



Presentatie Stuurgroep, woensdag 20 januari 2021

Pieter van Gent

Uitvoeringsteam Road Map CO₂-reductie

Versie 1.2

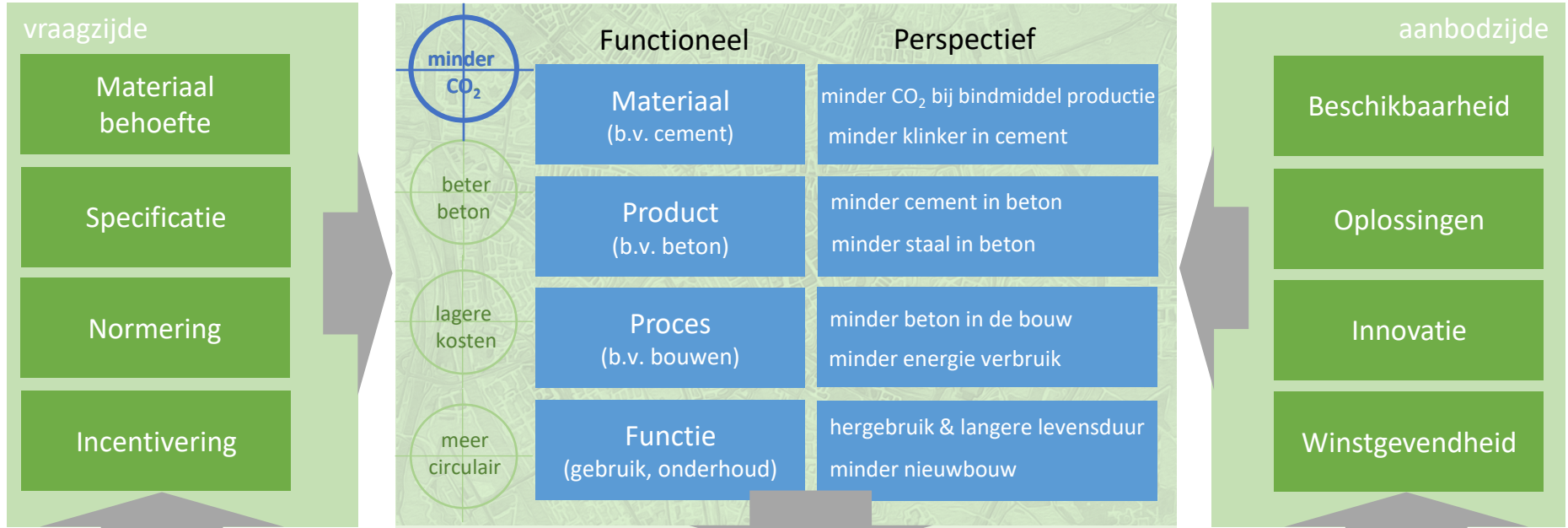
Road Map CO₂ - Design principes



- De Road Map CO₂ is een **routekaart voor de gehele beton sector**, die maatregelen beschrijft, waarmee uitvoering kan worden gegeven aan de doelstellingen op CO₂ reductie zoals die zijn vastgelegd in het Betonakkoord NL op 10 juli 2018. (minimaal 30% in 2030; ambitie 49% in 2030; 100% in 2050)
- De Road Map CO₂ biedt een overzicht van **beschikbare handelingsperspectieven** (incl. voorwaarden voor succesvolle omzetting) voor de reductie van CO₂ emissies in de betonsector met de volgende kenmerken:
 - Opgesteld en gedragen door vertegenwoordigers uit de gehele beton sector.
 - Gerangschikt volgens de indeling van het Bouwwaarden Model.
 - Gecalculeerd en onderbouwd op basis van expertise van de deelnemers, waar mogelijk en nodig aangevuld met publieke (wetenschappelijke) rapporten.
 - **Gericht op te nemen acties** door betrokken spelers in de gehele betonsector.
 - Gedifferentieerd naar realistisch (min. 30% reductie) en ambitieus (49% reductie)
- De handelingsperspectieven zijn **beschrijvend** en niet voorschrijvend van aard.
- De **optelsom** van alle reductie perspectieven is ruim **meer dan de doelstellingen**.
- De Road Map is **geen voorspelling** van de toekomstige CO₂ reductie.
- Het is een **wegenkaart** (Road Map) met mogelijke routes; geen stappenplan (Roadmap).



Road Map CO₂ – Strategische benadering



- 28 handelingsperspectieven voor reductie van CO₂ uitstoot**
- Korrelpakking
 - Belietcement
 - Solidia en andere innovatieve
 - CO₂ afvang bij cementproductie
 - Geopolymer bindmiddel
 - Demonteerbaar hergebruik
 - Herbestemmings-kenoveren (transitie)
 - Cementas recycling
 - Klinkerwassing
 - Slimme planning
 - Levensduurverlenging bestaande gebouwen
 - Bodemass (re-gevoelstof)
 - Beschikbaarheid vullagas
 - Versprekers
 - Energie-reductie staalindustrie
 - Energie-reductie beton industrie
 - Energie-reductie gebruiksfase
 - Beschikbaarheid hoogovenslaak
 - Predicte-Beheerologisch ontwerp
 - 3 Drukten
 - Alternatieve waerping
 - Hogere sterkte
 - Overstap-hergebruiken
 - Gececeerde klei
 - Carbone
 - Hergebruik elementen
 - Transport leverketen
 - Zelf helend beton

De toekomst is al begonnen....



MOBILIS PRESENTEERT NIEUWE INNOVATIE GEO-BETON

Minder cement in beton (HP5)
Geopolymeren in Heiloo door TBI Mobilis



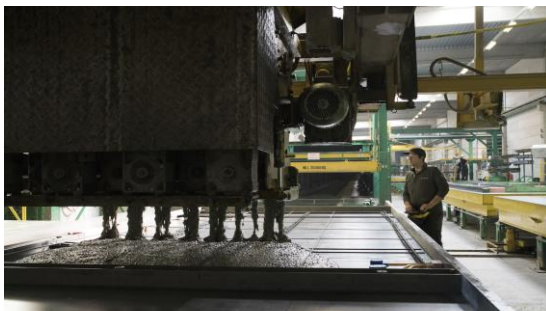
Minder energieverbruik in de bouw (HP27)
Electrische Betonmixer van Kijlstra



Minder beton in de bouw (HP 20)
3D geprinte fietsbrug in Gemert door BAM



Hergebruik van beton (HP 8)
Rutte Groep en New Horizon Urban Mining



Minder cement in beton (HP5)
Prefab productie woningbouw bij Voorbij



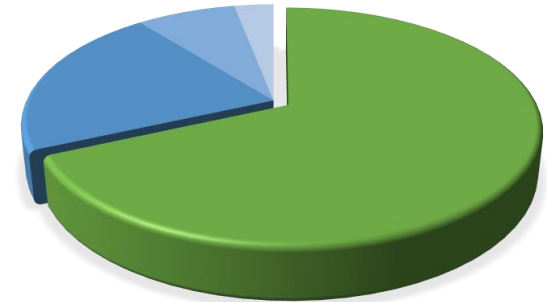
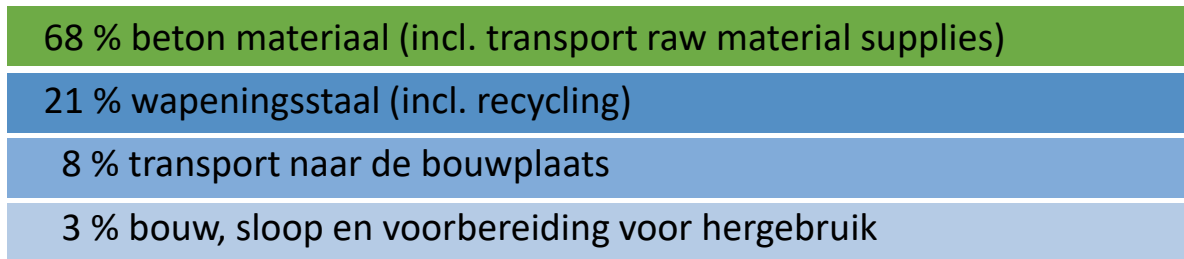
Minder energieverbruik in de bouw (HP27)
Electrische Graafmachine van Ploegam

Doelstelling kwantitatief

Het realiseren van een vermindering van de CO₂-uitstoot in de betonketen met **30 % in 2030 t.o.v. 1990**, (doel)

met daarbij een inspanning gericht op een reductie van **49 %**.(ambitie)

In 2017 was de CO₂-emissie van circa 3,8 miljoen ton, afkomstig van:

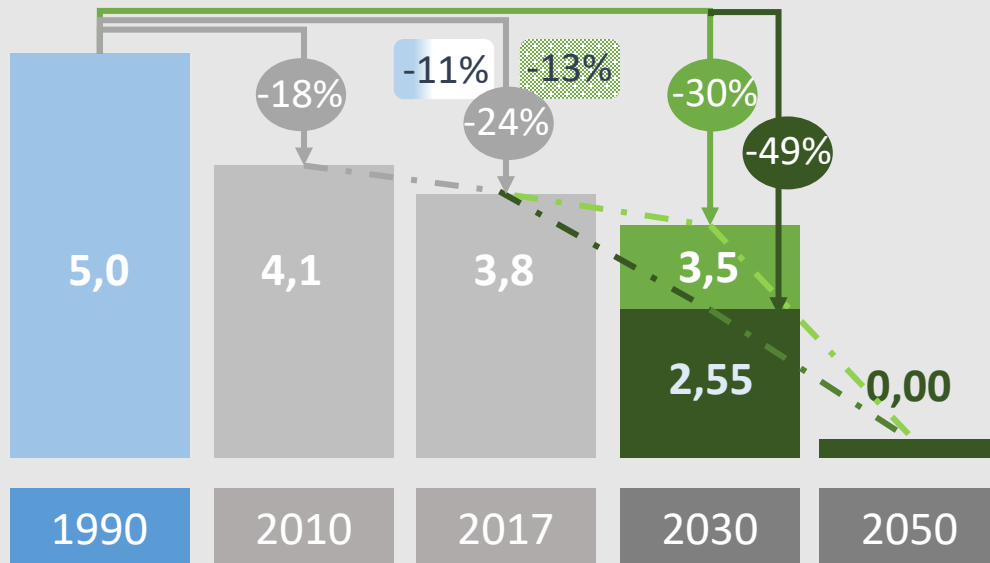


Deze reductie doelstelling is onafhankelijk van het betonvolume en inclusief emissies die feitelijk in het buitenland plaatsvinden ten behoeve van beton productie in Nederland.

Doelstelling en mijlpalen

In 2010 stootte de betonketen in Nederland 4,1 miljoen ton CO₂ uit.
In 1990 was de CO₂-emissie 18 % hoger dan in 2010 > 5 mton CO₂

Van 2010 tot 2030 betekent 49 % -1,55 miljoen ton CO₂-reductie
Van 2017 tot 2030 betekent dat -1,25 miljoen ton CO₂ reductie



Productie		
A1	Grondstof winning	Bijdrage aan CO ₂ emissie 89%
A2	Transport grondstoffen	
A3	Productie beton & staal	
Constructie		
A4	Transport naar de bouw	11%
A5	Handelingen in de bouw	
Gebruik		
B	Gebruik bouwwerk	
Demontage en hergebruik		
C	Demontage	0%
D	Milieu baten recycling	

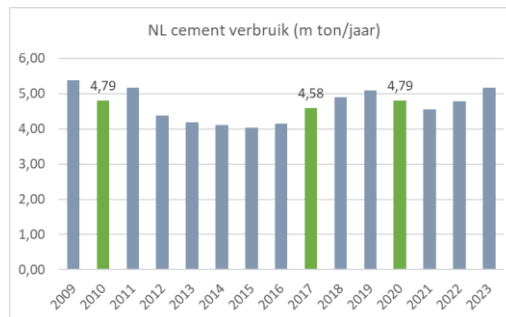
Stel dat het betongebruik in Nederland in 2017 gelijk zou worden gesteld aan 1990, dan zou de daling in klimaatimpact t.o.v. 1990 ongeveer 13% betreffen in plaats van 24%. Kortom, 11% van de daling (24%-13%) komt dus door minder betongebruik.

Volumes beton mortel en producten en CO₂ emissie in 2017

Gemiddelde CO2 uitstoot Nederlands beton 2017			Volume		CO ₂ specifiek	CO2 emissie absoluut		
Eenheid	Beton totaal	Beton mortel	Beton Producten	Beton mortel		Beton Producten	Beton totaal	
		55%	45%	kiloton CO ₂ /jaar				
Beton volume totaal	miljoen m³/jaar	12,900	7,095	5,805			3.855	
CEM I verbruik in beton	kg/m ³		59	174	0,858	359	867	1.226
CEM IIIa	kg/m ³		5	94	0,470	17	256	273
CEM IIIb	kg/m ³		222	5	0,272	428	8	436
Bindmiddelen overig	kg/m ³		24	37	0,550	94	118	212
Zand	kg/m ³		790	884	0,004	22	21	43
Granulaat	kg/m ³		1.077	983	0,004	31	23	53
Transport grondstoffen	kg CO ₂ /m ³		31	29		220	168	388
CO2 emissie van Beton als materiaal						1.171	1.461	2.632
Staal	kg CO ₂ /m ³	A1 - A3	55	35	1,37	535	278	813
Transport naar bouwplaat	kg CO ₂ /m ³	A4	12	36		85	209	294
Bouwwerkzaamheden		A5						110
Demontage en hergebruik		C						363
Milieu baten recycling		D						-357

Voor de calculatie van het CO₂ reductie potentieel heeft de werkgroep gebruik gemaakt van data uit een rapport van CE Delft*

Gemiddelde CO₂ emissie van Nederlands beton 299 kg/m³
56% komt van cement



Cementverbruik Nederland volgens EuroConstruct

Samenstelling en CO₂ emissie van een gemiddelde m³ beton in Nederland in 2017

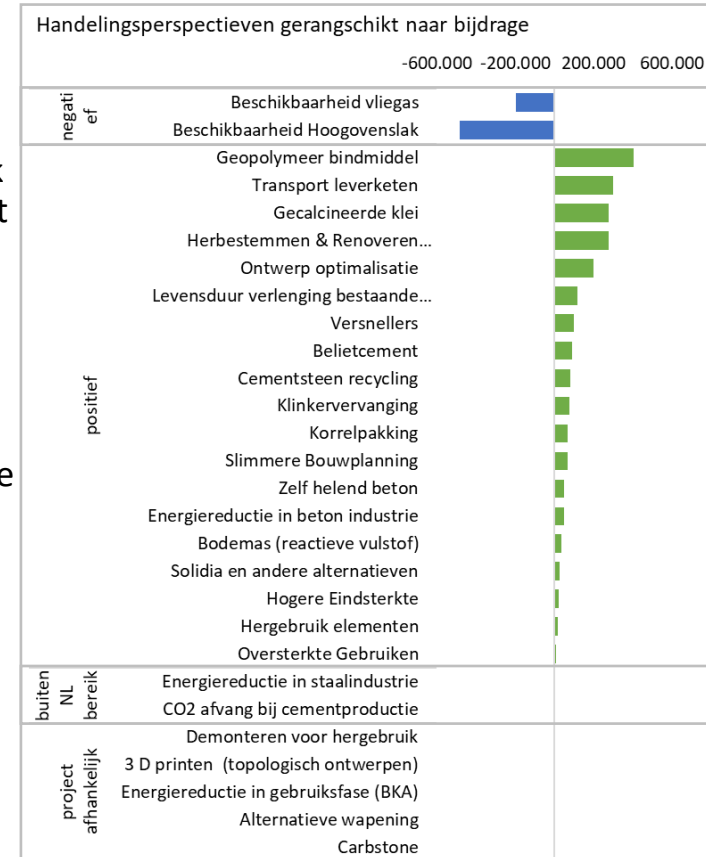
* Klimaatimpact van betongebruik in de Nederlandse bouw
Vergelijking 1990, 2010 en 2017 CE Delft Sept. 2020

Theoretisch en praktisch potentieel

- Als Uitvoeringsteam Road Map CO2 gaan we er vanuit dat de beschreven handelingsperspectieven tesamen voldoende zijn om de beoogde 30% (c.q. 49%) in 2030 te realiseren, zelfs als de beschikbaarheid van vlieggas geheel wegvalt en het inzetten van hoogovenslakken gehalveerd wordt, wat een als een zeer pessimistisch scenario beschouwd kan worden.
- De beschreven handelingsperspectieven kunnen los van elkaar worden toegepast. Door het maximale reductie potentieel van de individuele perspectieven bij elkaar op te tellen, ontstaat een **theoretisch totaal reductie potentieel van ca. 60%**. Dit ligt ruim boven de ambitie van 49%
- In de **praktijk** zal er echter sprake zijn van een bepaalde onderlinge afhankelijkheid van sommige handelingsperspectieven. Als gevolg van deze **stapeleffecten** zal het totaal van de toe te passen perspectieven worden beperkt. (Het geheel is minder dan de som der delen)
- Hoe hoog de onderlinge afhankelijkheid is en hoeveel theoretisch reductie potentieel daardoor niet behaald kan worden, is vooraf niet precies te bepalen.

Tegenwind en nader te bepalen effecten

- Driekwart van de 28 handelingsperspectieven levert een **positieve en kwantificeerbare bijdrage** aan het CO₂ reductie potentieel.
- Een vijftal handelingsperspectieven zijn wel genoemd en beschreven, maar **niet gekwantificeerd**. Voor deze perspectieven is het niet mogelijk een algemeen geldende reductie te berekenen. Dat betekent echter niet dat hiermee geen CO₂ reductie kan worden behaald. Die kan echter alleen op project niveau betrouwbaar worden berekend.
- De toenemende beperkingen in de beschikbaarheid van vliegias en de toekomstige beschikbaarheid van hoogovenslak hebben een **kwantificeerbaar negatief** effect op het CO₂ reductie potentieel. Deze effecten zijn geen handelingsperspectieven in de eigenlijke zin, waarmee de acteurs in de betonketen de reductiedoelen kunnen bereiken, maar ze worden wel in de berekening van de maximaal te behalen reductie meegenomen.
- Het negatieve effect van beperkte beschikbaarheid van hoogovenslak is benoemd als **scenario II ("met tegenwind")**.
- Twee reductie perspectieven liggen **buiten de invloedssfeer** van de Nederlandse beton industrie. Dit zijn de CO₂ reductie als gevolg van energie besparingen in de staal industrie en de opslag van CO₂ door afvang bij de cementproductie.

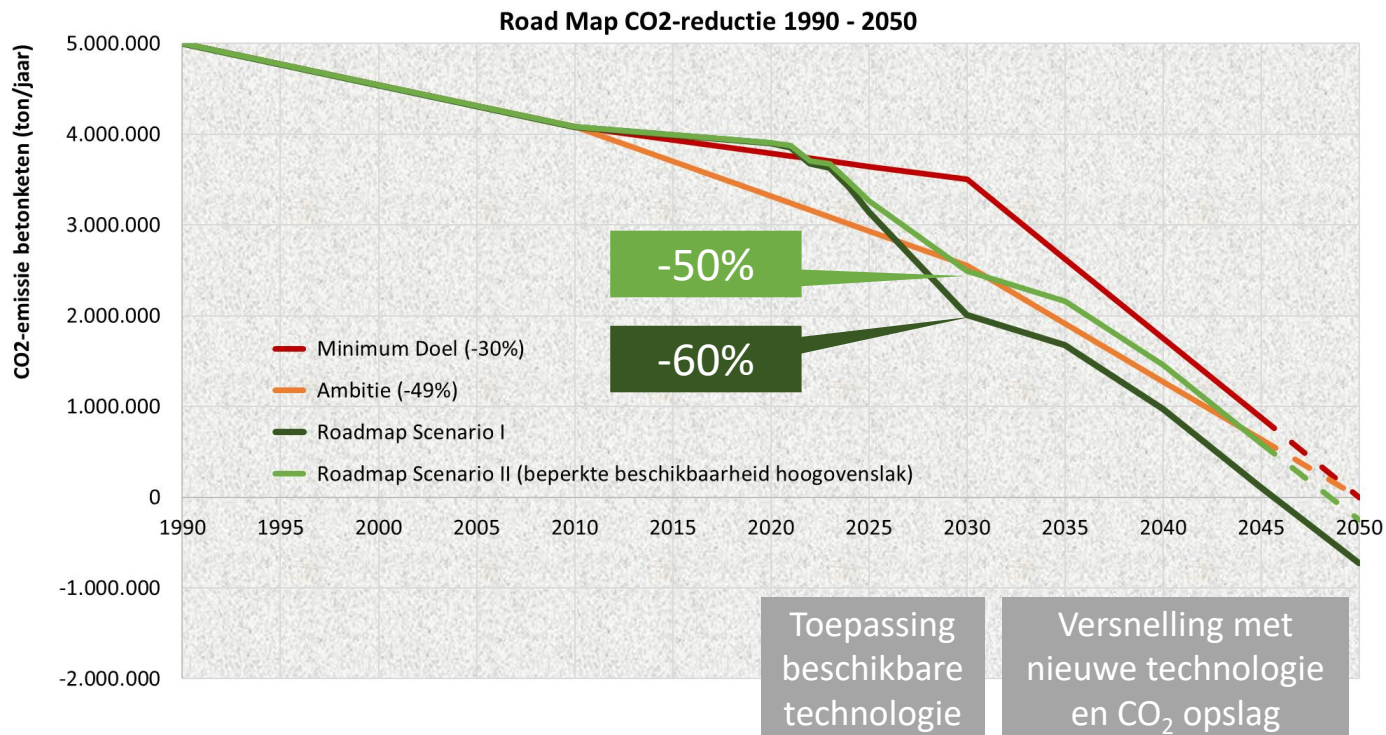


Twee scenario's voor CO₂ emissie Roadmap

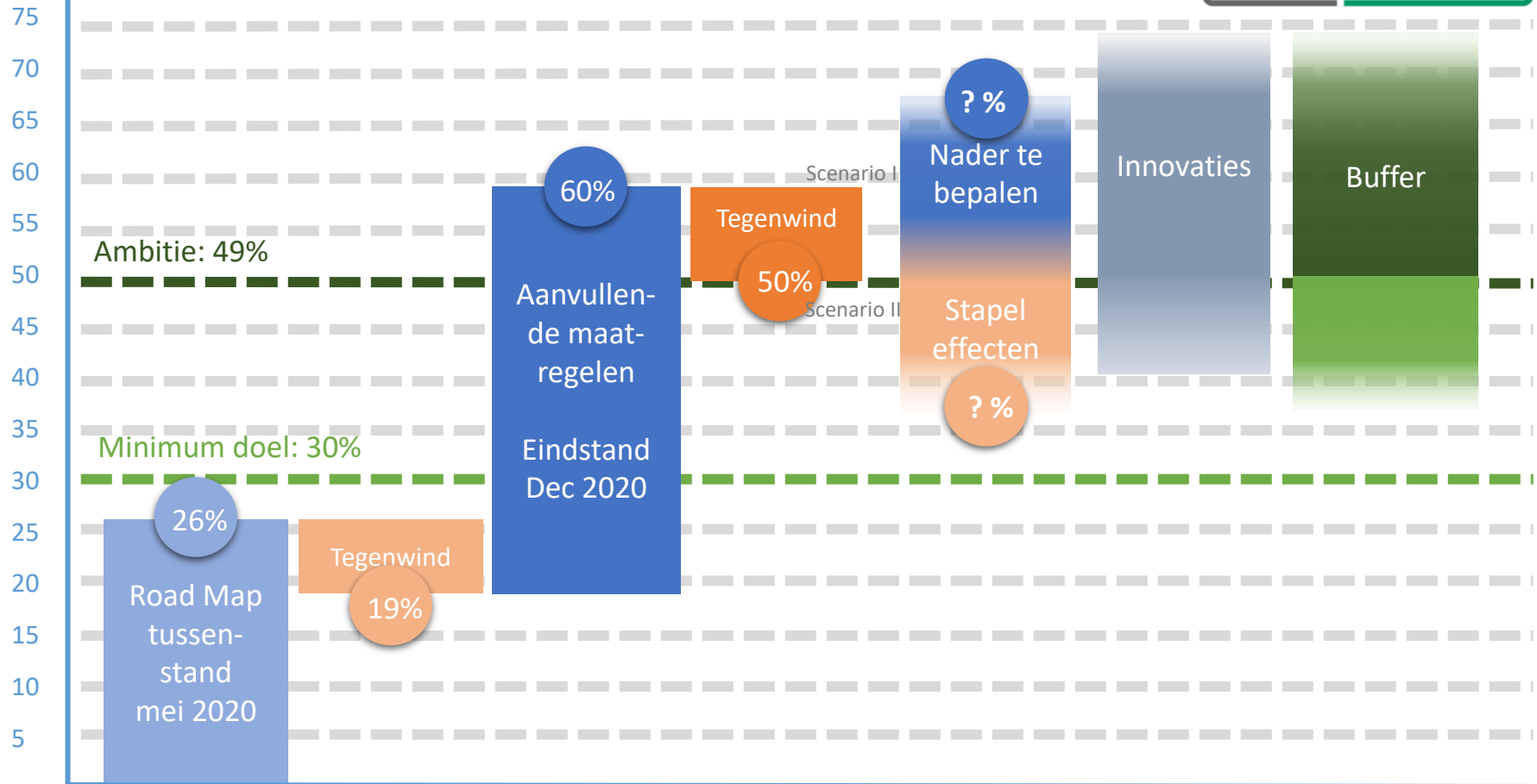
Het theoretisch totaal van alle handelingsperspectieven leidt tot een CO₂ reductie die hoger is dan de doelstellingen van 49%

Scenario I (-60%) houdt rekening met de zeer beperkte beschikbaarheid van vliegass.

Scenario II (-50%) gaat bovendien uit van halvering van de beschikbaarheid van Nederlandse hoogovenslak in 2030.



CO₂ Reductie percentage tot 2030 en daarna



Road Map - van waar naar waar?

Road Map CO₂



as is

Road Map

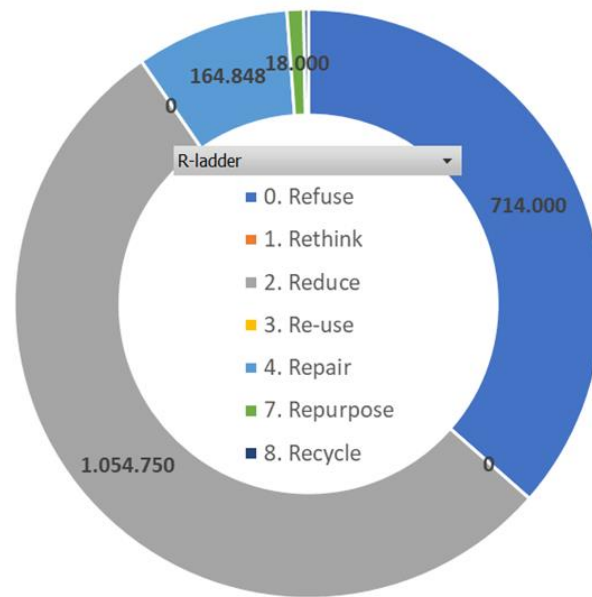
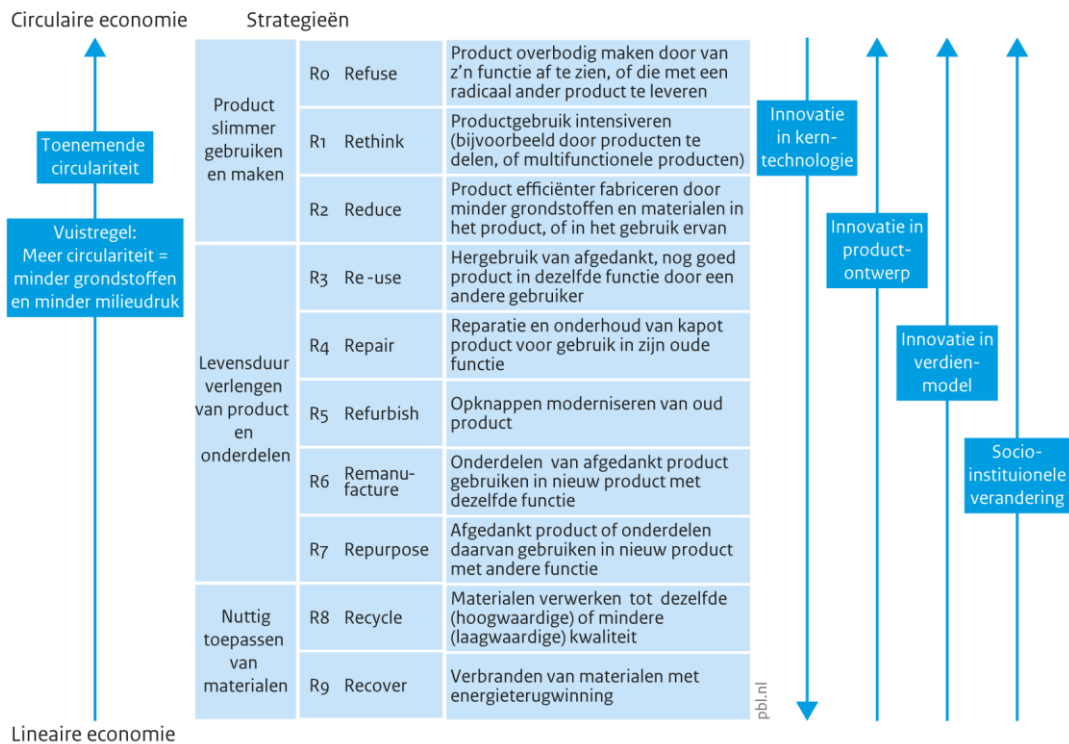
to be

Handelingsperspectieven en reductie potentieel

Planning fase	Functioneel Niveau	Acteur	Handelingsperspectief	2020	2025	2030	2050	
project planning	functie	Opdrachtgever	Herbestemmen & Renoveren (transitie)	175.000	214.000	275.000	350.000	
			Levensduur verlenging bestaande gww bouw	0	75.000	117.000	50.000	
			Hergebruik elementen	0	8.000	18.000	26.000	
materiaal keuze	materiaal	Cement Producent	Gecalcineerde klei	0	100.000	275.000	300.000	
			Belietcement	0	0	90.000	90.000	
			Bodemass (reactieve vulstof)	0	2.000	35.000	40.000	
			Solidia en andere alternatieven	0	3.000	26.250	26.250	
			Beton producent	0	80.800	404.000	404.000	
	product	Ontwerper/Constructeur	Beton producent	Alternatieve wapening	0	0	0	0
				Versnellers	10.000	100.000	100.000	100.000
				Cementsteen recycling	0	40.000	80.000	80.000
				Klinkervervanging	10.000	30.000	75.000	75.000
				Korrelpakking	10.000	60.000	67.500	67.500
functie	Ontwerper/Constructeur	Zelf helend beton	Carbstone	0	0	0	0	
			Zelf helend beton	0	17.500	50.000	175.000	
technisch ontwerp	product	Ontwerper/Constructeur	Ontwerp optimalisatie	0	20.000	200.000	300.000	
			proces	Ontwerper/Constructeur	Oversterkte Gebruiken	0	11.000	11.000
	3 D printen (topologisch ontwerpen)	0			0	0	0	
	Demonteren voor hergebruik	0			0	0	0	
	functie	Opdrachtgever	Energiereductie in gebruiksfase (BKA)	0	0	0	0	
bouw proces	product	Aannemer	Hogere Eindsterkte	1.125	11.250	22.500	22.500	
			proces	Aannemer	Slimmere Bouwplanning	0	67.500	67.500
	Beton producent	Transport leverketen			0	200.000	300.000	500.000
		Energiereductie in beton industrie			0	25.000	50.000	70.000
afval opslaan	materiaal	Cement Producent	CO2 afvang bij cementproductie	0	0	0	2.325.250	
Grand Total				206.125	1.065.050	2.263.750	5.080.000	

CO₂ reduction & Circularity – een goede match? **BETONAKKOORD**

Prioriteitsvolgorde van circulariteitsstrategieën en rol van innovatie in productketen

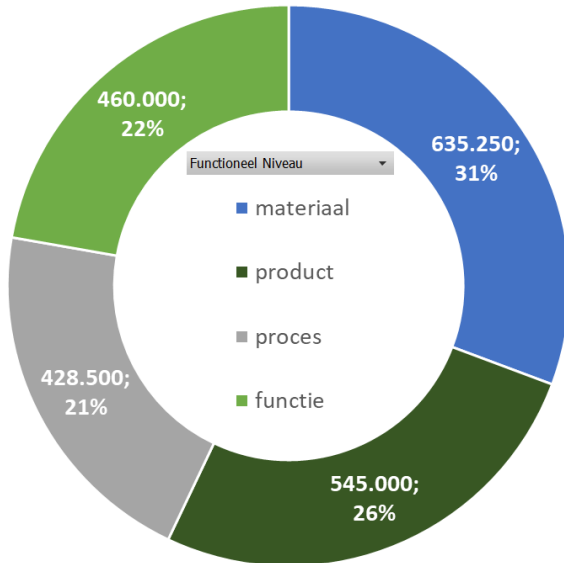


85% van het reductie potentieel wordt bereikt met handelingsperspectieven op de 3 bovenste treden van de R-ladder: Refuse – Rethink – Reduce

Wanneer kan wie bijdragen en hoe?

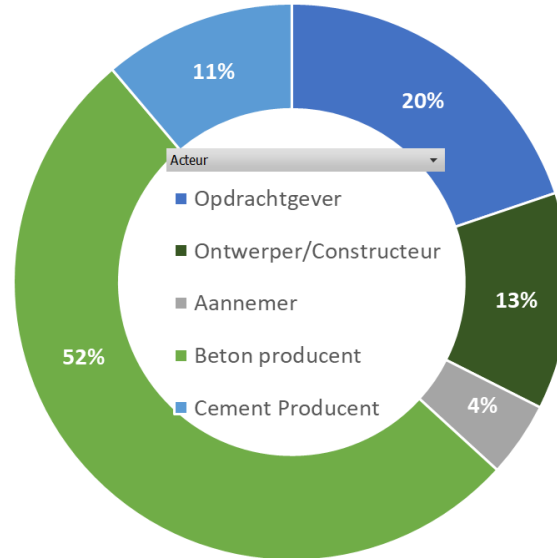


Wat heeft de meeste impact?



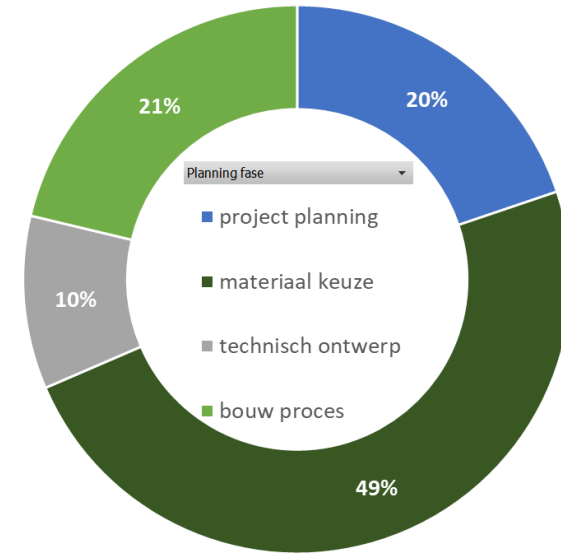
57% van het reductie potentieel is gerelateerd aan cement en beton

Wie heeft de grootste invloed?



52% van het reductie potentieel wordt gerealiseerd tijdens de productie van beton

Wanneer wordt er beslist?



79% van het reductie potentieel wordt bepaald voordat de bouw start

Het betonmengsel en de beton producent hebben veel invloed, maar bepalend zijn uitvraag en ontwerp

Conclusies

- De CO2 reductie ambities uit het Beton Akkoord zijn **haalbaar**, zelfs bij tegenwind
- Hoewel CO2 reductie vooral wordt veroorzaakt door cement, ligt de sleutel voor **CO2 reductie niet alleen bij de cementproductenten**.
- Succesvol toepassen van handelingsperspectieven vereist goede en **vroegtijdige afstemming** tussen ketenpartners
- Meeste handelingsperspectieven zijn **nu al toepasbaar** zonder ingrijpende technologische innovaties
- Drempel voor invoering is vaak het ontbreken van **economische incentives**
- Overdracht en **delen van kennis** aan alle acteurs in de keten is essentieel voor versnelde toepassing van handelingsperspectieven



Met 44% minder CO2-uitstoot schamen ze zich bij Voorbij Prefab allang niet meer voor beton

Met hulp van ABT slaagde Voorbij Prefab erin de CO2-footprint van haar betonnen woningcasco tot wel 44% terug te dringen. Volgend jaar al rollen 1500 woningen uit de fabriek met dit groene beton. Iedereen mag meekijken, want de ontwikkeling vindt volledig open source plaats.



Foto: Voorbij Prefab

- 44% CO₂ reductie in 2020
- Geen prijsverhoging
- Open beton mengsel ontwerp

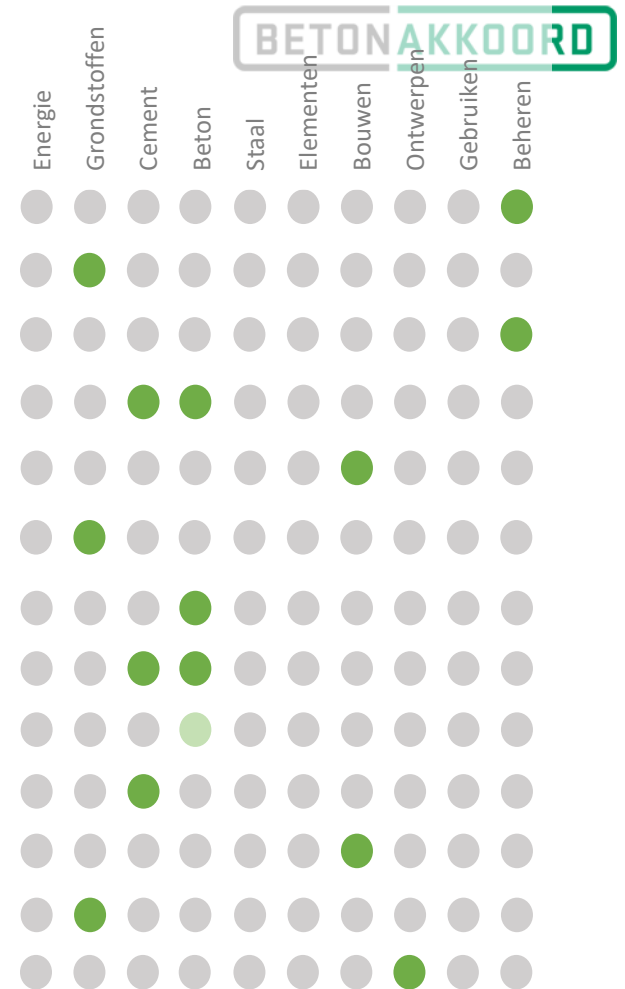
Mogelijke vervolgstappen



- Creatie van een document a la Road Map Denemarken door een professioneel communicatie bureau
 - Uitgebreide versie
 - Management samenvatting
- Focus op activiteiten per groep keten-acteurs (investeerders, opdrachtgevers, aannemers, betonproducenten, grondstofleveranciers, architecten, ingenieurs, recyclingbedrijven): “wie kan wat doen?”
- CO₂ reductie potentieel in Road Map is vooral om haalbaarheid van 30 en 49% aan te tonen; De vertaling van Handelingsperspectieven naar MKI verlaging is de sleutel naar monitoring en sturing.
- Informatie per handelingsperspectief verzamelen over welke leverancier/partner oplossingen aanbiedt. (Ondertekenaars Beton Akkoord worden daarbij met name genoemd)
- Creatie van lespakketten over handelingsperspectieven voor scholing van medewerkers bij keten-acteurs en onderwijs
 - Beton technologen
 - Inkopers
 - Verkopers
 - Planners
 - Ingenieurs
 - Studenten
- Organisatie van webinars met als doel:
 - Informatie delen
 - Match making voor grote projecten
 - Best practices uitwisselen
 - Behaalde resultaten delen/vieren
- CO₂ rally organiseren (CO₂mpetitie)
 - Wie is het snelst en succesvol van A naar B?

Aan de Road Map CO₂ werkten mee:

- valerie.diemel@rws.nl
- a.buchwald@ascem.nl
- charlotte.pars@prorail.nl
- edwin.vermeulen@betonhuis.nl
- evanderweij@vwinfra.nl
- n.vonk@ecocem.nl
- m.verweij@cementbouw.nl
- math.pluis@betonhuis.nl
- h.terwelle@betoncentrale.nl
- mark.van.halderen@heidelbergcement.com
- MSantvoort@heijmans.nl
- pieter.gent@mbcc-group.com
- n.loonen@abt.eu



Externe bijdragen aan de Road Map CO2

Naast de leden van het uitvoeringsteam Raod Map CO2 werd een inhoudelijke bijdrage geleverd door de leden van de klankbordgroep met o.a. Boudewijn Piscaer, Mantijn van Leeuwen en Pim Peters.

Op basis van hun inbreng zijn Handelingsperspectieven (HP 16, 19, 23, 26 en 27) opgenomen, die aandacht besteden aan emissie reducties door vermijden en verminderen.

- Het verduurzamen van transport zowel in levering als in aanvoer grondstoffen,
- Reductie en verduurzamen energieverbruik productie beton(producten) en on-site logistiek
- Precisie sterkte en precisie corrosie bestendigheid en scheiden van sterkte en milieuklasse
- Beton op prestatie leveren en verwijdering obstakels uit de normering, die dit in de weg staan
- Hergebruik betonelementen
- Prefab later uit de mal

Daarnaast is een bijdrage van Green Basilisk over zelfhelend beton opgenomen (HP 28)

An aerial photograph of a city street grid, rendered in a monochromatic green color. The streets form a complex network of lines and blocks, with some larger open spaces and buildings visible. The overall appearance is that of a dense urban environment.

Road Map CO₂

Handelingsperspectieven

1. Korrelpakking

Beschrijving:

Verse betonspecie bestaat grofweg uit toeslagmaterialen (zand en grind) en cementlijm (cement en water). Het zand en grind nemen veruit het grootste volume in. De ruimte die overblijft tussen de zand- en grindkorrels wordt opgevuld met cementlijm. Hoe minder holle ruimtes hoe minder cementlijm er nodig is. In de praktijk is voor een goede verwerkbaarheid overigens wel net wat meer cementlijm nodig dan theoretisch nodig voor het opvullen van de holle ruimtes.

Een betontechnoloog streeft naar een zo laag mogelijk volume aan holle ruimtes door de beschikbare toeslagmaterialen in een zo optimaal mogelijke verhouding te mengen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de zeefanalyses van de individuele toeslagmaterialen, op basis waarvan een optimale korrelgradering van het mengsel kan worden berekend. Deze berekening houdt echter geen rekening met de vorm van de korrels, oppervlaktekrachten en andere fenomenen die van invloed zijn op de korrelpakking. Bovendien vindt er in de regel geen optimalisatie plaats van de korrelpakking van de toegepaste poeders (cement en vulstoffen). Met korrelpakkingsmodellen, die met meer factoren rekening houden dan alleen de korrelgradering, kan een hogere pakkingsdichtheid worden bereikt. Een hogere pakkingsdichtheid betekent dat er minder cementlijm nodig is en dus ook minder cement.

Er is vrijwel geen informatie beschikbaar over praktijkervaringen met de toepassing van korrelpakkingsmodellen. Er is wel veel literatuur beschikbaar over onderzoeken op laboratoriumschaal, waarvan de resultaten veelbelovend zijn. Het Uitvoeringsteam Road Map CO2-reductie heeft ingeschat dat met gebruikmaking van korrelpakkingsmodellen uiteindelijk gemiddeld een **besparing van 10 kg cement per m3** haalbaar moet zijn. Uitgaande van een CEM III/A als landelijk gemiddelde levert dit een besparing op van 4,5 kg CO2 per m3. Op een totaal betonvolume van 15.000.000 m3 levert dit op termijn bij volledige implementatie een besparing op van **67.500 ton CO2**.

Belemmeringen:

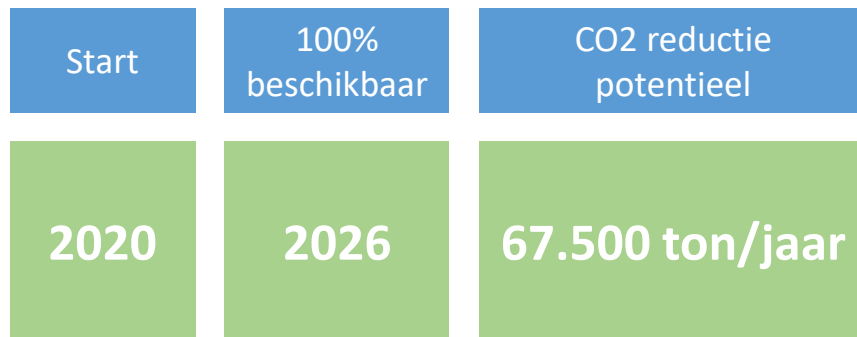
- Beschikbaarheid laboranten en betontechnologen.
- Meer ingangscntrole nodig.
- Meer opslagruimte nodig.
- Beschikbaarheid van geschikte grondstoffen op locatie.
- Mogelijk minimum cementgehalte.
- Mogelijk aanpassing software nodig.

Stimulansen:

- Toenemende kosten voor CO2/cement.
- Streven naar verlaging MKI.
- Minder krimp.

Reaseerbaarheid:

- onmiddelijk



2. Belietcement

Beschrijving

Verskillende cementproducenten hebben afgelopen decennium alternatieve klinker soorten ontwikkeld, die een lagere CO₂-emissie hebben.

Voorbeelden van alternatieve klinker soorten;

CSA (Calcium Sulfoaluminaat)

BCT (Belite Calciumsulfoaluminaat Ternesite)

De lagere CO₂-emissie komt voort uit het gebruik van alternatieve grondstoffen met een lagere CO₂-aandeel en een lagere temperatuur (1.250 °C ipv 1.450°C) in het klinker productie proces.

In vergelijking met portlandcementklinkers, kunnen de alternatieve klinkers tot 30% lagere CO₂-emissie hebben.

De milieuwinst voor Nederland is afhankelijk van het volume aan CEM I cement dat kan worden vervangen. In de volgende productgroepen kunnen de alternatieve cementen, bij gebleken geschiktheid en beschikbare regelgeving, één op één een portlandcement (CEM I) vervangen:

- Betonstraatstenen door-en-door;
- Veerrooster vloeren;
- Kanaalplaat vloeren;
- Industrieplaten;
- Rioleringsystemen (buizen en putten);
- Funderingspalen (gewapend en voorgespannen);
- Diverse betonelementen;
- Betonmortel, bedrijfsvloeren;
- Betonmortel, wegverhardingen.

De toepassing van de cementen op basis van de alternatieve klinker soorten in bovengenoemde toepassingen, wordt op de Nederlandse markt ingeschat op 350kt/jaar.

Potentiele CO₂-reductie bij vervanging van portlandcement door alternatieve klinkercementen; 350 kt/j CEM I x 0,85t CO₂/t CEM I x 30% = 90kt/j. Vanaf de marktintroductie zal dit potentieel in 5 jaar behaald kunnen worden.

- Voordelen:**
- 30% CO₂ besparing tov OPC
- Industriële reststoffen als grondstoffen voor klinker productie
- Verwerkbaarheid vergelijkbaar met huidige betonsoorten (van aardvochtig to ZVB)
- Snelle sterkteontwikkeling
- Lage warmteontwikkeling
- Geringere krimp



- Nadelen:**
- Klinker wordt niet in NL geproduceerd – moet waarschijnlijk uit Duitsland geïmporteerd worden
- Forse investeringen nodig om oven aan te passen (30-40M€)
- Hogere transportkosten (minder vracht toegelaten in Dld - 25t vs 36t, grotere afstand)
- Op dit moment nog geen positieve business-case
- Constructieve eigenschappen nog maar beperkt onderzocht – meer onderzoek nodig

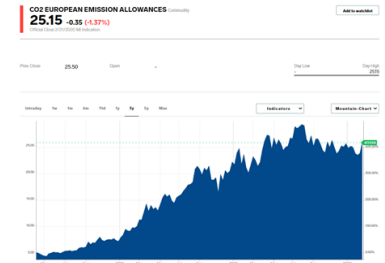
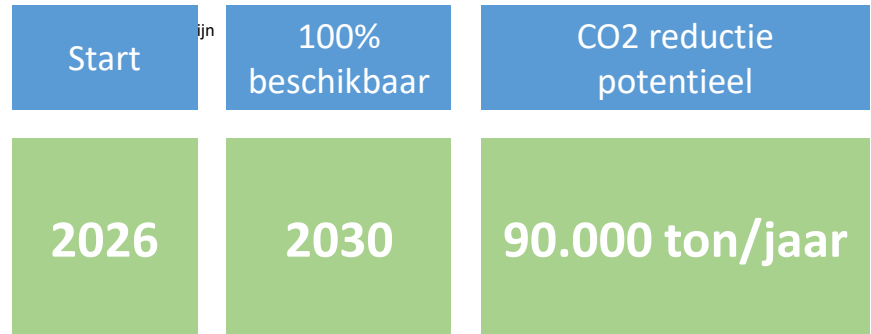
Stimulansen

- Sterke stijging EUA koers

Roadblocks

- Business Case (nog) niet positief
- Hoge investeringen vereist
- ETA and CE Certificatie nodig

Realiseerbaarheid



3. Solidia en andere alternatieven

Solidia

Solidia cement van Solidia Technologies is een cement op basis van calcium silicaten met een relatief laag kalk gehalte. Bijvoorbeeld wollastoniet (CS), rankiniet (C₃S₂) en meliliet (CAS). Het wordt bij lagere temperaturen gebrand dan portlandklinker, namelijk 1200°C (in plaats van 1400°C of hoger). Volgens een Solidia octrooi kunnen ook (combinaties met) magnesiumsilicaten worden toegepast. Natuurlijke calciumsilicaten zijn beperkt beschikbaar.

Het bedrijf claimt dat er bij de productie van Solidia cement 30% minder CO₂ wordt uitgestoten in vergelijking met Portland cement (geen 816 kg maar 570 kg per ton, ofwel 245 kg minder CO₂ per ton cement) en dat bij de verharding per ton cement 240 kg CO₂ wordt gebonden. Dit resulteert in een CO₂ reductie van 70% ten opzichte van Portland cement.

Volgens een persbericht van 23 april 2019 is op deze manier tot dan toe 4 kiloton CO₂ minder uitgestoten.

Daarnaast is minder of geen aanmaakwater nodig voor beton op basis van Solidia Cement (wel vocht). Droge en plastische mengsels zijn mogelijk. Het kan in alle constructiedelen worden toegepast, maar ze moeten poreus zijn of dun. Vanwege de benodigde begassing is prefab de enige productie methode, dus straatstenen, tegels, vloer- en wandplaten, buizen, dakpannen en dergelijke. Diktes tot 25 cm is geen probleem.

De verharding verloopt snel (volledige sterkte in 24 uur) en exotherm, water wordt niet gebonden, de aanvoer van CO₂ is bepalend:

calciumsilicaat + CO₂ → calciumcarbonaat + silica-gel

Door de reactie neemt het volume met 62% toe, vooral in de poriën. Solidia beton kent geen uitbloei van kalk. Corrosie van wapeningsstaal verloopt volgens een wetenschappelijke publicatie langzamer dan in cementbeton (2019). LafargeHolcim richt zich echter voorlopig op ongewapende toepassingen (persbericht mei 2020). Mogelijk toch vanwege porositeit en chloride indringing en de geringe alkaliniteit. De huidige afnemers zijn straatstenen producenten. Het toepassingsgebied lijkt voorlopig beperkt tot betonwaren.

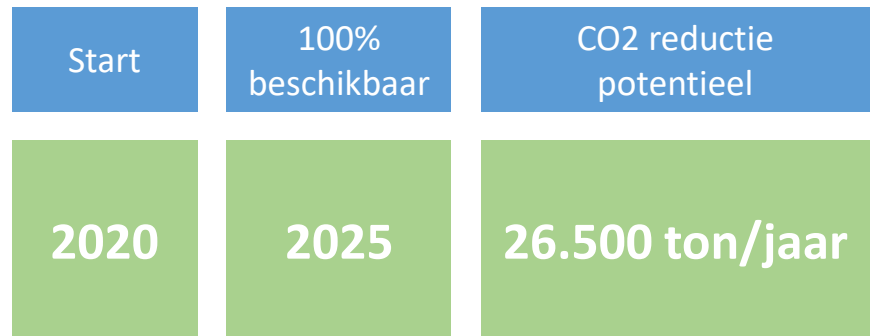
End of life: het materiaal kan worden gerecycled en eventueel worden geregenereerd.

Aether = Ternocem = beliet + CSA

Celitement = hydrothermaal CSH

Novacem = periclaas (MgO) uit natuurlijke magnesium silicaten (talk, forsteriet, olivijn)

- Voordelen: CO₂ binding
- Nadelen: geometrische beperkingen, prismatisch, poreuze mengsels
- Stimulansen: duurzaam inkopen, CO₂ tax
- Roadblocks: enorme investeringen nodig en schone CO₂
- Realiseerbaarheid: goed
- Samenhang met: alle bindmiddelen



4. Afvangen CO₂ bij cement productie (Carbon Capture)

Beschrijving

De CO₂-emissie verbonden aan productie van cement komt in belangrijke mate vrij bij de productie van klinker. De CO₂-emissie uit de klinker productie is afkomstig van;

1. calcinatie: ontbinden van CaCO₃ (kalksteen/mergel) in CaO en CO₂
 2. verbranding van brandstoffen om de grondstoffen op een temperatuur van 1450C te krijgen
- De CO₂-emissie per ton klinker in onze regio ligt rond 800kg/ton klinker

Voor het afvangen van CO₂ die vrijkomt bij de klinker productie worden verschillende technologieën ontwikkeld en getest;

- afvangen van de gehele CO₂-emissie uit de afgassen van de klinkeroven. De CO₂ moet daarna uit de afgassen worden afgescheiden (amine scrubber)
- afvangen van 'zuivere' CO₂ afkomstig uit de calcinatie stap excl. CO₂ uit verbrandingsgassen (Leilac demonstratieproject)

In de periode 2020-2030 zullen verschillende technologieën worden getest via grootschalige demonstratieprojecten (Canada, Noorwegen, België, Duitsland). Naar verwachting zullen tussen 2030-2040 de eerste cementfabrieken uitgerust gaan worden met Carbon Capture installaties. Na 2040 zullen cementfabrieken standaard uitgerust gaan worden met dit soort installaties. Er zal een overgangsfase zijn waarin bepaalde fabrieken wel, en andere niet zijn uitgerust met een carbon capture installatie. Er moet nagedacht worden over hoe om te gaan met de producten van de ene en de andere fabriek.

De grootschalige toepassing van carbon capture zal afhangen 3 factoren:

1. Lange termijn visie overheid:

Zonder structurele opslagcapaciteit heeft carbon capture geen kans van slagen. Er zal voor de industrie snel duidelijkheid moeten komen rond carbon capture om op tijd de nodige investeringen te kunnen initiëren.

2. Positieve business-case:

De investeringen in carbon capture technologie zijn zeer fors en kunnen alleen op de lange termijn terugverdiend worden. Investeringen zullen alleen gedaan worden indien deze kunnen worden terugverdiend .

3. Infrastructuur voor transport en opslag van CO₂:

Nadat de CO₂ is afgevangen, en vloeibaar gemaakt, zal deze voor een belangrijk deel (80-90%) in lege gasvelden onder de zeebodem worden opgeslagen. De benodigde infrastructuur voor het verzamelen en transporteren van vloeibare CO₂ vanuit de verschillende productie locaties in Nederland en het Roergebied (staalfabrieken, cementfabrieken, chemie fabrieken, raffinaderijen, ...) naar de Rotterdamse haven, om van daaruit per schip naar de gasvelden onder de Noordzee te worden verscheept, zal tussen 2020-2030 gerealiseerd moeten worden.

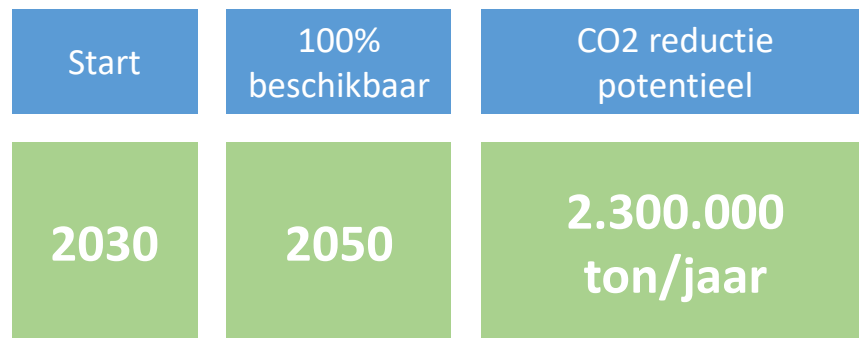
Aangezien deze verlaging wel mogelijk is, maar niet door de Nederlandse (beton)industrie kan worden beïnvloedt, laat staan gerealiseerd, wordt dit handelingsperspectief niet voor 2030 meegerekend.

- Voordelen:
- Alle CO₂ uit klinker productie kan afgevangen worden
- CO₂ kan worden opgeslagen in lege gasvelden onder de zeebodem
- Afgevangen CO₂ kan worden ingezet voor nuttige toepassingen (carbonateren recycling fines, chemie, kassen, ..)
- Nadelen:
- Grote investeringen om alle cementfabrieken uit te rusten met een CO₂ afvanginstallatie
- Kostbare infrastructuur nodig om CO₂ op te slaan en te transporten

Stimulansen: Overheidsbeleid rond carbon capture technologie

Roadblocks: Nog geen positieve business case

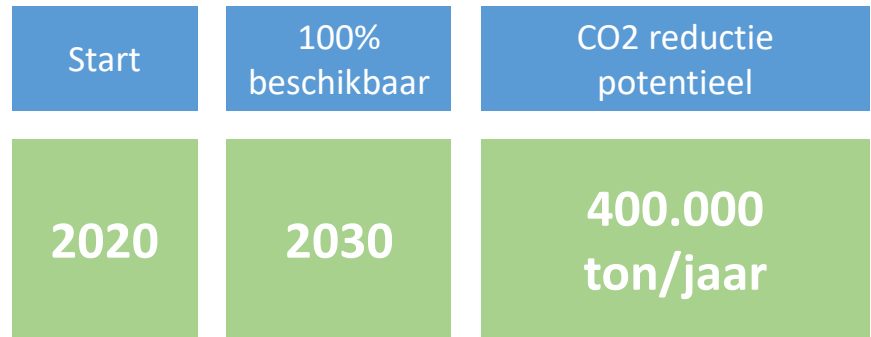
Realiseerbaarheid: lange termijn (na 2030)



5. Alternatief bindmiddel geopolymer



- Geopolymeren zijn alkalische geactiveerde bindmiddelen, bestaand uit een precursor en alkalisch activator.
- Er zijn vele soorten precursors, zowel primaire als secundaire grondstoffen, zowel met of zonder verdere opwerkingen. Bijvoorbeeld worden sommige geproduceerd uit afvalstromen door middel van smelten, uit klei door middel van branden of door diverse mechanische opwerkingsprocessen.
- Voordelen ten opzichte van cementbeton:
 - Grote besparing in CO₂
 - Beter bestand tegen zouten en chemicaliën
 - Beter bestand tegen brand
 - Minder plastische en autogene krimp
 - Veel reststromen zijn toepasbaar
- Nadelen:
 - Andere constructieve eigenschappen
 - Levensduurbepalende eigenschappen zijn nog niet volledig bekend
 - Deels concurrerend met grondstoffen voor cementbeton
 - Aanpassing nodig van productie-installaties
 - Veiligheidsaspecten i.v.m. alkaliteit
- Voor- en nadelen zijn deels afhankelijk van de soort precursor en samenstelling van het bindmiddel (precursor + activator).
- Toepassingen in prefab en betonmortel:
 - Straatstenen
 - Wegverhardingen
 - Vloeren
 - Licht constructief
 - Riolering
 - Constructief bij rekening houden met juiste materiaal kenwaarden
- Stimulansen: prestatie gebaseerd uitvragen, hoge kosten CO₂ (via MKI), belemmeren storten mineraal afval (slakken, assen, slib etc.) schaarse beschikbaarheid slak (voor alternatieve niet op slak gebaseerde bindmiddelen).
- Roadblocks; nieuwheid, ontbreken kennis, versnipperde kennis (constructief vs. materiaalkundig), desinformatie, gebrek aan testcapaciteit, geen routekaart voor implementatie van nieuwe materialen/regelgeving
- Realiseerbaarheid: goed, TRL 7-9
- Samenhang met: andere alternatieve bindmiddelen betreffende acceptatie/validatie, regelgeving, prestatiegericht inkopen



6. Ontwerpen voor toekomstig hergebruik

Ontwerpen van elementen voor demontage en hergebruik levert tussen 2020 en 2050 weinig tot geen CO2 reductie op.

Voor hergebruik van componenten in de toekomst, moet in het ontwerp van nieuwe bouwwerken rekening worden gehouden met mogelijke toekomstige toepassingen.

In de meeste gevallen betekent dit het overdimensioneren van de componenten, aangezien het toekomstige gebruikseisen op het moment van ontwerpen nog niet vastliggen.

Vooral constructies waarbij vermoeiing door dynamische belasting aan de orde is, zijn moeilijk voor hergebruik te ontwerpen.

Elementen die nu ontworpen worden komen over minimaal 30 jaar voor hergebruik beschikbaar. Zij leveren daarom pas op termijn milieuwinst op.

Veel bouwwerken worden al herbestemd. (zie HP7). Deze bouwwerken zijn daarom niet meer voor hergebruik op element niveau beschikbaar.

En als elementen beschikbaar komen dan is het nog maar de vraag of deze in de omgeving van het oorspronkelijke bouwwerk hergebruikt kunnen worden. Voorkomen moet worden dat de te gebruiken elementen over te grote afstanden getransporteerd moeten worden. (zie HP26)

Een alternatief is om gebruikte elementen te breken en als grondstoffen te recyclen. (zie HP8)

- Voordelen: minder nieuwe beton elementen nodig
- Nadelen: al snel te duur en te hoge MKI als gevolg van overdimensionering
- Stimulansen: hoge waardering voor herbruikbaarheid in LCA berekening helpt MPG te verlagen
- Roadblocks: onzekerheid over toekomstige mogelijkheden voor hergebruik maakt het lastig om anticiperend te ontwerpen
- Realiseerbaarheid: theoretisch onmiddellijk, praktisch pas ver in de toekomst.
- Samenhang met: hergebruik beton elementen (HP26) en hergebruik & renoveren (transitie) (HP7)

Start	100% beschikbaar	CO2 reductie potentieel
2020	2030	? ton/jaar

7. Herbestemmen & Renoveren (transitie)

Het hergebruiken van bestaande (beton)constructies van gebouwen wordt uit oogpunt van duurzaamheid in toenemende mate overwogen. Goede voorbeelden uit vele zijn het ING kantoor in Arnhem dat wordt omgebouwd tot woningen en het kantoor van RWS in Utrecht dat is gestript en gerenoveerd. Met de toenemende eisen aan energetische duurzaamheid komt er in de komende decennia veel vastgoed beschikbaar dat herbestemd kan worden met behoud van het skelet. Waar dit nu nog een niche is kan verwacht worden dat met de toenemende eisen aan milieuprestatie (MPG), hergebruik van bestaande constructieve skeletten steeds aantrekkelijker wordt. Een conservatieve aanname is dat het aantal herbestedingen medio 2030 zal verdubbelen ten opzichte van 2020 en richting 2050 nogmaals zal verdubbelen. Volgens het CBS zijn tussen 2012 en 2018 per jaar gemiddeld ruim 10.000 woningen door transformatie gerealiseerd, in 2018 zelfs 13.000. Dit betekent dat jaarlijks 350.000 m3 nieuw beton werd vermeden. Uitgaande van 500 kg CO2 per m3 beton levert dit een CO2 reductie van 175.000 ton per jaar in 2020, 260.000 ton in 2030 en 350.000 ton in 2050 op.

Toepasbaar in Utiliteits- en Woningbouw

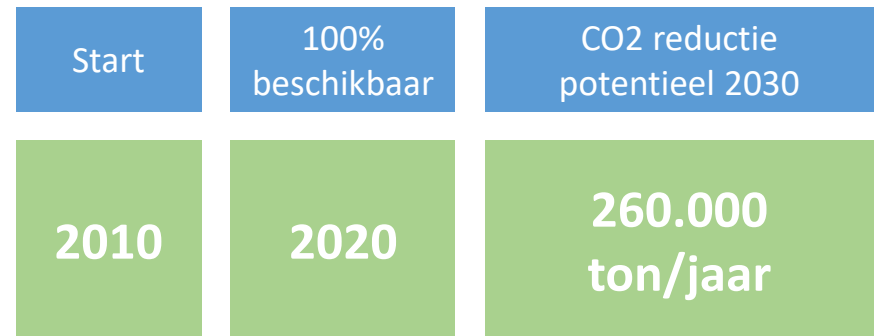
Voordelen : vermijden van nieuwbouw en materiaalgebruik

Nadelen : nu vaak nog duurder dan sloop en nieuwbouw

Stimulansen : Een gestage afbouw van de toelaatbare schaduwprijs voor gebouwen (MPG) geldt als grootste stimulans voor hergebruik.

Roadblocks : Normtechnische en functionele eisen ten aanzien van verdiepingshoogte, belastbaarheid, brandbestendigheid etc. kunnen deze ontwikkeling in de weg staan.

Realiseerbaarheid : Transitie is een bestaande methode die onmiddellijk toepasbaar is



8. Cementsteen recycling

Tijdens de productie van portlandcementklinker wordt CaCO_3 gesplitst in CaO en CO_2 . Deze zogeheten procesemissies bedragen ca 500kg/t klinker. Als beton gedurende de gebruiksfase aan de lucht wordt blootgesteld zal beton carbonateren. Dit is de omgekeerde reactie van de calcinatie stap tijdens de klinkerproductie. Uit studies blijkt dat ca 20% van de procesemissies middels natuurlijke carbonatatie gedurende de gebruiksfase weer in beton worden vastgelegd. De carbonatatie vindt plaats vanaf het oppervlak, en gaat meestal maar enkele cm diep het beton in. Dit betekent dat de kern van het beton nog potentieel heeft om te carbonateren.

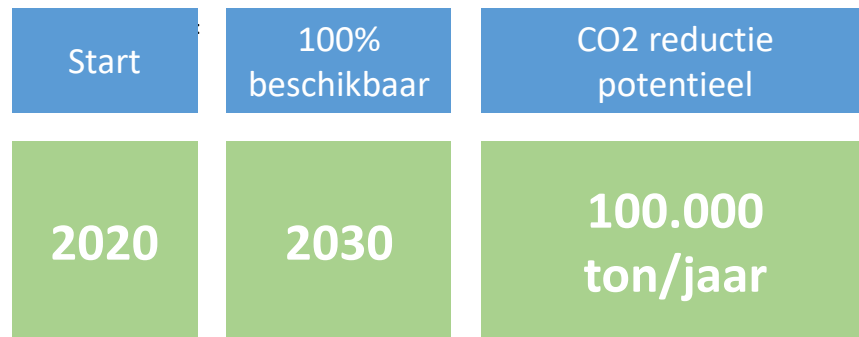
Er worden recyclingstechnieken ontwikkeld om cementsteen vrij te maken uit betonpuin (selective separation)

De potentie van cementsteen die vrij komt uit betonrecycling, om CO_2 op te nemen kan als volgt worden berekend:

Aangenomen dat er in NL op termijn vanuit sloop 5 Mt/j schoon betonpuin beschikbaar komt. Uit dit beton kan 20% cementsteen/fijne delen worden vrijgemaakt. Deze cementsteen kan 100kg CO_2 per ton opnemen.

CO_2 opnamecapaciteit: $5\text{Mt/j} \times 20\% \times 100\text{kg/t} = 100.000\text{t CO}_2/\text{jr}$

- **Voordelen**
 - nagenoeg alle procesemissies uit de klinkerbereiding kunnen weer duurzaam worden vastgelegd.
- **Nadelen**
 - alle cementsteen (1Mt/j) die wordt vrijgemaakt met selectieve separatie moet naar een centrale carbonatie installatie worden vervoerd
- **Stimulansen**
 - voorschrijven selectief slopen (gescheiden materiaalstromen)
 - voorschrijven selectieve separatie (scheiden van grind, zand en cementsteen)
 - hoogwaardig sluiten van kringlopen
- **Roadblocks**
 - organiseren van de markt - alle beton selectief slopen, en selectief scheiden
 - logistiek concept inzamelen fijne fractie (naar een centrale carbonatie installatie)
 - investering in carbonatatie installatie
- **Realiseerbaarheid**
 - hoog (concept bewezen op labschaal, in Okt 2020 proeven op industriële schaal uitgevoerd - Brevik)



9. Klinkervervanging

Nederland is al wereldwijd koploper in de toepassing van cementsoorten met een laag CO₂-profiel, met name door de grootschalige toepassing van hoogovencement CEM III/B. De verwachting is dat in de komende jaren portlandcement gedeeltelijk vervangen kan worden vulstoffen en door cementsoorten waarin een deel van de klinker is vervangen door vulstoffen. Het gaat hierbij naar verwachting vooral om kalksteenmeel.

Het uitvoeringsteam gaat uit van een totaal jaarlijks portlandcement verbruik van 1,4 miljoen ton. Hiervan wordt in 2030 10 % vervangen door (cement met) een vulstof. Als correctie voor dubbeltelling met andere innovaties wordt het resultaat gehalveerd.

Dat komt neer op ca. 75.000 ton CO₂ per jaar.

Voordelen

Relatief eenvoudig te introduceren. Regelgeving is al beschikbaar.

Nadelen

Tragere verharding, langere bouwtijd, toename in transportafstanden. **Stimulansen**

Streven naar verlaging MKI

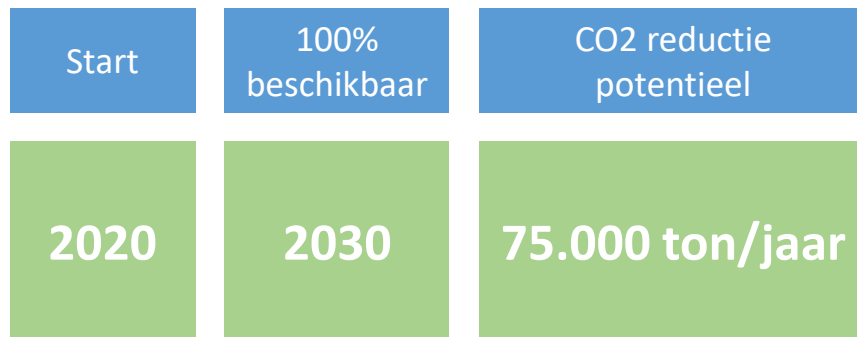
Toenemende kosten voor CO₂-emissies

Belemmeringen

Nederland is al wereldwijd koploper op het gebied van vervanging van klinker, met name door slak. Klinkervervanging door andere materialen zoals kalksteenmeel vindt al plaats (onder andere door schaarste aan vliegias), maar levert in vergelijking met slak / CEM III/A / CEM III/B nog geen milieuwinst op.

Realiseerbaarheid Onmiddellijk

Samenhang met 13. Beschikbaarheid vliegias en 18. Beschikbaarheid hoogovenslak.



10. Slimmere bouwplanning



In de bouw wordt gedurende het hele jaar beton gestort. Tijdens de wintermaanden, van november tot maart zijn er een aantal extra maatregel nodig om goede beton te krijgen.

Extra toevoeging van 25% CEM I aan bijv. een CEM III om de verhardingstijd te versnellen en om een hogere aanvangsterkte te krijgen. Dit zorgt voor fors meer CO2 emissie en een verandering in de eindsterkte, met mogelijke risico's op een te grote oversterkte met scheurvorming tot gevolg.

Het is belangrijk om bij kou de temperatuur van de directe omgeving van de betonconstructie te verhogen. Deze extra verhitting zorgt voor meer gebruik van energie.

Bij zeer lage temperaturen is langer nabehandelen noodzakelijk. Nabehandelen dient te gebeuren tot een sterkteniveau is bereikt van ten minste 50% van de voorgeschreven sterkteklasse. Dit heeft effect op de toename van de hoeveelheid te gebruiken curing compound. Nabehandelen gebeurt niet altijd trouw en dit brengt het risico met zich mee dat de levensduur van constructies aanzienlijk ingekort worden.

Een snelle conclusie zou kunnen zijn dat er niet gestort dient te worden in de wintermaanden om zo de extra emissies te voorkomen. Toch dient hiermee de stremming niet zomaar met maanden verlengd te worden omdat elke extra bouw dag voor een toename van files zorgt (met in het achterhoofd dat de CO2 emissie van de bouw van 1 viaduct = 10 min spitsrijden in NL). Het meest passend zou zijn om prefabwerkzaamheden in de koude maanden wel doorgang te laten vinden en in-situ alleen in de maanden van maart t/m oktober. De extra toevoeging van CEM I is toepasbaar op 50% van de readymix beton gedurende de wintermaanden. Van 1 november tot 1 maart is 4 maanden = 1/3 jaar

50% van 15 mln m³ = 7,5 mln m³ betonmortel

7,5 mln m³ x 1/3 = 2,5 mln m³

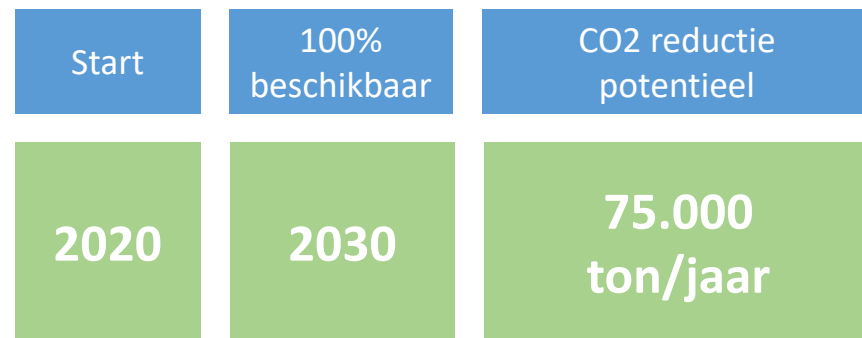
750.000 ton cement CEMIII zonder CEMI

0,2 x 750.000 = 150.000 ton cement

0,9 x 150.000 = 135.000 CO2 reductie

Mogelijke maatregelen om toch het werk door te laten gaan in de wintermaanden is het gebruik van versnellers inzet van meer bekistingmateriaal om het beton langer in de kist te laten en toepassing van monitoring door sensing om de aanvangsterkte goed te kunnen bepalen.

- Voordelen: geen 25% extra toevoeging van CEM I, een directe besparing.
- Nadelen: geen insitu beton meer van november tot maart, of het gebruik van versnellers i.p.v. 25% CEM I, extra bekistingmateriaal.
- Stimulansen: sturing op plafond MKI-waardes die de toevoeging van CEM I voorkomt.
- Roadblocks: transparantie van gegevens. MKI-waarde zal inzichtelijk moeten zijn.
- Realiseerbaarheid: de realiseerbaarheid valt en staat met een controle op het mengsel ter voorkoming van het gebruik van 25% CEM I.
- Samenhang met: Versnellers (HP14)



11. Levensduur verlenging bestaande gww bouw

Uitgehard beton heeft de neiging om te scheuren. Hierdoor kan water indringen in het beton en uiteindelijk het wapeningsstaal aantasten. Daardoor moet beton regelmatig worden gerepareerd. Hiervoor worden cementhoudende mortels gebruikt. Door toepassing van bepaalde technieken kan de behoefte aan reparatie worden verkleind of vermeden. Dit leidt tot vermindering van CO2 uitstoot.

1. Betere materiaalkeuze kwaliteitsborging en proces begeleiding
2. Vakbekwaamheid personeel
3. Inkopen op basis van beheerskosten

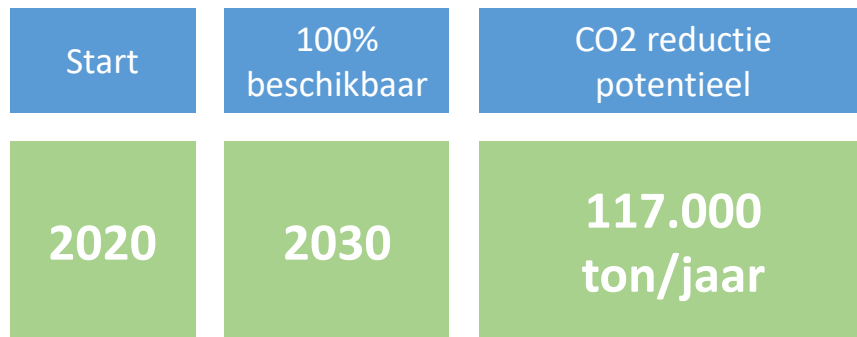
De volgende technologieën zijn beschikbaar

1. Keuze voor hoogwaardiger betonreparatie mortels
2. Monitoring van reparatie behoefte middels sensing
3. Toepassing van self healing technologie
4. Bescherming wapeningsstaal met corrosie protectie door
 - Waterdichtende Coatings
 - Kathodische bescherming

De te behalen CO2 besparing kan worden gerealiseerd door:

1. vermeden CO2 uitstoot ten gevolge van niet-bouwen
2. geringer verbruik van reparatie mortels,
3. geringere dekking van het wapeningsstaal nodig,
4. vermeden transporten ten behoeve van reparaties.

- Voordelen : vermijden van behoefte aan nieuwbouw door verlenging levensduur bestaande gebouwen
- Nadelen : Mogelijk hogere initiële kosten, die echter gedurende de levensduur van een bouwwerk ruimschoots worden gecompenseerd
- Stimulansen :
 - Verlaging van de MPG
 - Wet op kwaliteitsborging
 - Mede-eigenaarschap voor beheerskosten
- Roadblocks : het belang van lagere onderhoudskosten ligt meestal niet bij degene die bouwt of onderhoud pleegt.
- Realiseerbaarheid : onmiddellijk beschikbaar, bewezen technologie
- Samenhang met:



12. Reactieve vulstof uit bodemas

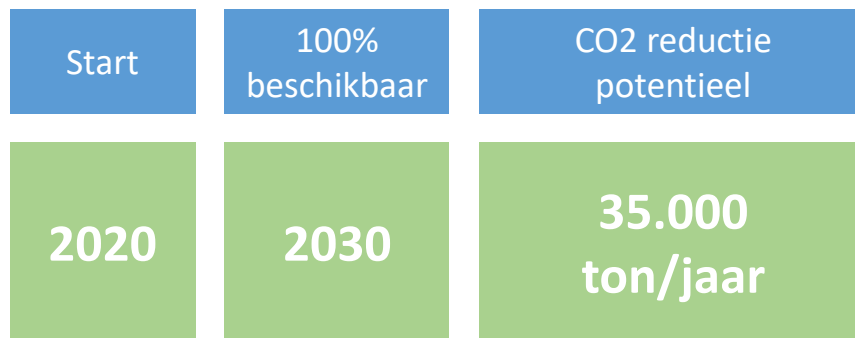
In Nederland komt jaarlijks circa 1,5 Mio ton bodemas (BA) vrij. Mineralogisch bevat BA enkele belangrijke mineralogische fasen.

Door reiniging kan nagenoeg de gehele stroom worden hergebruikt als toeslagmateriaal, danwel na specifieke bewerking als bindmiddel in beton. Met name de extractie van (nano)silica uit BA is interessant want dit kan als vulstof/kiemfunctie of puzzolane stof worden beschouwd.

Ingeschat wordt dat 10-20% van de totale BA als bindmiddel kan worden ingezet als:

- MAC bij cementproductie EN197-1
- Activatie bij AAM samen met daar voor geschikte materialen.
- Voordelen: reductie stortvolume en verlaging CO2 emissie door klinkervervanging
- Nadelen: kennis moet nog worden ontwikkeld, draagvlak, marktacceptatie

- Stimulansen: samenwerking binnen marktpartijen om kennis en ervaring op te doen.
- Belemmeringen
 - Onzekerheid succesvolle scheidingstechniek(en)
 - Relatie druksterkte – overige mechanische eigenschappen
 - Stap van laboratorium naar praktijk
 - Regelgeving voor toepassing niet beschikbaar, nog te ontwikkelen
- Realiseerbaarheid: op korte termijn zal kennis over de geschikte scheidingstechnieken beschikbaar zijn. Silicaat extractie in 2025 en inzet als bindmiddel na 2025 – 2030.
- Samenhang met: geopolymer beton, AAM



13. Beschikbaarheid Vliegas

Beschrijving

Vliegas als grondstof voor beton heeft een tweeledige functie, namelijk een *vulstoffunctie* (bijdrage hoeveelheid fijn materiaal) en een *bindmiddelfunctie*.

Voor de *vulstoffunctie* is het aan de betontechnoloog om te beoordelen of en hoeveel vliegas wordt toegevoegd om de gewenste invloed op verwerkbaarheid en samenhang te verkrijgen.

Voor de *bindmiddelfunctie* van vliegas wordt door middel van onderzoek (conform Beoordelingsrichtlijn BRL 1802) onderzocht hoeveel vliegas als bindmiddel kan worden gerekend bij een te gebruiken cement. Onderzoek heeft uitgewezen dat de ene vliegas veel reactiever is dan de andere en dat bovendien het gebruikte cement ook een zeer belangrijke rol speelt. Gemiddeld kan circa 30 – 35 % van het oorspronkelijke cement worden vervangen door vliegas.

Cement en vliegas worden op de betoncentrale of direct op de prefabfabriek gemengd. Tevens bestaat een fabrieksmatige gemengde cement-vliegascombinatie, bijvoorbeeld portlandvliegasement (b.v. CEM II/B-V 32,5 R) met 21-35 % vliegas.

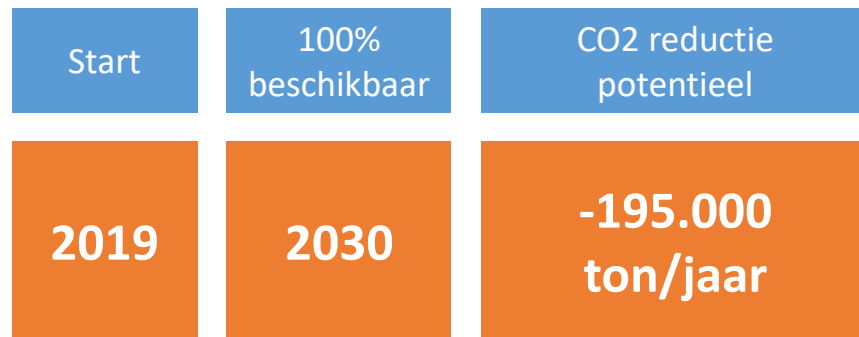
Naar schatting wordt 80 % van de beschikbare hoeveelheid vliegas in Nederland ingezet met een bindmiddelfunctie.

Door sluiting van steenkoolgestookte elektriciteitscentrales, inzet van alternatieve brandstof (b.v. biomassa i.p.v. steenkool) en keuze voor andere energiebronnen loopt de beschikbaarheid van vliegas terug. Voor 2020 wordt ingeschat dat er circa 700.000 ton vliegas beschikbaar is (waarmee rekening is gehouden met de sluiting van de Hemweg centrale te Amsterdam).

Voor 2030 wordt ingeschat dat er nog circa 200.000 ton vliegas beschikbaar zal zijn. Dit levert een verhoging van **195.000 ton CO₂** ten gevolge van vervanging door cement (CEM III/A) en alternatieve vulstof (kalksteenmeel) t.o.v. het jaar 2018.

Elke 1000 ton vliegas vermindering geeft een CO₂ verhoging van ca. 390 ton.
800 ton vervanging door cement: CEM III/A met 485 kg CO₂ per ton. 388 ton CO₂
200 ton vervanging door kalksteenmeel: (22,5- 3,26) x 200 = 3,85 ton CO₂

Deze ontwikkeling hangt samen met beschikbaarheid hoogovenslak, geopolymeer, gecalcineerde klei en klinkervervanging



14. Versnellers



Beschrijving

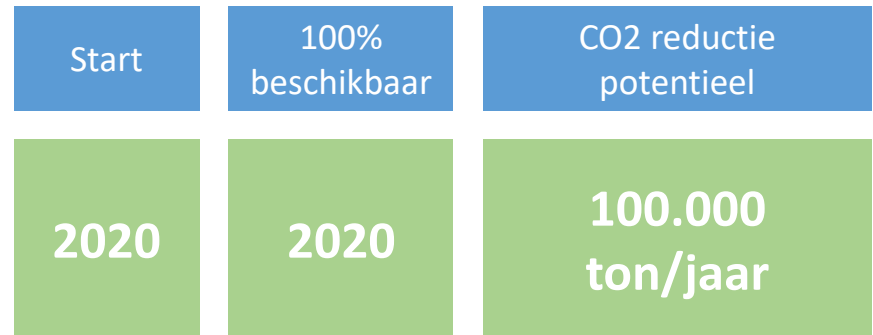
Moderne chloride-vrije versnellers bevorderen het hydratatie proces van cement in een vroeg stadium (6-12 uur). Door nucleatie wordt de essentiële groei van Calcium Silicate Hydrate kristallen versterkt. Daardoor kan het uitharden van beton bij lagere temperaturen plaatsvinden, het uithardingsproces beter worden beheerst en eventueel vroeger worden ontkist. Bovendien maakt het toepassen van moderne versneller technologie het mogelijk om minder cement toe te passen of cementtypes met een lager klinkergehalte of verwarming achterwege te laten.

Met modern remote control systemen is het uithardingsproces goed te volgen en het tijdstip van ontkisting exacter te sturen.

De nieuwste generatie versnellers verhogen niet alleen de vroege maar ook de late sterkte en bieden zo een verder reductie potentieel voor cement.

In de praktijk blijkt een reductie van 20 - 50 kg cement per m3 beton haalbaar. Met CEM IIIA als uitgangspunt levert dit 9-22,5 kg CO2 reductie per m3 beton op. Bij een voorzichtige aanname van 30 kg cement besparing per /m3 beton betekent dit -13,5 kg CO2/m3 beton. De toepasbaarheid van versnellers technologie ligt naar schatting bij 50% van het betonvolume.

- Voordelen
Verwarming van mallen of beton overbodig
Bouwtijdverkorting mogelijk
Betere proces beheersing
Kosten besparing in bouwproces
Meer betonbouw in winterweer mogelijk
- Stimulansen
Remote Sensing maakt effect meetbaar
- Roadblocks
Onterechte angst voor versnellers ivm ervaringen met corrosie t.g.v. chlorides enkele decennia geleden
Prijs per m3 beton kan stijgen
- Realiseerbaarheid
Onmiddellijk
- Samenhang met
Bouwplanning (HP10) en hogere eindsterkte (HP22)



15. CO₂ reductie in staalindustrie

Vanuit de branche vereniging van betonstaal producenten is geen opgave beschikbaar. Daarom gaan we uit van de volgende aannames:

De bijdrage van staal aan de CO₂ uitstoot van beton wordt geschat op 450.000 ton per jaar bij een betonvolume van 15 miljoen m³/jaar.

Reductie naar zero carbon in 2050 en halvering in 2030 zou betekenen dat in 2030 ca. 225.000 t CO₂ minder uitgestoten wordt.

Aangezien deze verlaging wel mogelijk is, maar niet door de Nederlandse (beton)industrie kan worden beïnvloedt, laat staan gerealiseerd, wordt dit handelingsperspectief niet gekwantificeerd.

- Voordelen
- Nadelen
- Stimulansen
- Roadblocks
- Realiseerbaarheid
- Samenhang met:

Start	100% beschikbaar	CO ₂ reductie potentieel
2020	2030	? ton/jaar

16. Reductie in energievoorziening

Uitgangspunt is het forfaitair energieverbruik van een betonmortel centrale en een prefab fabriek van 2,2 kWh elektriciteit en 1 liter diesel per m³ beton productie.

Dit betekent ongeveer 5 kg CO₂eq. emissie tijdens productie en on-site logistiek per m³ beton.

Dit geeft een totaal van 75.000 ton aan CO₂ emissie per jaar.

Door vergaande elektrificatie en deels omstelling op biodiesel of andere duurzame energiedragers is deze emissie zeker voor twee derde te reduceren, dus naar 50.000 ton CO₂eq. per jaar.

Dit is haalbaar binnen 10 jaar.

- Voordelen
- Nadelen
- Stimulansen subsidies op groene energie
- Roadblocks
- Realiseerbaarheid onmiddellijk
- Samenhang met geen

Start	100% beschikbaar	CO ₂ reductie potentieel
2020	2030	50.000 ton/jaar

17. Reductie in energiegebruik (BKA)



Bij betonkernactivering (bka) wordt de warmtecapaciteit ingezet om een gebouw op een gewenste temperatuur te brengen en te houden. Een betonnen constructie heeft een hoge warmtecapaciteit. In dit rapport beschouwen we betonkernactivering als de situatie waarin het ontwerp van een gebouw maximaal is ingericht om deze warmtecapaciteit te benutten voor regeling van de temperatuur. In dat geval zorgt het beton via stralingswarmte voor het reguleren van de temperatuur van de ruimtes in het gebouw. Als het beton warmer is dan deze ruimtes geeft het beton via warmtestraling deze warmte af aan de ruimten en als het beton koeler is neemt het de warmte uit de omgeving op en koelt zo.

Omdat het oppervlakte waarover de temperatuur uitgewisseld wordt groot is, is betonkernactivering geschikt voor combinatie met zeer lage temperatuur-verwarming en relatief warme koeling. Hierdoor is het optimaal geschikt voor combinatie met een warmtepomp.

Vanaf 2020 moet alle nieuwbouw bijna energieneutraal zijn (BENG-norm). Hierdoor is er vanaf 2020 geen energiebesparing meer te claimen door betonkernactivering omdat alle gebouwen dan een dusdanig laag energie-verbruik moeten hebben dat besparingen die verder gaan dan de norm niet meer mogelijk zijn.

- Voordelen
schoon, geluidloos, aangenaam binnenklimaat
maakt gebruik van een zeer sterke intrinsieke eigenschap van beton: warmte accumulatie c.q. koeling
- Nadelen
temperatuur veranderingen gaan langzaam
- Stimulansen
Toenemende eisen rond energie neutraliteit in de gebouwde omgeving gekoppeld aan de toenemende aandacht voor binnenklimaat
- Roadblocks
integraal ontwerp (energie/klimaat concept) is nodig
- Realiseerbaarheid
technologie is onmiddellijk beschikbaar
- Samenhang met:

Start	100% beschikbaar	CO2 reductie potentieel
2020	2020	? ton/jaar

18. Beschikbaarheid Hoogovenslak

Beschrijving

Toekomst scenario: 50% reductie van slakproductie bij TATA-IJmuiden

Jaarlijkse slakproductie bij TATA in IJmuiden: 1.300kt. Indien de productie halveert, is er 650kt/j minder slak beschikbaar voor cement en betonproductie.

650kt slak komt overeen met 1Mt CEM III/B. Indien 1Mt minder CEM III/B beschikbaar is, zal dat naar verwachting vervangen worden door 1Mt portlandkalksteencement.

De carbon footprint van CEM III/B is 270kg/t en van CEM II/A-LL 52,5 N 750kg/t

De extra CO₂-emissie als gevolg van halvering slakproductie TATA (bij gelijkblijvende cementbehoefte): $1\text{Mt} \times (750-270) = 480\text{kt/j}$ (gevolg van hogere klinker behoefte)

Of er een reductie komt van de ruwijzerproductie in IJmuiden laat zich moeilijk voorspellen. Op dit moment (2020) zijn daar nog geen signalen over. De ontwikkelingen zullen afhankelijk zijn van besluitvorming door TATA, winstgevendheid van de locatie IJmuiden, de vraag naar staal in EU en de wereld en of TATA-IJmuiden er in slaagt om een succesvolle energietransitie te maken naar waterstof.

In de Road Map CO₂ zijn twee scenario's opgenomen, waarbij het ene rekening houdt met een halvering van de beschikbaarheid van hoogovenslak en het andere geen beperking in de beschikbaarheid van hoogovenslak voorziet.

Bij deze calculatie is geen rekening gehouden met de CO₂ effecten van eventuele importen van hoogovenslak

Deze ontwikkeling hangt samen met beschikbaarheid vliegas, geopolymeer, gecalcineerde klei en klinkervervanging

Start	100% beschikbaar	CO ₂ reductie potentieel
?	?	-480.000 ton/jaar

19. Ontwerp optimalisatie

Beschrijving:

De situatie dat materiaal goedkoper is dan arbeid heeft in het verleden naar optimalisatiestappen richting vermindering van arbeidsuren & manuele handelingen geleid, ten koste van meer materiaalverbruik dan echt nodig. Bij betonconstructies uit zich dat in meer beton en meer wapening dan soms constructief nodig.

Hier zit onbenut potentieel voor CO₂ besparing door besparing van beton en wapeningstaal.

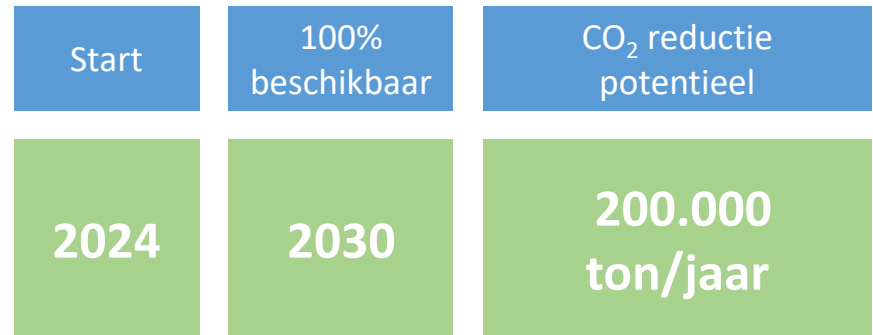
In een toekomstige situatie waarin veel bewuster met materialen wordt omgegaan, hoogwaardige rekentechniek zich ontwikkelt en kunstmatige intelligentie haar intrede doet en de realisatie op de bouwplaats of in de fabriek in toenemende mate gerobotiseerd wordt, kunnen wij laaghangend fruit plukken. Deze ontwikkelingen zullen er toe leiden dat constructie onderdelen veel optimaler en specifiekier ontworpen en gerealiseerd kunnen worden. Iedere poer, balk, kolom wand of vloer krijgt dan alleen die dimensies en wapeningsdosering die écht nodig is.

Er zitten geen belemmeringen in de toepassing van dit handelingsperspectief. Uiteindelijk kan met meer optimalisatie in het ontwerp al direct winst worden behaald. De initiatie hiervoor ligt bij de opdrachtgever.

Indien de functionaliteit goed gedefinieerd is kunnen verschillende ontwerp scenario's tegen elkaar afgewogen worden, met als doel de CO₂ impact te minimaliseren. Andere aspecten zoals circulariteit moeten duidelijk meegeformuleerd worden in de functionaliteit.

- Voordelen: Materiaalbesparing
- Nadelen: In eerste instantie arbeidsintensief (ontwerp, construeren & uitvoeren) en daarmee prijsverhogend

- Stimulansen:
 - aangescherpte eisen ten aanzien materiaalgebruik en CO₂ (bv Milieu Prestatie Gebouwen)
 - Beloning voor extra inspanning om lagere CO₂ te behalen (bij planning en uitvoering)
 - Aangescherpte criteria welke minimum functionaliteit in te vullen is
 - Ketensamenwerking (constructeur+betontechnologie+uitvoerder)
- Roadblocks:
 - De ROK sluit 3D FEM als ontwerptool uit
 - Conservatisme bij constructeurs en aannemers
 - De incentive om materiaal te besparen is nog relatief beperkt
- Realiseerbaarheid: per direct, grotere impact naar mate computermodellen en robotisering ter beschikking staan



20. 3-D printen (topologisch ontwerpen)

Beschrijving

3D printen is een innovatieve technologie, die nog in de beginfase van het implementatie traject staat en waarmee op een experimentele manier de eerste praktijk toepassingen worden gerealiseerd.

Door de methode van topologisch ontwerpen wordt material alleen daar toegepast waar het nodig is. Door de extreme vormvrijheid is het daarom mogelijk tot meer dan 50% material volume te besparen, afhankelijk van de geometrie van het te printen object.

Bovendien is bij 3D printen geen vormwerk nodig zoals bij prefab of extrusie.

Per eenheid product is de CO2 uitstoot van de betonspecie naar verwachting duidelijk hoger dan van een gemiddelde betonmortel in bestaande verwerkingsmethoden.

Aangezien in 2020 nog niet duidelijk is in welke toepassingsgebieden 3D printen de meeste kansen biedt en in hoeverre deze technologie andere bestaande technologieën zal vervangen, is het niet mogelijk een CO2 reductie potentieel te berekenen.

Het CO2 reductie potentieel door toepassing van 3-D printen is met LCA calculaties op project niveau echter wel degelijk te bepalen.

- Voordelen: geen overbodig material gebruik
geen vormwerk nodig
zeer grote designvrijheid
- Nadelen kan economisch nog niet concurreren met huidige massa productie technologieën
- Stimulansen integratie digitalisering in ontwerp en productie
- Roadblocks beschikbaarheid robots en technologische kennis
- Realiseerbaarheid TRL 6
- Samenhang met gebruik oversterkte

Start	100% beschikbaar	CO2 reductie potentieel
2020	?	? ton/jaar

21. Alternatieve wapening

Beschrijving

Er is in de afgelopen decennia een grote variëteit aan alternatieve wapeningsmaterialen op de markt gekomen, zowel voor constructieve als voor niet-constructieve toepassingen. Vezels uit polymeren, mineralen of bio materialen worden ingezet ter vervanging van staven of netten. Sommigen hebben tot doel het risico op krimpscheuren te verminderen, anderen hebben een constructieve functie.

Vezels hebben als voordeel dat ze in de mortel gemengd worden en daardoor veel minder arbeidsintensief zijn.

Het CO2 reductie potentieel is bij alternatieve wapening niet gerelateerd aan het bindmiddel, maar aan die van staal. Daarnaast is bij het gebruik van alternatieve wapening vaak minder dekking op de constructieve stalen wapening nodig omdat het risico op corrosie ten gevolge van scheurvorming daalt.

Gezien de grote diversiteit aan eisen aan betonnen constructies qua sterkte en milieuklasse is het niet mogelijk een algemeen geldende CO2 reductie te berekenen.

Het CO2 reductie potentieel door toepassing van alternatieve wapening zoals vezels of staven is met LCA calculaties op project niveau echter wel degelijk te bepalen.

- Voordelen
geringer risico op corrosie van wapeningsstaal
lagere kosten voor wapeningsmateriaal
minder arbeid voor aanbrengen wapeningsstaal
- Nadelen
cement recycling door breken van betonpuin kan door daarin aanwezige vezels worden bemoeilijkt
- Stimulansen
- Roadblocks
kennis over alternatieve wapening bij constructeurs
normering is nog niet
- Realiseerbaarheid
TRL 9
- Samenhang met

Start	100% beschikbaar	CO2 reductie potentieel
2020	2020	? ton/jaar

22. Hogere eindsterkte (slow concrete)

Met het handelingsperspectief Slow beton is hier bedoeld het gebruiken maken van de doorgaande sterkteontwikkeling van beton. Hoewel Slow beton een raakvlak heeft met het handelingsperspectief 'Bouwplanning', gaat het handelingsperspectief bouwplanning over de sterkte ontwikkeling nog vóórdat de eindsterkte is bereikt, in tegenstelling tot dit handelingsperspectief waar de nadruk ligt op de eindsterkte die wordt bereikt op een tijdstip (ouderdom) ná 28 dagen. (bijvoorbeeld na 56 of 90 dagen)

Slow beton is toepasbaar in die gevallen waarbij de maatgevende belastingen op een constructie of constructie deel op een later tijdstip dan 28 dagen van toepassing zijn. Dit is alleen van toepassing indien de sterkteklasse maatgevend is voor de watercementfactor van beton en niet de milieuklasse.

We nemen aan dat slechts 10% van de toepassingen zich leent voor Slow beton.

De besparing zit in het cementgehalte wat gereduceerd kan worden met 10% t.o.v. beton die de eindsterkte bereikt na 28 dagen.

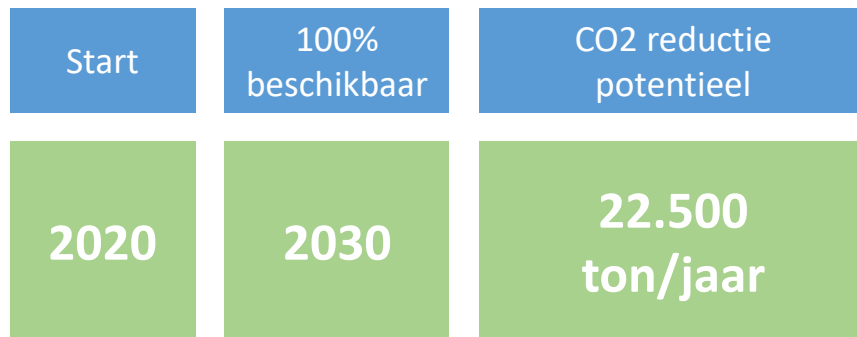
Berekening: $15 \text{ mln m}^3 \times 10\% = 1,5 \text{ mln m}^3$ betonmortel.

Besparing van 10% op 450.000 ton cement is 45.000 ton cement.

Mogelijke CO₂ reductie is $0,5 \text{ ton CO}_2 \times 45.000 \text{ ton cement} = 22.500 \text{ ton CO}_2$.

Omdat de markt aan dit principe zal moeten wennen en hiermee leren omgaan, zal deze reductie over de komende 10 jaar lineair toenemen.

- Voordelen: Minder warmteontwikkeling
- Nadelen: tragere sterkteontwikkeling
- Stimulansen: CO₂ tax
- Roadblocks : extra berekeningen & testen
- Realiseerbaarheid : daar waar constructies op een later tijdstip worden belast
- Samenhang met:



23. Gebruik maken van oversterkte

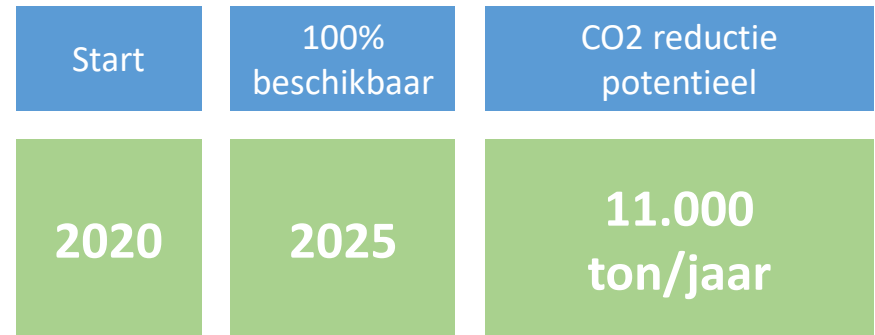


Een gedeelte van beton(mortel) wordt besteld in een zodanige combinatie van sterkte- & milieuklasse dat, t.g.v. een zwaardere milieuklasse een hogere sterkte ontstaat dan in het ontwerp is aangehouden. Deze oversterkte kan worden gebruikt om constructies slanker te maken.

Een globale inschatting van CO₂ besparing:

Gebruik betonmortel in m3/jaar			8.000.000
Alleen relevant bij sterkteklassen tot C30/37 en een deel van C30/37,			
	50%		4.000.000
Circa 10% van deze toepassing wordt 'te zwaar' ontworpen			
	10%		400.000
In deze 10% zou 25% minder cement gebruikt kunnen worden			
	25%		100.000
Gemiddeld CEM I gehalte in ready mix/kg CO2 per kg cement/CO2 per m3 beton:	60	0,818	49
Gemiddeld CEM III gehalte in ready mix/kg CO2 per kg cement/CO2 per m3 beton:	200	0,296	59
Totaal gemiddeld cement gehalte in ready mix/kg CO2 per kg cement/CO2 per m3 beton:	260	0,416	108
Totaal CO2 reductie (ton CO2)			10.828

- Voordelen: lagere kosten door optimaliseren betonmengsels
- Nadelen: iets meer werk voor de constructeur/ontwerper
- Stimulansen: opleiding/informatie ontwerpers
- Roadblocks: geen
- Realiseerbaarheid: per direct
- Samenhang met: ontwerpen



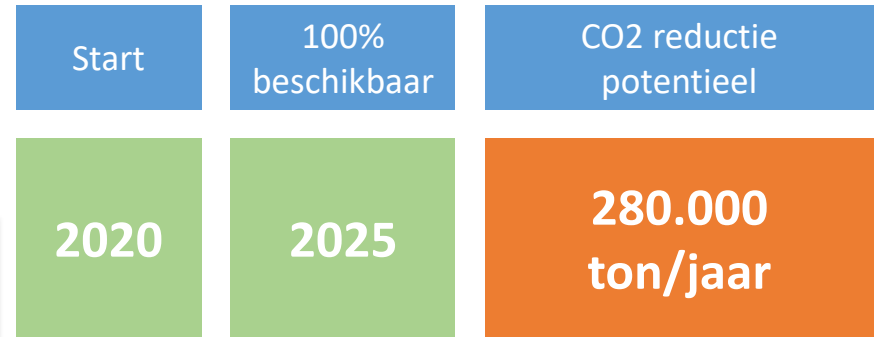
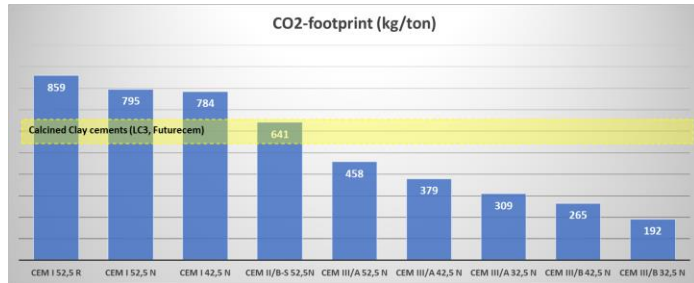
24. Gecalceineerde klei



Beschrijving

- **Calcined Clay cements;**
 - Karen Scrivener: LC3 (50K, 30C, 15L, 5BTR)
 - Aalborg Futurecem (62K, 17C, 17LL, 4BTR)
- **Geschikte kleibronnen:** (kaolinite, smectite, Illite)
 - wereldwijd grote hoeveelheden geschikte klei
 - in NL weinig/geen geschikte klei
- Zolang hoogovenslak beschikbaar is, levert gecalcineerde klei geen verbetering van CO2-footprint van bijv. CEM III
- In NL zijn CEM I cementen veelal vervangen door CEM II, CEM III-cementen

- **Voordelen**
 - gecalcineerde klei is toegelaten bestanddeel cement EN197-1: Q - gebrande nat. puzzolaan
 - in vergelijking met CEM I tot 30% lagere CO2-footprint (550-650kg/t)
 - puzzolaancement – goede duurzaamheid
- **Nadelen**
 - calcineren van klei vraagt ook veel energie (verhoogt CO2-footprint)
 - composiet cementen hebben lagere beginsterkte vs CEM I – vergelijkbaar/hogere eindsterkte
 - hogere waterbehoefte – hogere cementgehalten of meer hulpstoffen
- **Stimulansen**
 - verminderde beschikbaarheid hoogovenslak
- **Roadblocks**
 - beschikbaarheid voldoende geschikte klei
 - investering in calcinatie plant (flash calciner, rotary kiln) 750-800°C
- **Realiseerbaarheid**
 - onzeker: beschikbaarheid geschikte klei op korte afstand
 - voor NL vooral interessant als er minder hoogovenslak beschikbaar zou komen
- **Samenhang met:** beschikbaarheid hoogovenslak



Toekomst scenario: 50% reductie van slakproductie bij TATA-Ilmuiden

Jaarlijkse slakproductie bij TATA in Ilmuiden: 1.300kt. Indien de productie halveert, is er 650kt/j minder slak beschikbaar voor cement en betonproductie.

650kt slak komt overeen met 1Mt CEM III/B. Indien 1Mt minder CEM III/B beschikbaar is, zal dat naar verwachting vervangen worden door 1Mt portlandkalksteencement

De carbon footprint van CEM III/B is 270kg/t en van CEM II/A-LL 52,5 N 750kg/t

De extra CO2-emissie als gevolg van halvering slakproductie TATA (bij gelijkblijvende cementbehoefte): 1Mt x (750-270) = 480kt/j (gevolg van hogere klinker behoefte)

Carbon footprint CEM II-Q: 550kg/t

Indien 650kt minder slak, wordt 1Mt CEM III vervangen door CEM II-Q. Dit dempt het negatieve effect van minder slak; 1Mt x (550-270) = 280kt/jr CO2

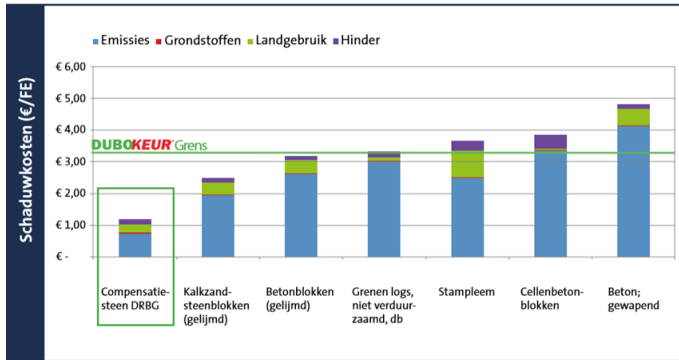
25. Carbstone

CO2mpensatiesteen / Carbstone = staalslakken met reactieve CaO en MgO

De Compensatiesteen van Calduran / De Ruwbouw Groep (CRH) is gebaseerd op Carbstone technologie van VITO (België). Het bestaat uit zand en een bindmiddel gemaakt van RVS staalslakken (Fillinox of Carbinox van Orbix). Deze reststof is zodanig opgewerkt dat ongewenste materialen zijn verwijderd en de kwaliteit verbeterd. Bij de verharding wordt CO₂ in een drukkamer (autoclaaf) chemisch gebonden zodat een steenachtig materiaal ontstaat. Deze technologie is ontwikkeld met Orbix.

De milieuscore is in onderstaande tabel weergegeven. Compensatiesteen kent een LCA-score (shadowprice per functional unit) van € 0,77.

Sfb Code	Onderdeel	Milieuscore € / m ²
21.01	Binnenspouwblad (dragend) inclusief wandafwerking, dikte ~100mm	1,50
22.02	Dragende binnenmuur zonder wandafwerking, dikte ~100mm	1,21
22.02	Woningscheidende wand inclusief wandafwerking, dikte ~120mm	2,26
22.11	Massieve niet-dragende binnenwand incl. wandafwerking (éénzijdig) dikte ~100mm	1,85

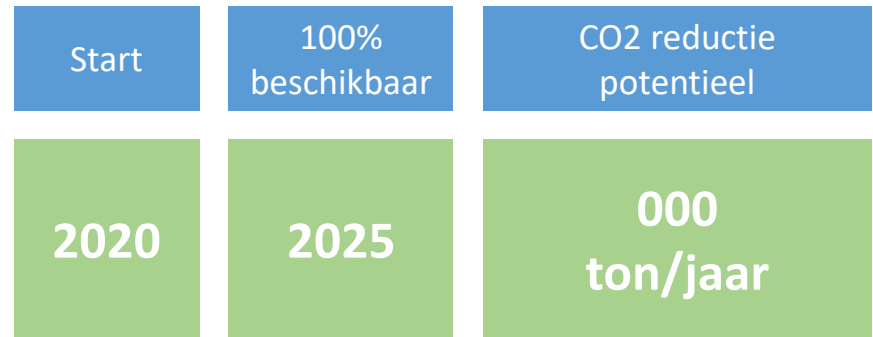


het materiaal moet permeabel (voor CO₂) zijn en niet te dik de producten moeten in een autoclaaf passen de productie-installaties vergen grote investeringen er is schone CO₂ nodig, de meeste CO₂ houdende gasstromen zijn vervuild, gezuiverde CO₂ is duur Momenteel wordt gewerkt aan opschaling van deze technologie.

ASH-CARB

Deze technologie is een variant op Carbstone, waarbij een deel van de staalslak wordt vervangen door AEC as. Dit is op universitaire research schaal onderzocht.

- Voordelen: secundair bindmiddel, CO₂ binding
- Nadelen: geometrische beperkingen, prismatisch, poreuze mengsels
- Stimulansen: duurzaam inkopen, CO₂ tax
- Roadblocks: enorme investeringen nodig en schone CO₂
- Realiseerbaarheid: goed
- Samenhang met: alle bindmiddelen



26. Hergebruik Beton elementen



Uitgangspunt is hergebruik van een prefab element in zijn geheel, om een andere of gelijke functie te vervullen. Voorbeeld is gebruik van ligger of kolom als funderingsbalk. Fundering van een vrijstaande woning is als voorbeeld genomen, die kent een CO₂ emissie van ca. 6 ton per woning (ca. 25 m³ beton)

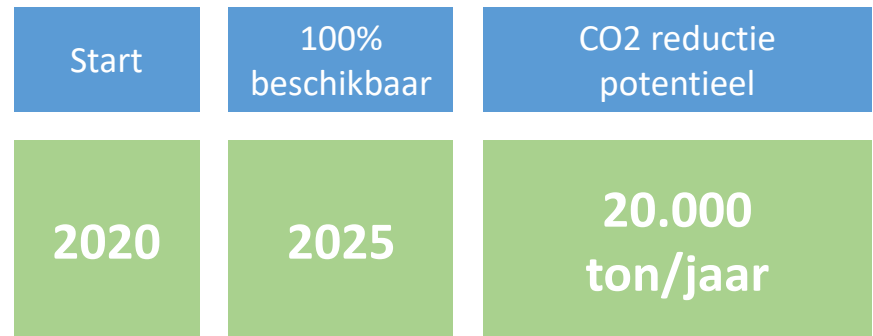
Met 75.000 nieuwe woningen per jaar is dit een jaarlijkse impact van 450.000 t CO₂ emissie. Inclusief overige functies schatten we in dat het totaal van de markt dubbel deze hoeveelheid is, dus 900.000 ton CO₂ emissie voor funderingen.

Als we dit perspectief serieus nemen, zouden we voor 20% van de benodigde funderingen van liggers en kolommen hergebruiken. Dit zou de productie van nieuw beton voor funderingsbalk kunnen vermijden.

Dat zou theoretisch een jaarlijkse besparing van 200.000 t CO₂ opleveren. Er is niet gekeken of de benodigde hoeveelheid prefab liggers, kolommen en balken ook jaarlijks beschikbaar komt uit sloop werken.

Aangezien in de huidige gebouwde omgeving veruit de meeste betonelementen, zoals vloeren, kolommen en balken niet losmaakbaar zijn, maar min of meer geïntegreerd in de constructie, is dit perspectief voorlopig nog zeer beperkt toepasbaar. Daarom gaan we van 10% toepasbaarheid uit.

- Voordelen: helpt percentage hergebruik te verhogen en kost minder energie dan (slim) breken betonpuin
- Nadelen: dit is een theoretisch handelingsperspectief, waaraan volgens experts de nodige bezwaren kleven.
- Meestal veel duurder dan nieuwbouw, daardoor minder aantrekkelijk
- Stimulansen: MPG Gebouwen
- Roadblocks: elementen die voor binnengebruik zijn ontworpen, kunnen waarschijnlijk niet als fundering worden hergebruikt in verband met ontoereikende milieuklasse
- Realiseerbaarheid: praktisch moeilijk. Hergebruik casco's is veel waarschijnlijker (HP 7)



27. Transport leverketen

De volgende uitgangspunten voor de referentie berekening zijn gehanteerd:

- Aanvoer logistiek (module A2) met NL gemiddelde aanvoerafstanden voor grondstoffen
- Levering aan de bouwplaats (module A4) mortel 25 km en prefab 150 km
- Retour logistiek bij afvalverwerking (module C2) volgens bepalingmethode

Per m3 beton geeft dit een gemiddelde CO2 impact voor alle logistieke bewegingen van 52 kg CO2-eq. per m3 betonmortel en 80 kg CO2-eq. per m3 prefab. Totaal is dit ca. 1000 kt CO2-eq. emissie per jaar. Door omschakeling naar biodiesel en waar mogelijk elektrificatie is hierop ca. 60% te besparen. Totaal perspectief is dus 600 kt CO2. We schatten dat met de juiste inspanning hiervan ongeveer de helft bereikt kan zijn in 2030, dus 300 kt.

- Voordelen
- Nadelen
- Stimulansen
- Roadblocks: voldoende groene stroom?
- Realiseerbaarheid
- Samenhang met:

Start	100% beschikbaar	CO2 reductie potentieel
2020	2025	300.000 ton/jaar

28. Zelf helend beton

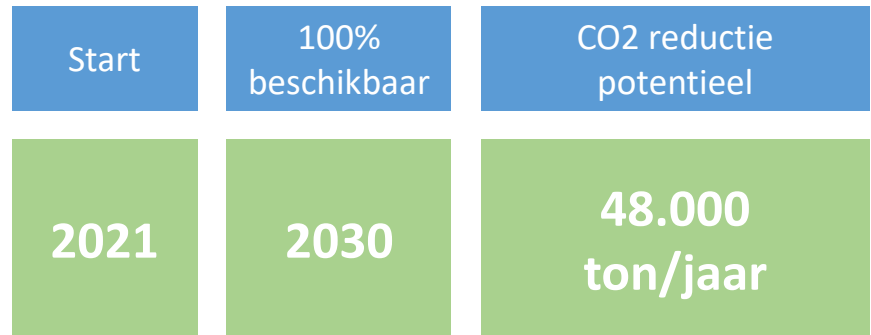


Self Healing Agent

Bepaalde micro-organismen, die aan het betonmengsel kunnen worden toegevoegd, vullen bij contact met indringend water, als gevolg van scheurvorming, de scheuren weer op met kalkhoudende verbindingen. De effecten hiervan zijn naast verminderde reparatie, hogere waterdichting, levensduurverlenging en een geringere behoefte aan (of vervanging van) krimpwapening, aldus Green Basislisk, de leverancier van Self Healing Agents.

Een berekening voor potentiële CO2 reductie is aangeleverd door Green Basislisk.

- Voordelen: nagenoeg geen onderhoud meer aan het herstellen van scheuren en een reductie van de krimpwapening.
- Nadelen: een kostenverhoging door toevoeging van Green Basislisk wanneer er geen reductie is van de krimpwapening.
- Stimulansen: opdrachtgevers dienen eisen te stellen aan scheurvorming en de wijze van herstel.
- Roadblocks: onbekendheid met zelf herstellend beton.
- Realiseerbaarheid: wanneer opdrachtgevers het niet uitvragen dan zal het beton niet gerealiseerd worden als zelf herstellend beton..
- Samenhang met:





Bouwwaarde model en CO2 reductie

Hoewel de uitstoot van CO₂ in de beton keten primair tijdens de productie van cement wordt veroorzaakt, is voor het reduceren van de uitstoot aandacht voor alle fasen in de waarde keten van de bouw noodzakelijk; niet alleen bij de productie van cement als materiaal of beton als product.

Het Bouwwaarden model van de werkgroep Circulair Ontwerpen is een handig instrument, waarmee de handelingsperspectieven als functie van de levensduur van een bouwwerk in kaart worden gebracht.

waarde toevoegen	ontwerp & productie	geld	1	investering
		materiaal	2	materiaal keuze
		product	3	technisch ontwerp
		element	4	functioneel ontwerp
		bouwwerk	5	assemblage
waarde onttrekken	her-gebruik en opslag	gebruik	6	gebruiksfasen
		functie	7	regulier onderhoud
		bouwwerk	8	renovatie
		element	9	demontage
		product	10	hergebruik grondstoffen
		materiaal	11	energy recovery
		energie	12	opslag

					2.6				
waarde toevoegen		1.5			proces	3.7	waarde onttrekken		
		1.4			elementen	3.8			
		1.3			producten	3.9			
		1.2			materiaal	3.10			
kapitaal					energie	3.11			
					kapitaal	3.12			
investeren	produceren	ontwerpen	bouwen	gebruiken	onderhouden	hergebruiken		verbranden of opslaan	
pre-use				use	re-use				