en industriële aanpakken anderszins Zalmhaventorens) is het de bedoeling door te ontwikkelen naar een grootschalige verdergaande industriële aanpak met bijbehorende servicelevels en businesscases. Dit, met gebruikmaking van technologie zoals kleine schaal 3D printen voor renovatie & re-manufacturing, RFID / QR-codes en/of (remote) sensing met drone inwinning gebouwschillen richting t.b.v. voorspelbaar onderhoud (innovatieve gevelinspectie). Dit dient opdrachtgevers een set aan uitdagende opties te bieden voor een langere levensspanne middels onderhoud, upgrades en end-of-life scenario's.

Samenwerking

De direct betrokken partijen zijn Rollocate, Gevelbeheer en Aeroscan. Het gehele netwerk is meer omvangrijk en de pilots maken onderdeel uit van het NGF programma Toekomstbestendige Leefomgeving.

Onderdelen van de pilot:

- Hergebruik en relocatie (plus re-manufacturing) met moet toepassing in de bestaande gebouwvoorraad;
- Repair and refurbish met levensverlengende en isolatiewaarde verhogende productonderdelen;
- Kostenefficiënt schadevrije en arboveilige de- en re-montage methodes en technologie;
- Recycling met legeringsbehoud door datakoppeling, inclusief reductie productieverlies;
- Digitalisering en datadragers (identificatie) voor circulaire systemen voor productie;
- Tooling waarbij klanten dynamischer kunnen plannen wat betreft prijsvoering en competenties.

3.3 Pilot Integratieplatform en applicaties

Ambitie

- Het streven is om een open informatiebeheerplatform te ontwikkelen met gestandaardiseerde koppelingen tussen elk van de deelsystemen.
- Om te voorkomen dat er een 'vendor lock-in' ontstaat worden twee of méér IT bedrijven voor elke functionaliteit gezocht die samen gestandaardiseerde koppelingen kunnen ontwerpen. De koppelingen worden tevens voorgedragen als nationale of internationale normen.
- Het ontwerp van het platform is geïnspireerd door de uitkomsten van het PerpetuAL project maar zal toepassing vinden in meerdere branches: naast aluminium ook stalen, kunststoffen en houten gevels, inclusief de recycling van glas en hang- en sluitwerk. Door de generieke opzet is het in de verdere toekomst ook bruikbaar voor installaties, daken, inbouw en casco's, ofwel: complete gebouwen.
- Het platform sluit aan op de standaards zoals die ontwikkeld worden door DSGO (Digitaal Stelsel Gebouwde Omgeving), en is inmiddels geaccepteerd als Digideal (Kringloop Integratie Plaform).

Samenwerking

De direct betrokken partijen zijn Bakker en Spees (workflow management, data sharing en distributie), Buro de Haan / Productivity (data sharing en distributie, process management), White Lioness / Packhunt (parametrising, object-type libraries), Semmtech (ontologie, object-type libraries), TNO (ontologie), Weaver (systems engineering en configuration management), InfraBim (systems engineering en configuration management), Ledger Leopard (process management), A plus V (parametrising), Squarewise (klantadaptatie), Ketenstandaard (standaardisatie), Real Capital Systems (platform architectuur), Stichting Platform-IO en de Hogeschool Utrecht (human capital). Het gehele netwerk is meer omvangrijk.

Onderdelen van de pilot:

- Ondersteuning processen kringloop middels gesignaleerde punten;
- Beheer data dat in de keten geproduceerd wordt, voor de gehele levensduur van het gebouw;
- Beschikbaar stellen van data aan partijen in een vorm die past bij het gebruik van die data;
- Ondersteuning levering van 'as built' en 'as maintained' data voor renovatie, hergebruik en een efficiënte verwerking van materialen bij recycling;
- Vereenvoudiging van datadelen partijen in de keten door standaardiseren van begrippen (de ontologie) en bevordering van applicatie-onafhankelijke parametrische productbeschrijvingen;
- Toeleveringssector ondersteunen bij stappen van de huidige document gedreven aanpak naar een data gedreven aanpak;
- Aansluiting op (open) standaards zoals DSGO (Digitaal Stelsel Gebouwde Omgeving);
- Applicaties voor gebouw, product en materiaalpaspoort;
- Applicatie besluitvormingsondersteuning voor woningbezitters verduurzamingsaanpak;
- Applicatie voor prestatie meetsysteem;
- Systeem voor vraag- en aanbod bemiddeling woning verduurzaming;
- Aansluiting bestaande applicatie zoals BIM-, Calculatie-, CAM- en ERP applicaties.

3.4 Pilot Circulaire Geveleconomie

Samenwerking

De direct betrokken partijen zijn de Nederlands Branchevereniging voor de Timmerindustrie (NBvT), de Vereniging van Kunststof Gevelefabrikanten (VKG), Vlakglas Recycling Nederland (VRN), Vereniging van Hang- en Sluitwerkfabrikanten (VHS) en de Vereniging van Metalen Ramen en Gevelefabrikanten (VMRG). Het gehele netwerk is meer omvangrijk en maakt onderdeel uit van het NGF Programma Toekomstbestendige Leefomgeving.

Ambitie

De genoemde brancheorganisaties streven er gezamenlijk naar om een circulaire geveleconomie te realiseren: “Het ontwikkelen, gebruiken en hergebruiken van gevels van gebouwen, zonder natuurlijke hulpbronnen onnodig uit te putten, de leefomgeving te vervuilen en ecosystemen aan te tasten. Het bouwproces dient te geschieden op een wijze die economisch en ecologisch verantwoord is, en bijdraagt aan het welzijn van mens en dier.”

Om de ambities te behalen, wensen de betrokken branches te komen tot een landelijk beheersysteem van gevels, ook wel collectief retoursysteem genoemd. Doel is het behoud van een zo hoog mogelijke kwaliteit van de gevels, gevelproducten en -materialen voor een volgende cyclus in de biologische en/of technische kringloop. Zo mogelijk maakt dat wat onderdeel uitmaakte van de gevel in een volgende cyclus weer onderdeel uit van de gevel. Het streven is dat het gebruik van primaire materialen in producten voor gevels in 2030 waar mogelijk vervangen is door secundaire materialen en/of hernieuwbare grondstoffen en/of hergebruik van gevels of gevelproducten. Daartoe worden afspraken omtrent prestaties vastgelegd in het Akkoord Circulaire Geveleconomie.

Juridische aspecten en verdien- en verwaardingsmodellen spelen hierbij een belangrijke rol. Het doel is de kringlopen op een niveau te brengen waarop ze circulair kunnen functioneren met financiering vanuit de betrokken sectoren zelf;

Zie voor meer informatie de komende tijd op de website www.circulairegeveleconomie.nl.

Onderdelen van de pilot:

- Fase 1: Vooronderzoek en inventarisaties 6 kringlopen gevelbranches, synergie tussen kringlopen en advies en besluitvorming rond collectief retoursysteem(en) inclusief kwaliteitsboring
- Fase 2: Voorbereiding inrichting collectief retoursysteem(en) en proefdraaien met 50+ bedrijven
- Fase 3: Instandhouding valt buiten de pilot.
- Koploperaanpak met kennispartijen en wetenschap

3.5 Methodieken en werkwijzen

Binnen PerpetuAL zijn voor analyses diverse methodieken en aanpakken bij uitvoering getoetst. Deze methodieken behelzen onder andere BPMN, DEMO, System Dynamics, (delen van) Methodisch innoveren, scenarioanalyses gebaseerd op Levenscyclusanalyses, interviewtechnieken, werkgroepen, studentenaanpakken en meer. Veel van deze methodieken en aanpakken zijn waardevol gebleken. Zij worden onder andere ingezet binnen diverse werkpakketten en ook werkpakket overstijgend binnen het Programma Toekomstbestendige Leefomgeving. Lessons learned binnen PerpetuAL helpt op die wijze een veel bredere set aan ontwikkelingen en pilots te versnellen.

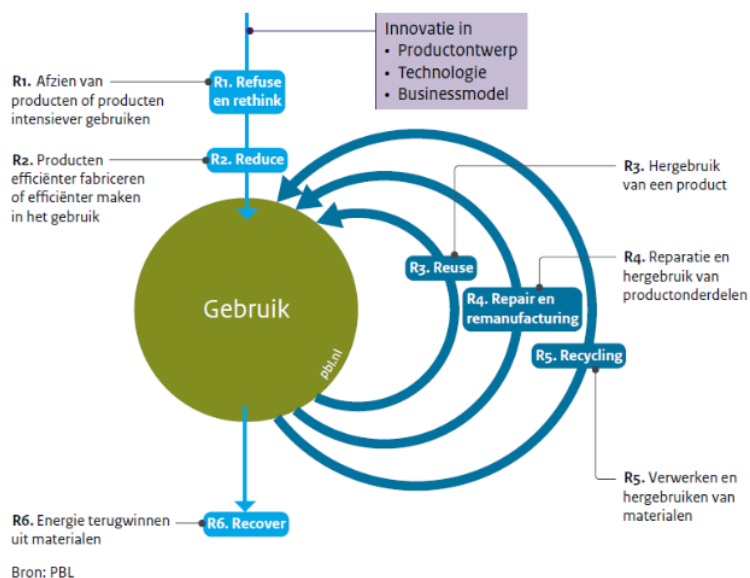
4 Verwachte CO₂ reductie, de route naar zero carbon

De haalbaarheidsstudie PerpetuAL omvat drie stappen die geleid hebben tot een veelheid aan scenario's waarvoor de CO₂ reductie is bepaald. De stappen zijn:

1. Procesanalyses huidige situatie 'AS-IS'
2. Procesanalyses scenario's toekomst 'TO-BE'
3. Levenscyclusanalyses scenario's

De reductie van CO₂ kent op hoofdlijnen de volgende oplossingsrichtingen vanuit PerpetuAL: elimineren, reduceren, elektrificeren, of - als niet mogelijk is - overstappen op (groene) waterstof, en voor dit resterend energiegebruik inzetten op groene energie. In de procesanalyses zijn alle handelingen gekenmerkt waar sprake is van energiegebruik en emissies. Opties zijn onderzocht op haalbaarheid. In de procesanalyses en in het bijzonder gericht op circulaire strategieën R1 tot en met R5 (figuur 5).

R-ladder met strategieën van circulariteit



Figuur 5: PerpetuAL richt zich op R1 tot en met R5

4.1 Procesanalyse reductie, de route naar zero carbon

Uit de PerpetuAL analyse blijkt dat 'eeuwigdurend' recyclen van Aluminium mogelijk is door het vermijden van vervuiling. Het nieuwste scheidingsproces bij metaalverwerkers, dat gebruik maakt van **kringstroom metaalscheiders en op röntgenfluorescentiespectrometrie** gebaseerde metaal- en legeringscheiders, levert al uitstekende resultaten op voor secundair aluminium.

Maar het kan nog beter, en daarvoor doet PerpetuAL verschillende suggesties.

Alle processtappen kunnen in de toekomst op CO₂ neutrale wijze uitgevoerd worden door **mechanische processen te elektrificeren** – voor zover zij dat al niet zijn – en door **hoog temperatuur thermische processen met waterstof** uit te voeren. Stappen in deze richting worden nu al gezet door enkele bij PerpetuAL aangesloten bedrijven .

Het enige wat niet CO₂ neutraal uitgevoerd kan worden – althans niet met de huidige technologie – is de productie van primair Aluminium: dat is de winning van het metaal uit Aluminium ertsen. In

Rusland, de VS en Australië - landen waar veel aluminium gewonnen of bewerkt wordt - wordt veel in onderzoek geïnvesteerd, met inmiddels veelbelovende resultaten [Referenties 4, 5, 9, 10, 11]. Het lijkt verstandig deze ontwikkeling intensiever te volgen.

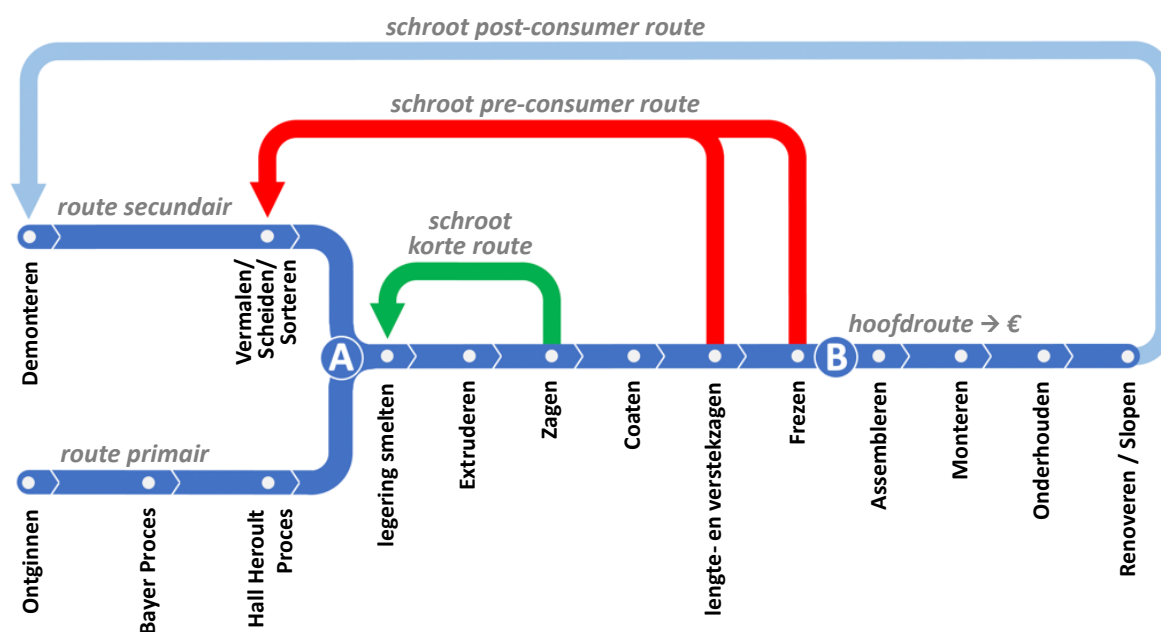
De belangrijkste remmende factoren bij de vergroening van de productie van secundair aluminium zijn de **overbelasting van het elektriciteitsnetwerk** en het **bepaalde aanbod van 'groene' waterstof**.

De ironie wil dat voor de aanleg van nieuwe elektriciteitsnetwerken, en voor de productie van windmolens en van fotonvoltaïsche zonnepanelen, grote hoeveelheden aluminium nodig zijn. Ook voor veel andere productsegmenten geldt dat aluminium wordt gezien als een milieuvriendelijker en duurzamer alternatief voor vele andere materialen. Dat maakt dat de vraag naar aluminium komende jaren zal stijgen; het European Aluminium Institute schat de groei tot 2050 in op 40%. Voor deze toepassingen is het aanbod van secundair Aluminium niet toereikend, en vereist dit de winning van primair aluminium.

Het PerpetuAL project heeft tot meerdere aanbevelingen geleid waarmee het energieverbruik in de keten, en de daarmee samenhangende emissies, substantieel verminderd kunnen worden. Het gaat hierbij niet alleen om technologische vernieuwingen, maar ook om **organisatorische en informatie technologische ingrepen**.

Het proces van grondstof tot gevel is in figuur 6 weergegeven als een metrokaart.

De hoofdroute (donkerblauw) loopt van links naar rechts. Het begint in een vork: dit zijn de twee parallel lopende routes voor primair en secundair aluminium. Het is tegenwoordig mogelijk om aluminium gevelelementen te produceren uit 80%-95% secundair (gerecycled) en 20%- 5% primair aluminium. Deze stromen komen samen bij het mengen van de juiste legering (punt A in de metrokaart). Vervolgens reist het Aluminium langs alle stations tot het deel uitmaakt van de gevel, en daar trouw haar werk blijft doen totdat de eigenaar van het gebouw het wel welletjes vindt. Aluminium dat vrijkomt bij renovatie of sloop wordt gerecycled tot nieuw secundair aluminium (post consumer aluminium, het lichtblauwe spoor).



Figuur 6: Metrokaart van het circulaire aluminium proces

Na extrusie van de profielen ontstaat afval, de rode pijlen. Het gaat hier om zaagverliezen en verliezen door metaalbewerking. Het grootste deel hiervan wordt verzameld als zaagafval bij gevelbedrijven. Het wordt opgehaald door metaalhandelaren, waarna het in de ideale situatie weer hergebruikt wordt als schroot voor het maken van secundair aluminium. Dat gebeurt niet altijd voor 100% omdat in dit deel van het proces ook de internationale markten zich roeren. Bij grote vraag kan een deel via de handel 'weglekken' naar Aziatische landen.

Door het proces tussen A en B anders te organiseren kan de **afvalstroom (rode pijl) bij de gevelbouwer vrijwel geheel vermeden worden**, en resteert er alleen een beperkte afvalstroom van extrusiebedrijf naar smelter (groene pijl); zie ook punt 13 in hoofdstuk 2.1 Herinrichting Processen.

4.2 Levenscyclusanalyse scenario's

Op basis van de resultaten van de werkgroepen is de impact van in ieder geval **29 scenario's** zijn bepaald. Deze zijn opgenomen in het rapport 'PerpetuAL scenario's', NIBE BV, 2023.

Uitgangspunten voor de analyses waren:

- Bepaling verbetering ten opzichte van een categorie 2 aluminium referentiekool
- Het betreft het VMRG Aluminium vast kozijn, in 2020 opgenomen in de Nationale Milieudatabase
- Onderzocht is reductie MKI, reductie CO₂-eq en reductie ParisProof per 1 m² referentiekool
- Bij de bepaling van de reductie van impact is uitgegaan van een generiek, niet bedrijfsspecifiek scenario (vijf projectpartners hebben losstaand voor producten of systemen LCA's berekend)

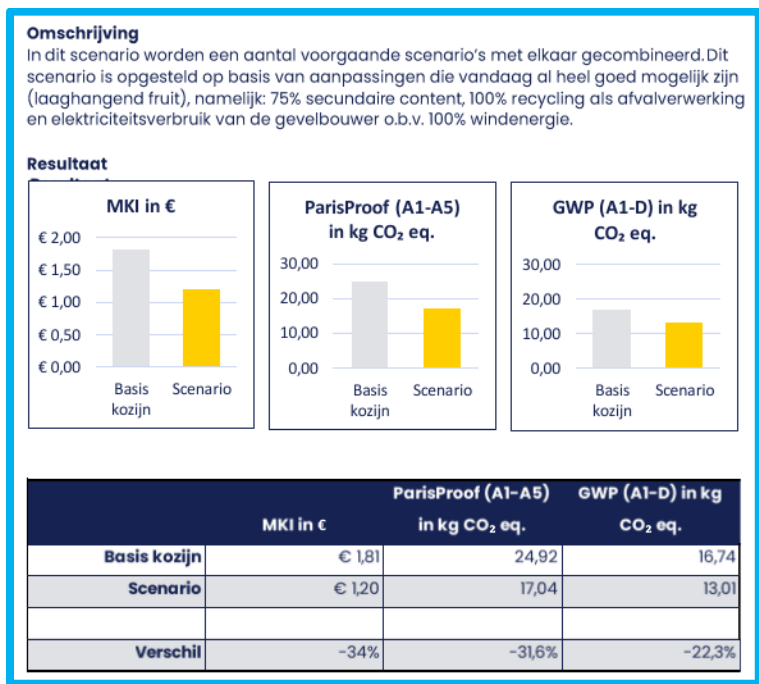
Een waarschuwing is op zijn plaats bij LCA vergelijking: secundair scoort ten onrechte slechter dan primair (virgin) aluminium.

Onder andere door de wijze waarop in de huidige bepalingsmethode impact wordt toegewezen (Module D in combinatie met End-Of-Life forfaitaire scenario's) is het mogelijk dat secundair slechter scoort dan virgin. Notabene, waar het secundair re-melten van aluminium legering voor nieuwe toepassing slechts 5% (!) van de energie vraagt benodigd om van virgin grondstoffen tot datzelfde punt te komen.

Kortom, de **huidige bepalingsmethode voor LCA's geeft een sterk vertekend beeld ten opzichte van de daadwerkelijk gerealiseerde reductie CO₂-eq** voor secundaire materialen. De VMRG gaat daar actie op ondernemen.

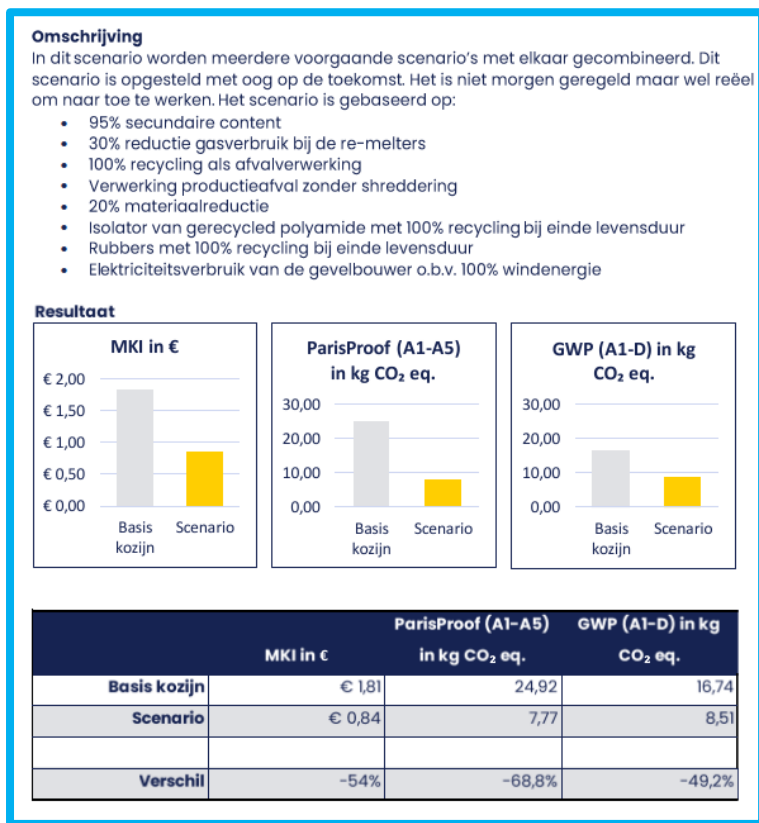
Voor de route naar low en zero carbon zijn in dit rapport **twee combinatiescenario's** opgenomen:

1. **Laag hangend fruit** - een combinatie van 3 maatregelen inzetbaar op zeer korte termijn (figuur 7)



Figuur 7: Scenario's gecombineerd, bron rapport PerpetuAL Scenario's NIBE

2. **Toekomst op basis van beschikbare technologie** - een combinatie van 8 maatregelen realiseerbaar met de huidige beschikbare technologie binnen 7 jaren (figuur 8)



Figuur 8: Scenario's gecombineerd, bron rapport PerpetuAL Scenario's NIBE

Op basis van het scenario 'laag hangend fruit' wordt een reductie CO₂-eq met 22% gerealiseerd. En op basis van het scenario 'beschikbare technologie', waar ook nog steeds een beperkte set aan oplossingen en maatregelen wordt meegenomen, wordt een reductie CO₂-eq met 49% gerealiseerd.

Mits onderzochte oplossingen en scenario's ten uitvoer worden gebracht, **lijkt halvering van de CO₂ emissies ten opzichte van het niveau in 2020 een haalbare kaart.**

5 Verdienmodellen, economische en financiële kansen

5.1 Nieuwe business en verdienen modellen

De huidige verdienen modellen

De huidige verdienen modellen van bedrijven in de aluminium gevelsector belemmeren verduurzaming en innovatie. Er wordt door opdrachtgevers te veel gestuurd op kosten. Men weet waarde niet te waarderen. Vastgoedbeleggers, de belangrijkste investeerders in utiliteit- en woningbouw, proberen hun winstmarges te maximaliseren door te sturen op huurprijs of verkoopprijs (= marktprijs), tegen zo laag mogelijke kosten. De ondergrens van wat beschouwd wordt als acceptabel bouwen wordt bepaald door het Bouwbesluit. Die ondergrens is tegelijk ook de bovengrens.

Als hoofdaannemers moeten concurreren op laagste prijs, dan zullen ook alle onderaannemers met elkaar moeten concurreren op laagste prijs. De toegevoegde waarde die een gevelproducent kan leveren aan de eindgebruiker komt zo niet tot zijn recht.

De enige weg die systeemhuizen nu zien om aanbesteding te omzeilen is door hun gevelconcept te promoten bij architecten. Zodra hun product in het bestek voorgeschreven wordt maakt het niet uit wie de opdracht krijgt: men zal altijd uitkomen bij dat product van het systeemhuis. De vraag is echter welke overwegingen een architect doen besluiten om het product van de één dan wel van de ander te kiezen, en of dit de juiste manier is om te concurreren op waarde in plaats van kosten.

Nieuwe verdienen modellen

Gevelproducenten kunnen de lifecycle kosten en de investeringsrisico's van gevels sterk verminderen, bijvoorbeeld in de vorm van 'de Gevel als Dienst' (Facade-as-a-Service). Dat hoeft niet noodzakelijk in de vorm van eigendom ('de Leasegevel') maar kan ook in de vorm van een product-dienst-combinatie. De haalbaarheid van dergelijke nieuwe business modellen hangt echter sterk af van de bereidheid van opdrachtgevers om een soortgelijke vraag neer te leggen bij hoofdaannemers (dus het 'Gebouw-als-Dienst') of te komen tot gesegregeerde aanbestedingen. Zie ook 6.1.

5.2 Analyse kansen

Prestatiecontracten

Als bedrijven die in ketens samenwerken niet dezelfde doelen nastreven dan werkt zo'n keten inefficiënt. Een concreet voorbeeld hiervan is het systeemhuis dat overeenkomsten afsluit met haar klanten (gevelbouwers) over een afname van een hoeveelheid aluminium profielen, uitgedrukt in kg per jaar. Een dergelijke overeenkomst bevordert niet dat het systeemhuis nadenkt over het verminderen van de hoeveelheid afval bij de gevelbouwers; de bedrijfswinst is immers gekoppeld aan de omzet. In veel gevallen zijn systeemhuizen dochterondernemingen van aluminiumfabrikanten die zelf omzet én winst maken naar rato van de hoeveelheid geproduceerd metaal. In dit voorbeeld zijn de belangen van systeemhuizen en gevelbedrijven tegengesteld, wat leidt tot verspilling in de keten.

Hetzelfde zien we bij aanbestedingen van projecten waarbij een opdracht gegund wordt aan de aannemer die het werk voor de laagste prijs uitvoert. Alles wat niet gespecificeerd is maar wel gewenst of vereist is, leidt tot meerwerk; hierdoor kunnen de kosten voor de opdrachtgever uiteindelijk hoger uitvallen dan begroot. Maar men zit dan wel vast aan de gekozen aannemer.

Ketens werken efficiënter als de belangen van partijen in de keten gelijkgesteld zijn. Men werkt dan samen aan dezelfde doelen.

Dit kan bereikt worden door middel van prestatiecontracten waarbij de winstmarge van bedrijven gekoppeld is aan gemeenschappelijke prestatie-indicatoren.

Een voorbeeld hiervan is beloning van gevelbouwer en systeemhuis naar rato van de functionele prestaties van de gevel. In dat geval is de hoeveelheid aluminium die men omzet irrelevant en wordt materiële omzet alleen maar een kostenfactor. Dit bevordert innovaties waarbij afval vermeden wordt.

Omslag in denken

Dit vereist echter wel een omslag in denken van opdrachtgevers en architecten. Architecten dienen niet alles in detail uit te werken en voor te schrijven, maar dienen de behoeften van de klant te vertalen in functionele specificaties van deelsystemen in een gebouw zodat de aanbodzijde zich kan richten op vernuftige oplossingen.

Systems engineering

Een belangrijk aspect hierbij is het toepassen van systems engineering, waarbij een gebouw beschreven wordt als een stelsel van functionele modules zoals de drager, de schil, de inbouw en de installaties. Dat biedt ruimte voor aanbieders die zich richten op oplossingen voor de gebouwschil. Zo'n aanbieder kan acteren als co-maker van de hoofdaannemer, niet als toeleverancier. Hierdoor zijn de belangen van co-maker en hoofdaannemer gelijkgeschakeld en zijn er minder of geen belangentegenstellingen meer.

6 Niet-technologische factoren

6.1 Markt mechanismen in de kringloop

Zelfde verdienmodel in de waardeketen zorgt voor samenwerking

Nieuwe verdienmodellen voor gevelbouwers als onderaannemers maken alleen kans als deze overeenkomen met de verdienmodellen van hoofdaannemers.

Een alternatief kan zijn dat opdrachtgevers kiezen voor een gesegregeerde aanbesteding: hierbij wordt de gevel apart aanbesteed. Gesegregeerde aanbesteding komt steeds vaker voor bij opdrachtgevers van grote bouwkundige complexen zoals luchthavens en ziekenhuizen; met name zien we dat voor horizontale en verticale transportsystemen (liften, rollende trottoirs, roltrappen, bagage afhandelingssystemen), installaties en verlichting systemen. Bij gevels komt dit nog niet of nauwelijks voor, maar enkele gevelfabrikanten proberen nu de 'gevel-als-dienst' onder de aandacht te brengen van projectontwikkelaars en vastgoedbeleggers. Dergelijke initiatieven worden kansrijker als ook hoofdaannemers uitgenodigd worden om een 'gebouw-als-dienst' aan te bieden. Maar helaas gaat het hier om uitzonderingen op de regel van traditioneel aanbesteden en komen innovatieve product/dienst combinaties zo moeilijk van de grond.

Opdrachtgevers doen er goed aan om hun aanbestedingsstrategieën te herzien richting prestatiecontracten, terugname verplichtingen, 'Total Cost of Ownership' tot en met 'Total Value of Lifecycle Services'.

Risicomitatie en fluctuerende vraag markt

Daar waar de markt voor nieuwbouw om diverse redenen in moeilijker vaarwater komt en prijzen onder druk staan, heeft dit mogelijk effect op innovatie. Momenteel levert dit een divers beeld op

waarbij de innovators in PerpetuAL aanvankelijk zorg hadden om stilvallen van interesse in de nieuwe concepten, waar er toch ook wel weer beweging is te zien. Dit punt is daarom niet eenduidig te beantwoorden.

Internationale afhankelijkheden

Kringlopen en materiaalstromen waaronder Aluminium, zoals onderzocht voor PerpetuAL, zijn qua prijsvorming onlosmakelijk verbonden met de internationale markt en daarmee ook met geopolitiek. Nieuwe circulaire businessmodellen bieden kansen om in samenwerking risico's daarvan voor bedrijven te reduceren of 'meer vergaand' met modellen zich daar (op de langere termijn) aan te onttrekken.

6.2 Wet- en regelgeving, normalisatie en administratieve lasten

Richten op prestaties

Indien binnen het Bouwbesluit ten aanzien van circulaire prestaties eisen worden gesteld, kan er een stimulerend effect van uit gaan. De wijze waarop dit wordt geformaliseerd is cruciaal voor het wel of niet hebben van effect. Indicatoren leiden over het algemeen tot 'beter rekenen' in plaats van 'beter doen'. Het is dus zaak om wet- en regelgeving te **richten op prestaties**. Bijvoorbeeld een goede score voor een kengetal voor losmaakbaarheid garandeert niet dat de bouwdelen ook daadwerkelijk losgemaakt en hergebruikt gaan worden. Immers, als niet nagedacht wordt over het demontage proces, en als demontage instructies niet toegankelijk zijn, dan zal een sloopbedrijf dat in korte tijd een locatie schoon moet opleveren voor de korte route met de sloophamer kiezen.

Beter presteren dan de LCA-berekeningen laten zien

Manco's bij bepaling en bepalingsmethode levenscyclusanalyse werken contraproductief bij berekening van het resultaat. Gedurende het onderzoek naar de impact van maatregelen op reductie van CO₂ uitstoot bleek dat in een aantal gevallen deze niet te berekenen was door aspecten in de bepalingsmethode, zoals onder andere:

- Beperkte beschikbaarheid van (achtergrond) procesdata voor berekening van materialen of processen. Doordat Ecoinvent is aangewezen in Nederland als databron voor LCIA zijn meer realistische aluminiumdata die sinds 2019 beschikbaar zijn nog steeds niet toepasbaar, of kan er alleen met grijze waterstof worden gerekend.
- Door de huidige bepalingsmethode (in verlengde van module D) in combinatie met beschikbare end-of-life scenario's scoort secundair aluminium zelfs slechter dan primair aluminium! Dit ondanks het feit dat secundair slechts 5% (!) van de energie nodig heeft in verhouding tot primair Aluminium, en de CO₂ emissies 14 keer zo laag zijn!

Kortom het varen op kengetallen uit bepalingsmethoden zoals de MKI / MPG is risicovol voor stimulering circulariteit, daar waar er manco's optreden in beschikbare data, afkap in service life, forfaitaire waarden en rekenmethodieken op detailniveau.

Hoe het anders kan

Een van de aanbevelingen van PerpetuAL is dat alle gevelproducten in de toekomst worden voorzien van een RFID chip of QR code. Aan deze code kunnen data gekoppeld worden over alle processtappen die het gevelproduct doorloopt, inclusief de gemeten waarden van embodied energy en embodied carbon. Technisch gezien is het voor de meeste machines mogelijk om data geheel automatisch aan de productidentificatiecode te koppelen mits deze apparaten toegang hebben tot internet (IoT, het 'Internet of Things'). Door ijking kan de betrouwbaarheid van deze metingen geverifieerd worden. Databases zoals die van Ecoinvent worden dan overbodig om tot een LCA te komen, en producenten die hun processen verbeteren kunnen dit onmiddellijk aantonen aan hun klanten of opdrachtgevers. De LCA wordt dan geen generieke waarde meer, maar een kental dat

gekoppeld is aan elk individueel product. Deze werkwijze zal worden onderzocht in één van de op PerpetuAL volgende pilots.

Re-use moeizaam

Hoewel er binnen PerpetuAL diverse partijen zijn die gevels aanbieden die volledig aan huidige prestatie eisen voldoen - of daar met een beperkte aanpassing aan kunnen voldoen - is het vinden van partijen die deze in een gebouw anders dan op de originele locatie willen toepassen moeizaam. Een factor die hier bij speelt is dat informatie over beschikbare gevelelementen niet voldoende vroegtijdig bij architecten komt zodat zij hier geen rekening mee kunnen houden bij het ontwerp van een nieuw project. Het opslaan van dergelijke elementen totdat zich een koper meldt is vanuit zakelijk perspectief risicovol. Een andere mogelijke drempel is de vraag of oudere gevelelementen wel voldoen aan de eisen van het bouwbesluit: alle onderdelen van een nieuwbouw project worden langs de meetlat van de nieuwste normen en voorschriften gelegd. De mildere eisen die gelden voor bestaande bouw zijn dan opeens niet meer van toepassing. Nader onderzoek is wenselijk als de overheid naar een meer substantiële adoptie in de markt wil bewegen voor hergebruik en levensduurverlenging van gevels.

Kwaliteitsborging van het product en van de daarbij behorende informatie

Bij de procesanalyses binnen PerpetuAL bleek dat beschikbaarheid van 'as-built' informatie een belangrijke voorwaarde is om te komen tot kwalitatief behoud van een legering bij recycling. En dit is zelfs nog belangrijker bij circulaire strategieën zoals re-use, repair, re-manufacturing en re-purpose. Het is namelijk wenselijk dat besluiten over onderhoud, renovatie en herbestemming genomen kunnen worden zonder een gedetailleerde opname. Veel constructiedelen zijn immers niet zichtbaar van buitenaf. 'As Built' data kan ook van belang zijn bij het opsporen van verborgen gebreken of bij calamiteiten. Iedere partij is leverancier van de brondata en moet verantwoordelijk gehouden kunnen worden voor de juistheid daarvan. Het gebruik van die data kan echter jaren na oplevering plaatsvinden, tot en met einde levensduur van het product, zoals bij demontage, hergebruik en/of recycling. Technisch is dit mogelijk, zoals is aangetoond in industriële sectoren die kapitaalgoederen met een hoge levensduur leveren (defensie, scheepsbouw, olie- en gasindustrie, vliegtuigindustrie). Wat deze opgave extra complex maakt is dat de benodigde data voor hergebruik of recycling van meerdere bronnen afkomstig is, zoals de legeringgieterij, het extrusiebedrijf, het systeemhuis, het coatingbedrijf en de gevelfabrikant. Bij het ontbreken van partijen die dit centraal kunnen organiseren is een nieuwe set normen en/of kwaliteitskeurmerken nodig waarvan het gebruik eerst via besteksregels en later via het Bouwbesluit of de Wet op de Kwaliteitsborging bevorderd moet worden.

Balanceer administratieve lasten 'voldoen aan' ten opzichte van de baten

Er is behoefte bij bedrijven, daar waar zij aan prestatie-eisen, normen en/of wetgeving hebben te voldoen, dat dit eenduidig in het verlengde van elkaar kunnen aantonen om onnodig veel administratieve lasten te voorkomen. Anders betekent het 'voldoen aan' een onevenredige inspanning ten opzichte van de te verwachte baten. Alleen als deze balans gelijkwaardig is of positief uitslaat gaat dit leiden tot grotere stappen op het vlak van circulariteit.

6.3 Industrialisatie: van projectmatig werken naar procesmatig werken

Van projectmatig naar procesmatig

In de Bouw wordt nog overwegend projectmatig gewerkt; elk project is 'nieuw', en elke keer worden consortia en ketens van toeleveranciers opnieuw gevormd. Afgezien van de overhead die dit met zich meebrengt zijn de mensen en bedrijven niet op elkaar ingespeeld. Men ontwikkelt geen collectief geheugen waardoor consortia en ketens niet van elkaar leren. Bij elk project wordt een nieuwe planning van werkzaamheden gemaakt; er zijn dus geen standaard processen waar men op kan terugvallen. Een gevolg hiervan is dat er geen sprake is van procesautomatisering in de Bouw.

Er zijn uitzonderingen op deze regel zoals in de systeembouw of de bij productie van prefab woningen. Maar voor de gevelbranche zijn de volumes van industriële bouwconcepten nog te gering om daar het hele business model op af te stemmen.

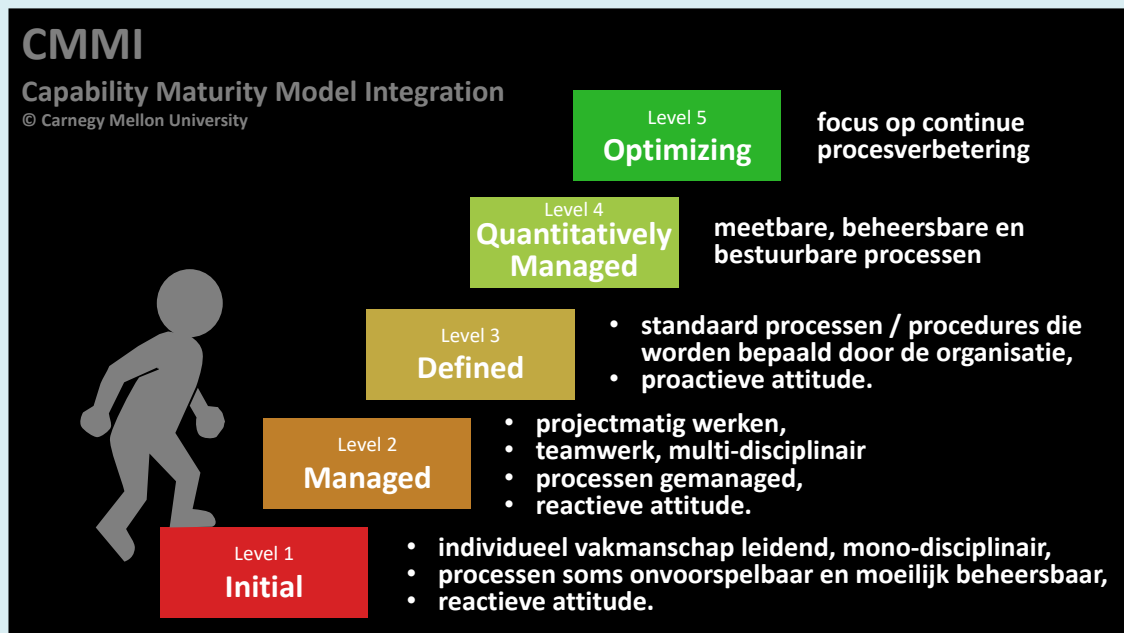
Co-maker

Als opdrachtgevers en architecten functioneel (en dus oplossingsvrij) zouden specificeren, en indien gevelbedrijven de ruimte zouden krijgen om zich als co-maker op te stellen, dan biedt dit hen ruimte om de eigen processen te definiëren en te standaardiseren. Hierdoor kan men aanzienlijk efficiënter werken, en sommige processen zelfs automatiseren.

Met verwijzing naar het Capability Maturity Model (zie kader) stijgt men van niveau 2 naar niveau 3 en mogelijk zelfs hoger.

Het Capability Maturity Model

De procesbeheersing van bedrijven wordt op inzichtelijke wijze weergegeven door het CMMI (= Capability Maturity Model Integration) referentiemodel, dat zo'n 30 jaar geleden ontwikkeld is door Carnegie Mellon University in de VS. Het onderscheidt vijf niveaus die in het schema hieronder zijn weergegeven. Het traditionele bouwen, gebaseerd op vakmanschap, is niveau 1 (initial). Projectmatig werken, kenmerkend voor de huidige bouw, staat op niveau 2 (managed). Op niveau's 1 en 2 zijn de processen afhankelijk van de opdracht; men reageert dus op de vraag. Industriële productie begint op niveau 3 (defined): hier zijn de door de fabrikant vastgestelde processen leidend. De klant koopt een oplossing die door de producent is bedacht. De processen kunnen deels geautomatiseerd of gemechaniseerd zijn. Op niveau 4 (quantitatively managed) zijn de processen meetbaar en kan men deze bijsturen om de kwaliteit van het geleverde product te garanderen. Op niveau 5 (optimizing) worden de processen continu verbeterd om mee te bewegen met de markt en om steeds hogere prestatie niveau's te bereiken. Zie figuur 9.



Figuur 9: Het Capability Maturity Model

7 Opschalingspotentie en herhaalpotentieel

7.1 Opschalingspotentie: nieuwe processen, technologie en concepten

Opschaling van innovatie bij een verwerker, re-melter of extrusiebedrijf heeft direct fors effect

Het aantal partijen voor metaalverwerking, re-melting en extrusie voor gevelprofielen is in Nederland en West-Europa beperkt. Dit zijn vaak grote kapitaalintensieve bedrijven. Als een of enkele van deze partijen stappen neemt heeft dit direct een dubbel-digit opschalingseffect. Verder bleek in PerpetuAl dat nieuwe technologieën binnen 5 tot 10 jaar goed in de markt worden opgepakt (zoals röntgen voor legeringsscheiding) en bereiden partijen zich voor op waterstof voor hoog-temperatuur verhitting.

Opschaling van nieuwe circulaire gevelconcepten systeemhuizen, gevelbouwers, onderhoud en urban mining

Door insteek van deze concepten op industrialisatie & digitalisering, nieuwe technologie en procesoptimalisatie, modulaire concepten (diverse R-strategieën) of innovaties voor retourlogistiek en urban mining, zijn de ontwikkelingen bij deze partijen qua ontwerp an sich goed schaalbaar. Aandachtspunt is de adoptie door de markt van eerste toepassing naar opschaling. Vooral daar waar het nieuwe financieringsmodellen raakt, partijen het risico van innovaties uit de weg gaan en/of de incentive er nauwelijks voor partijen is of bekend is. Bewijsvoering in de vorm van pilots kan daar als 'koevoet' dienen om de opschaling op gang te krijgen, alsook om met elkaar de vraagstukken die zich daarbij in de praktijk voordoen te tackelen.

7.2 Herhaalpotentieel organiseren

Herhaalpotentieel organiseren voor kringlopen met digitalisering en industrialisatie

Voor herhaalpotentieel en opschaling is het belangrijk dat ontwikkelingen breed in de gevelsector worden ingezet. De Circulaire Geveleconomie maakt dit mogelijk. De methodieken qua modellering, bepaling milieu en CO₂ impact, methodisch innoveren en bepaling benodigde datadeling hebben binnen PerpetuAL hun waarde bewezen. Dezelfde aanpak wordt nu gevolgd in 5 andere kringlopen. Dit organiseren van herhaalpotentieel maakt onderdeel uit van de pilot PerpetuAL en heeft een belangrijke wisselwerking met het Kringloop Integratieplatform. Het mes snijdt aan twee kanten: informatietechnologie kan opschaling doen versnellen, maar om de benodigde investeringen in IT te bekostigen is opschaling ook hard nodig.

Herhaalpotentieel organiseren voor gevelconcepten met diverse circulaire strategieën

Ontwikkelingen binnen de Circulaire Geveleconomie kunnen ook circulaire gevelconcepten de wind in de rug mee geven. Indien besloten wordt tot een algemeen verbindend verklaring Circulaire Geveleconomie ten aanzien van uitgebreide producentenverantwoordelijkheid, dan is tariefdifferentiatie een goede mogelijkheid om bedrijven met circulaire gevelconcepten, re-use en re-manufacturing te ondersteunen.

Schalen en herhalen in cijfers

Het uitgangspunt en de ambitie bij en na pilots PerpetuAl, zoals opgenomen in de plannen, betreft:

- ▶ 1 branche met 17 organisaties
- ▶ 5 branches met 50+ bedrijven
- ▶ circa 1000 bedrijven, die samen 70% - 80% van de gevelmarkt bedienen

8 Kennisdisseminatie

Kennisoverdracht in opleiding

Kennis van de kringloop van Aluminium zoals onderzocht in PerpetuAL is opgenomen in de leerlijn 'Geveltechniek 1', Module 'Materialen', blok 'Aluminium'. Het betreft een open opleiding welke te volgen is door bedrijven binnen de gehele bouwsector.

Binnen de VMRG Academy wordt momenteel de opleiding Engineering ontwikkeld. Deze zal gebaseerd worden op de momenteel (nog) losse modules Geveltechniek. Deze worden daartoe verder uitgebouwd en geactualiseerd. De bedoeling is dat circulariteit ten aanzien van engineering daar een meer expliciet onderdeel van uit gaat maken.

Kennisoverdracht haalbaarheid en impact oplossingen

Aan de hand van kenniskaarten of middels andere vormen van micro-learning zullen de generieke uitkomsten van het onderzoek naar de branche worden overgedragen in 2024.

Het plan is om daar een jaar voor uit te trekken. Dit, om kennis op een toegankelijke laagdrempelige wijze naar bedrijven toe te brengen. Kenniskaarten zullen per kaart een omschrijving van een kansrijke haalbare oplossing omvatten in combinatie met procesomschrijving, mogelijke reductie impact en waar mogelijk een interview met een PerpetuAL partner welke een voorbeeld kan geven in de praktijk. Creatie van kenniskaarten geschied door combinatie van uitkomsten van onderzoeken zoals uitgevoerd binnen PerpetuAL.

Kennisoverdracht methodieken

Zoals in paragraaf 3.5 reeds omschreven worden toegepaste methodieken en werkwijzen (nu al) binnen het Programma Toekomstbestendige Leefomgeving ingezet en gedeeld naar de circa 70 partners binnen het Consortium Gebouwen.

Wetenschappelijk onderzoek

Na PerpetuAL blijft de samenwerking met de Hogeschool Utrecht en de Technische Universiteit Delft en in het verlengde daarvan met andere universiteiten en hogescholen. Uitgangspunt is een structurele samenwerking, waarbij op alle niveaus wordt samengewerkt, dus zowel vanuit het bedrijfsleven met studententeams als met onderzoekers en lectoren en professoren. Vervolgonderzoek betreffen onder andere 'simulatie', zoals eerder omschreven, en 'co-design &ontwerpmethodologie'. Op deze wijze wordt een goede blijvende wisselwerking bij de ontwikkeling van methodieken en kennis voorzien.

Wetenschappelijke publicaties

Onderzoek heeft vanuit PerpetuAL voorlopig tot één wetenschappelijke publicatie geleid [13]. De verwachting is dat de samenwerking tot meer wetenschappelijke publicaties gaat leiden.

9 Conclusies

PerpetuAL heeft een 'landkaart' van het volledige circulaire proces van aluminium gemaakt, waarmee het mogelijk wordt om toekomstige procesinnovaties een plek te geven en in samenhang te bezien.

Met een combinatie van oplossingen lijkt een halvering van de CO₂ emissies binnen zeven jaren haalbaar.

De belangrijkste conclusie is dat voor het pad naar zero carbon voor aluminium gevels een set aan maatregelen nodig is. Binnen het onderzoek naar CO₂ impact van oplossingen is één combinatie

nader uitgewerkt waarbij de haalbaarheid van de reductie is aangetoond. Echter ook andere combinaties zijn mogelijk welke leiden tot soortgelijke en/of aanvullende reducties.

Met de huidige beschikbare technologie is low en zero carbon secundair aluminium mogelijk

Aan de hand van procesmodellen zijn op detail niveau alle punten waar energie en materiaal de kringloop binnen komen of verlaten geadresseerd. Aan de hand van deze processen is de haalbaarheid van een diversiteit aan oplossingen getoetst. Afhankelijk van combinaties van processen of technologieën bleken technologieën niet in alle combinaties van processen even goed geplaatst of alleen interessant met een andere volgorde of klant-order-ontkoppelpunt in de processen.

Aluminium speelt een belangrijke rol in de verduurzaming van onze economie.

Het metaal Aluminium maakt minder dan 1% uit van de totale massa van utiliteitsgebouwen met aluminium gevels. Maar het draagt wel in hoge mate bij aan de energieprestaties en de duurzaamheid van die gebouwen. Dat komt mede doordat het metaal zo goed als onderhoudsvrij is, vrijwel niet oxideert, en uitstekend gerecycled kan worden. Het gebruik van aluminium als gevelmateriaal zal daarom de komende decennia toenemen. Ook voor andere toepassingen die te maken hebben met verduurzaming, zoals de bouw van elektriciteitsnetwerken, windmolenparken en foto-voltaïsche zonnepanelen, is veel aluminium nodig. Dat betekent dat we niet om de winning van nieuwe grondstoffen (primaire aluminium) heen kunnen. Onderzoek en ontwikkeling van CO₂-vrije aluminiumproductie vindt buiten Nederland plaats (met name in Canada, Rusland, VS, Australië en Noorwegen). Gelet op het grote belang hiervan is het verstandig om dit intensiever te volgen. Door te focussen op het sluiten van de kringloop kan Nederland echter een belangrijke bijdrage leveren aan de korte termijn reductie van mondiale CO₂ emissies. De gevolgde methodische en informatietechnische aanpak is niet alleen van belang voor het metaal aluminium maar ook voor andere bouwmaterialen.

Een gemeenschappelijke strategie met pluriforme oplossingen

Er zijn verschillende combinaties van gevelconcepten, businessmodellen, procesaanpassingen en technologieën wenselijk om de diversiteit aan vragen uit de markt te beantwoorden. Dit komt tot uiting in de verschillende pilots die naar aanleiding van dit project worden opgestart.

Verandering van vraag en aanbod

De bestaande marktmechanismen in de Bouw bevorderen circulariteit niet. De dominante manier van aanbesteden is nog steeds concurrentie op laagste (bouw)prijs. Innovatieve concepten die gericht zijn op laagste gebruikskosten (Total Cost of Ownership), lage onderhoudskosten, levensduurverlenging en circulariteit maken zo weinig kans van slagen. Per saldo zijn duurzame en circulaire oplossingen economischer dan de bestaande lineaire oplossingen maar worden de lange termijn effecten onvoldoende ingeprijsd in de rekenmodellen van investeerders. Als opdrachtgevers in de Bouw die stap niet zetten dan zullen normen, certificaten en/of regelgeving daar een handje bij moeten helpen.

Resumé

Technologisch lijkt het goed haalbaar om voor 2030 CO₂ emissies halveren voor aluminium gevels op basis van de huidige op de markt beschikbare technologie. Het op elkaar aansluiten van wijzen van waardebeoordeling in de kringloop en het delen van data evenals samenwerking tussen partijen is nodig om het waar te maken met een passend aanbod in de huidige markt. Het organiseren van een level playing field gebaseerd op prestatie is wenselijk voor een betere uitgangspositie voor circulaire concepten in de markt.

10 Referenties

- [1] Donald R. Sadoway; *Inert Anodes for the Hall-Héroult Cell: The Ultimate Materials Challenge*; Journal of The Minerals, Metals & Materials Society; May 2001.
- [2] Asbjorn Solheim; *Is aluminium electrolysis using inert anodes a blind alley?*; Sintef-blog April 2019.
<https://blog.sintef.com/sintefenergy/energy-efficiency/aluminium-electrolysis-using-inert-anodes/>
- [3] European Aluminium; *Circular Aluminium Action Plan*; April 2020.
- [4] *Rusal Produces Low Carbon Aluminum Using Inert Anode Technology*; April 2021.
<https://www.lightmetalage.com/news/industry-news/smelting/rusal-produces-low-carbon-aluminum-using-inert-anode-technology/>
- [5] Andrea Svendsen; *Elysis Moves Toward Commercialization of Inert Anodes*; Light Metal Age, March 1, 2022.
- [6] Edwards, L., et al., "Quantifying the Carbon Footprint of the Alouette Primary Aluminum Smelter," *Journal of Metals (JOM)*, Vol. 74, 2022, <https://doi.org/10.1007/s11837-022-05501-y>.
- [7] Vatne, H.E., "Hydro's Decarbonization Roadmap," Presentation at Greener Aluminium Online Summit in association with *Aluminium International Today*, May 24, 2022.
- [8] IAI; *Greenhouse Gas Emissions Intensity - Primary Aluminium*; Date of Issue: 3 November 2022.
<https://international-aluminium.org/statistics/greenhouse-gas-emissions-intensity-primary-aluminium/>
- [9] *Elysis and Apple Collaborate to Use Carbon-Free Aluminum in the New iPhone*; March 2023.
<https://www.lightmetalage.com/news/industry-news/smelting/elysis-and-apple-collaborate-to-use-carbon-free-aluminum-in-the-new-iphone/>
- [10] Halvor Kvande, Gudrun Saevarsdottir, Barry Welch; *Decarbonizing the Primary Aluminum Industry - Opportunities and Challenges*; March 2023.
<https://www.lightmetalage.com/news/industry-news/smelting/decarbonizing-the-primary-aluminum-industry/>
- [11] Marten Ford, Min Guan, Jason Martins (Mission Possible Partnership Aluminium team); *Making Net-Zero Aluminium Possible – An industry-backed 1,5°C aligned transition strategy*; April 2023. <https://missionpossiblepartnership.org/wp-content/uploads/2023/04/Making-1.5-Aligned-Aluminium-possible.pdf>
- [12] Business Process Model and Notation version 2.0; OMG December 2010;
<https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/>
- [13] H.A.Proper. Q.Zhu, J.P.P.Ravesteijn, W.Gielingh; *Adding Dynamic Simulation to Business Process Modelling via System Dynamics*; in: *Lecture Notes in Business Information Processing*, vol 492 (2024); Springer.