

De koers naar 2030

Voor het behalen van het doel én de ambitie CO₂-reductie van het Betonakkoord.

Inhoud

1	Management samenvatting.....	3
2	Inleiding	6
2.1	Betonakkoord.....	6
2.2	Onafhankelijke commissie Duurzame betonketen	6
2.3	Gekozen methodiek	6
3	Wat is de impact van beton?	7
3.1	Wat is beton?	7
3.2	Diversiteit in toepassing.....	7
3.3	Onderscheid in blootstelling	7
3.4	Volumeverdeling tussen categorieën.....	8
3.5	De milieupact van beton	9
3.5.1	CO ₂ voetafdruk.....	9
3.5.2	(Her)gebruik primaire materialen.....	9
4	Verduurzaming van beton	10
4.1	Betonakkoord en doelstellingen	10
4.2	CO ₂ reductie	10
4.2.1	Handelingsperspectieven Betonakkoord	10
4.2.2	Milieupact uitgedrukt in MKI.....	12
4.2.3	MKI systematiek.....	12
4.2.4	Ontwikkelingen op het gebied van MKI.....	13
4.3	Doelstelling circulaire economie	13
5	Plafond- en koploperwaarden milieupact	14
5.1	Impact van beton als onderdeel van product	14
5.2	Referentiemengsels plafond- en koploperwaarden.....	15
5.3	Tabellen met plafond- en koploperwaarden.....	16
5.4	Aanpassingen referentiemengsels	17
5.4.1	Sterkteklasse	17
5.4.2	Prefab.....	18
5.4.3	Wintercondities	18
6	Streefwaarden betonrecycling	20
7	Impact op de CO ₂ reductie	22
8	Rekenvoorbeeld.....	24
9	Conclusie	25

1 Management samenvatting

PLAFONDWAARDEN EN KOPLOPERWAARDEN DUURZAAM BETON

Beton is een veelzijdig, robuust en relatief goedkoop materiaal en ook in Nederland het meest gebruikte bouw materiaal. Mede door het grote volume is de milieupact van beton eveneens groot. Deze impact betreft enerzijds de uitstoot van CO₂ bij de productie van portlandklinker (grondstof) en anderzijds het gebruik van primaire grondstoffen.

Op initiatief van het Betonakkoord heeft de onafhankelijke commissie Duurzame betonketen voorliggende methodiek opgesteld. Het doel van deze methodiek is om invulling te geven aan de doelstelling met betrekking tot de reductie van CO₂ impact van beton. Het betreft toepassingen van het materiaal beton binnen de huidige regelgeving met bekende grondstoffen. Technologie waarbij CO₂ wordt afgevangen en opgeslagen of gebruikt is in ontwikkeling maar zal niet voor 2030 worden meegerekend. Zodra innovaties met nieuwe bindmiddelen zoals geopolymers marktrijp zijn, zullen deze in de methodiek worden opgenomen.

In de gekozen methodiek worden plafond- en koploperwaarden voor de milieupact van beton(producten) voorgesteld. De plafond- en koploperwaarden zijn vastgesteld op basis van wat veel marktpartijen nu al realiseren en kan worden opgeschaald. Daarbij worden de plafondwaarden aangehouden voor wat het peloton met beperkte aanpassingen van de productieprocessen nu al kan, en zijn de koploperwaarden op beperkte schaal door een selecte groep nu al technisch haalbaar.

Publieke en private opdrachtgevers zullen/kunnen de plafond-, dan wel de koploperwaarden gebruiken bij het opstellen van contracteisen bij de realisatie van projecten.

Methodiek plafond- en koploperwaarden

De commissie heeft gekozen voor een methodiek waarbij recht wordt gedaan aan de diversiteit van toepassingen van het materiaal beton. Daarbij zijn de omstandigheden waarin het materiaal beton wordt toegepast (expositie) als startpunt gebruikt. Er zijn vier categorieën vastgesteld:

- *Ongewapend*: beton in betonproducten en -constructies zonder constructieve wapening.
- *Binnen*: beton in gewapende en/of voorgespannen constructies in binnencondities (beschermd tegen weer en wind).
- *Buiten*: beton in gewapende en/of voorgespannen betonconstructies in buitencondities (weer en wind) en in de grond.
- *Agressief*: beton in gewapende en/of voorgespannen betonconstructies blootgesteld aan zeewater (frequent), direct met dooizout bestrooid en/of blootgesteld aan chemisch agressief milieu (rioolwater, mest).

Voor elke categorie is een plafondwaarde en een koploperwaarde vastgesteld voor de jaren 2025, 2026 en 2027. De benoemde plafond- en koploperwaarden zijn vastgesteld voor de LCA Levenscyclus analyse) onderdelen A1 t/m A3. Hiermee kan direct gestuurd worden op het beton dat geproduceerd wordt. Uitgangspunt is dat de overige fasen A4 t/m D projectkeuzes betreffen en meegenomen worden in de totale MKI (Milieukosten indicator) of de MPG (Milieuprestatie gebouwen) score van een project.

Omdat in de Grond- Weg- en Waterbouw (GWW) het gebruik van de MKI meer ingeburgerd is, terwijl de CO₂ impact (Global Warming Potential, GWP) vaker wordt gebruikt in de woning- en utiliteitsbouw (B&U), zijn plafond- en koploperwaarden voor beide bepaald. De basis is één tabel, waarbij de getallen zowel voor MKI als voor CO₂ impact worden gegeven.

Omdat ontwerpuitsgangspunten en de wijze van uitvoering invloed kunnen hebben op het cementgehalte en de betonsamenstelling zijn voor specifieke toepassingen hogere impact waarden geformuleerd die in de tijd deels worden afgebouwd. Het staat iedere leverancier vrij het beton samen te stellen binnen de geldende norm- en regelgeving.

N.B. Een wijziging ten opzichte van eerdere versies van MKI waarden is dat in de onderhavige opzet de focus op het materiaal beton ligt. De invloed van wapening wordt niet beschouwd. De hoeveelheid wapening wordt namelijk bepaald door het ontwerp (o.a. overspanning, belasting, etc.) en daar heeft de betonproducent meestal geen invloed op. De milieupact van de wapening komt wel terug in de berekening van de totale MKI op objectniveau (GWW projecten) en de MPG (B&U projecten).

Op termijn veranderen de criteria voor het berekenen van de MKI. Voor nu wordt de A1 set (met 11 milieupact categorieën) gehanteerd en wanneer de A2 set (19 milieupact categorieën) definitief is ingevoerd zal deze voor de plafond- en koploperwaarden worden gebruikt. Dit zelfde geldt voor de PCR cement die niet in onderstaande tabellen is verwerkt.

Plafond- en koploperwaarden MKI en CO₂

MKI plafond- en koploperwaarden in €/m³ beton (LCA A1 set A1 t/m A3)

Categorie (expositie)	plafondwaarde			Koploperwaarde		
	2025	2026	2027	2025	2026	2027
Ongewapend	10,2	9,5	8,8	7,4	7,1	6,7
Binnen	10,8	10,1	9,4	7,9	7,5	7,2
Buiten	11,7	10,9	10,1	8,4	8,0	7,6
Agressief	12,8	11,9	11,0	9,2	8,8	8,3

CO₂ impact plafond- en koploperwaarden in kg/m³ beton (LCA A1 set A1 t/m A3)

Categorie (expositie)	plafondwaarde			koploperwaarde		
	2025	2026	2027	2025	2026	2027
Ongewapend	157	145	133	109	103	97
Binnen	169	156	143	117	111	104
Buiten	183	169	155	126	119	112
Agressief	202	186	171	139	131	123

Het jaartal in de tabel verwijst naar het moment van produceren van het beton.

Betonrecycling

Het Betonakkoord stuurt zowel op het stimuleren van de aanbod- als de vraagzijde van betongranulaat als grondstof voor nieuw beton. Medio 2025 ligt het percentage hergebruik nog onder 15% van het circa 15 MTon beschikbare sloophbeton. De ambitie is dat in 2030 alle sloophbeton terug in de betonketen wordt gebracht. Onderstaande tabel toont waarden die de basis vormen voor de hierna genoemde streefwaarden.

Ambitie Betonakkoord: hergebruik en recycling

	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Aandeel vrijkomend betonpuin terug in beton	<15%	20%	30%	40%	50%	>60%

Wanneer opdrachtgevers meer gaan sturen op circulair slopen en hoogwaardige recycling, komt er ruimte om gerecycled beton toe te passen in nieuw beton en kunnen de streefwaarden worden behaald.

Streefwaarden beton recycling in % toeslagmateriaal (zand en grind)

Categorie (expositie)	Streefwaarde			limietwaarde		
	2025	2026	2027	2025	2026	2027
Ongewapend	25%	25%	25%	35%	35%	35%
Binnen	15%	15%	15%	25%	25%	25%
Buiten	5%	5%	5%	15%	15%	15%
Agressief	0%	0%	0%	5%	5%	5%

De koers naar 2030

Met brede toepassing van plafondwaarden en in toenemende mate koploperwaarden die periodiek worden aangescherpt op de stand der techniek wordt de transitie naar een duurzame betonsector aangejaagd. Beton zal hiermee dan ook in de komende decennia als een veelgebruikt bouw materiaal een aanzienlijke bijdrage leveren aan de beperking van CO₂ uitstoot van de bouwsector.

2 Inleiding

Beton is een veelzijdig, robuust en relatief goedkoop materiaal en ook in Nederland het meest gebruikte bouw materiaal. Mede door het grote volume is de milieupact van beton eveneens groot. Deze impact betreft enerzijds de uitstoot van CO₂ bij de productie van portlandklinker (grondstof) en anderzijds het gebruik van primaire grondstoffen.

2.1 Betonakkoord

In 2018 is het Betonakkoord gesloten om de betonsector te verduurzamen. Het Betonakkoord streeft nu naar tenminste 70% CO₂ reductie in 2030 en zo mogelijk klimaatneutraal. Daarnaast moet in 2030 100% van al het herbruikbaar beton circulair worden gesloopt en zo hoogwaardig mogelijk hergebruikt (in volgorde van prioriteit: levensduurverlenging, hergebruik betonelementen en hoogwaardige recycling). Door slim, adaptief en circulair te ontwerpen en bouwen worden zo min mogelijk grondstoffen gebruikt, hergebruik van betonelementen geoptimaliseerd en CO₂ uitstoot gereduceerd.

2.2 Onafhankelijke commissie Duurzame betonketen

Op initiatief van het Betonakkoord is een onafhankelijke commissie ingesteld om koploper- en plafondwaarden voor de CO₂ impact van beton vast te stellen. Deze plafond- en koploperwaarden zijn vastgesteld op basis van wat (steeds meer) marktpartijen nu al kunnen realiseren. Daarbij worden de plafondwaarden aangehouden voor wat het 'peloton' zou moeten kunnen (met beperkte impact op de productieprocessen) en zijn de koploperwaarden nu al technisch haalbaar. Het doel is dat plafond- en koploperwaarden worden gebruikt in contracteisen. Publieke opdrachtgevers zullen de plafond-, dan wel koploperwaarden gebruiken in hun contracteisen.

2.3 Gekozen methodiek

De commissie heeft gekozen voor een methodiek die de verduurzaming van het materiaal beton toegankelijk maakt. De methodiek gaat uit van bestaande regelgeving en bekende grondstoffen. Technologie waarbij CO₂ wordt afgevangen en opgeslagen of gebruikt (CCSU) is in ontwikkeling maar zal niet voor 2030 worden meegerekend. Zodra innovaties met nieuwe bindmiddelen zoals geopolymers marktrijp zijn, zullen deze in de methodiek worden opgenomen.

Dit document beschrijft welke factoren de CO₂-impact van beton bepalen en hoe verduurzaming nu al plaatsvindt. Op basis daarvan wordt onderbouwd hoe duurzaam beton kan worden samengesteld en wat de impact is binnen de categorieën 'koploper' en 'plafond'. Ook wordt het effect van brede toepassing gekwantificeerd en afgezet tegen de ambities van het Betonakkoord.

Vanuit de startpunten voor het bepalen van de CO₂ impact kan ook de MKI waarde worden vastgesteld. Voor opdrachtgevers en in markten waar de MKI meer gebruikelijk wordt toegepast dan CO₂ kan de plafond- en koploperwaarde voor de MKI worden gehanteerd.

De onafhankelijke commissie zal in 2026 formeel worden ingesteld door het Ministerie van IenW. De adviezen van de commissie vormen de input voor het vaststellen van de prestatie eisen voor het peloton en de gunningscriteria (voor grote projecten) voor de koplopers die publieke opdrachtgevers in de Infra wettelijk moeten gaan toepassen. Deze wetgeving wordt op dit moment voorbereid door het [ministerie van IenW](#). De adviezen vormen ook de basis voor de (vrijwillige) aanpak van de private opdrachtgevers en zo mogelijk ook de publieke opdrachtgevers in de B&U.

3 Wat is de impact van beton?

3.1 Wat is beton?

Beton is een korrelskelet gevuld met een lijm. Dit korrelskelet wordt samengesteld uit grof toeslagmateriaal, meestal grind (in Nederland) of een ander hard toeslagmateriaal zoals graniet of kalksteen, en fijn toeslagmateriaal (zand). Bij asfaltbeton is de lijm bitumen, bij zwavelbeton is de lijm zwavel, bij cementbeton is de lijm cement. Cement gemengd met water hydrateert tot cementsteen, die het korrelskelet aan elkaar lijmt. Cement wordt hierbij gedefinieerd als bindmiddel dat voldoet aan NEN-EN 197-1/-5/-6. Deze norm kent een breed grondstoffenpakket, maar heeft één gemeenschappelijke ingrediënt: portlandklinker. Cementbeton is een veelzijdig, robuust en relatief goedkoop materiaal en ook in Nederland het meest gebruikte bouw materiaal.

3.2 Diversiteit in toepassing

Beton is een samengesteld materiaal dat na verharding vormvast wordt. Dit vormvaste materiaal kan goed drukkrachten opnemen, maar in mindere mate trekkrachten. Door toevoeging van (stalen) wapening voor het opnemen van de buig- en trekkrachten ontstaat het constructiemateriaal gewapend beton. Door het aanbrengen van voorspanning wordt de druksterkte van beton nog beter benut en zijn complexe constructieve toepassingen mogelijk.

De samenstelling van beton is afhankelijk van verschillende factoren. De toepassing en de beoogde dimensies bepalen voor een groot deel de krachtswerking in het beton, waaruit de benodigde betonkwaliteit (met name betondruksterkte) kan worden afgeleid. Hoe hoger de benodigde betondruksterkte hoe hoger het cementgehalte. Daarnaast is de sterkteontwikkeling in de tijd een belangrijk criterium voor het cement: voor geprefabriceerde betonproducten is de initiële sterkte belangrijk voor het moment van ontkisten, bij vloeren waarbij scheurbeheersing van belang is kan de sterkteontwikkeling gebruikt worden om scheuren (en kans op lekkages) te verminderen.

Beton kent dan ook een grote diversiteit in toepassingen: als vormvast materiaal in producten voor bestrating en riolering, als gewapend beton in keerwanden, woningen, tunnels en (voorgespannen) in bruggen en funderingspalen. Elke toepassing met specifieke eisen aan de betonsamenstelling.

3.3 Onderscheid in blootstelling

De omgeving waarin beton wordt toegepast bepaalt aan welke omstandigheden het wordt blootgesteld. Deze expositie-omstandigheden zijn van invloed op de betonsamenstelling die nodig is om de levensduur en de constructieve eigenschappen van de betonconstructie te garanderen. Hierbij speelt de aanwezigheid van wapening en/of voorspanning een belangrijke rol. Staal wordt in beton door het hoog alkalische milieu beschermd tegen corrosie. Beton is echter een permeabel materiaal en daardoor gevoelig voor indringing van (chemische) stoffen, waardoor de bescherming van het staal kan verminderen. De snelheid waarmee dat plaatsvindt hangt af van de blootstelling, maar ook van de permeabiliteit van het beton. De permeabiliteit wordt bepaald door de betonsamenstelling. Voor beton in een nat of agressief milieu is een lage permeabiliteit gewenst om de levensduur van de wapening te garanderen. Denk hierbij aan toepassing in een natte omgeving variërend van wisselend droog en nat tot permanent onder water. Hierbij speelt het risico van schade door vorst-dooicycli en corrosierisico door carbonatatie. In een agressieve omgeving is er kans op aantasting van het beton door chemische stoffen en corrosie van het staal door indringing van chlorides. Voor beton in een droog milieu, zoals in een binnenruimte met een beheerste luchtvochtigheid, kan volstaan worden met een wat hogere permeabiliteit.

De expositie-omstandigheden zijn als startpunt gebruikt voor de vaststelling van de plafond- en koploperwaarden. Hiervoor zijn vier categorieën vastgesteld:

- *Ongewapend*: beton in betonproducten en -constructies zonder constructieve wapening.
- *Binnen*: beton in gewapende en/of voorgespannen constructies in binnencondities (beschermd tegen weer en wind).
- *Buiten*: beton in gewapende en/of voorgespannen betonconstructies in buitencondities (weer en wind) en in de grond.
- *Agressief*: beton in gewapende en/of voorgespannen betonconstructies blootgesteld aan zeewater (frequent), direct met dooizout bestrooid en/of blootgesteld aan chemisch agressief milieu (rioolwater, mest).

Meer in detail zijn deze expositie-omstandigheden terug te vinden in de norm voor de mengsamenstelling, in de vorm van een voorgeschreven (minimum cementgehalte en) maximale watercementfactor afhankelijk van de milieuklasse van beton.

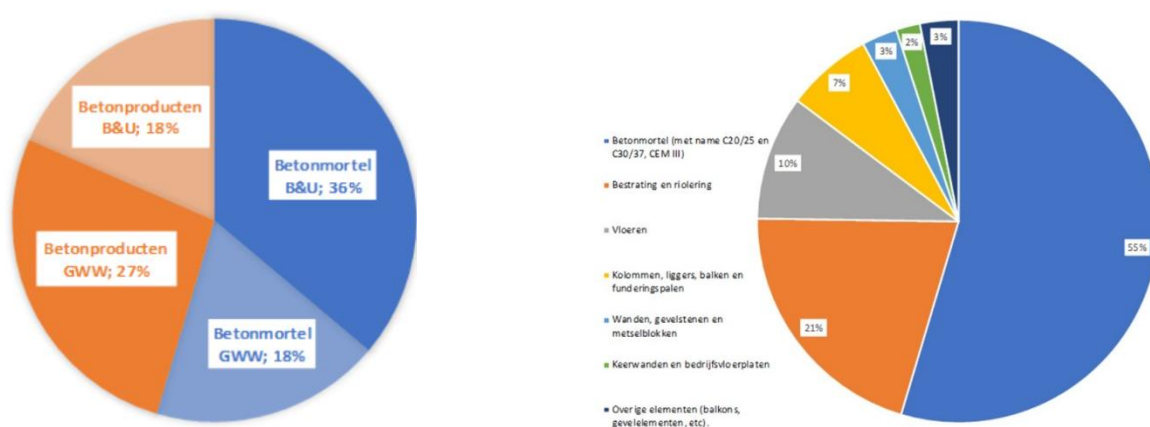
3.4 Volumeverdeling tussen categorieën

Zoals gezegd is beton veelzijdig, robuust, relatief goedkoop en veruit het meest gebruikte bouw materiaal. Het volume beton dat jaarlijks geproduceerd wordt ligt wereldwijd in de ordegrootte van 1 m³ per persoon. In Nederland ligt het volume iets lager met 0,75 m³ per persoon.

Beton wordt geproduceerd als in het werk gestort beton (betonmortel / transportbeton) of in geprefabriceerde elementen (betonproducten).

Onderstaande diagrammen geven inzicht in de hoeveelheid beton in Nederland (peiljaar 2017) en in de verdeling per sector (B&U - GWW) en in de verhouding tussen in het werk gestort beton en (geprefabriceerde) betonproducten. Het rechter diagram geeft een verdere onderverdeling per productgroep waarin beton wordt toegepast. Het volumeaandeel (geprefabriceerde) GWW betonproducten bestaat voor een aanzienlijk deel uit bestrating en betonproducten voor riolering.

Op basis van deze getallen is ingeschat dat een globale volume verdeling van beton naar de eerder genoemde expositieomstandigheden gelijkmatig verdeeld is: elke klasse omvat ongeveer een kwart van het totale betonvolume.



Figuur 1 Betonverbruik in 2017: 13 miljoen m³ [Betonhuis]

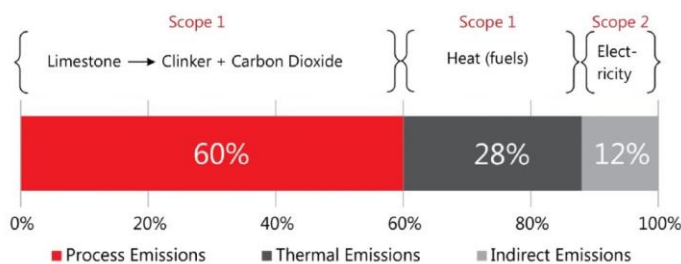
3.5 De milieupact van beton

De impact van beton op het milieu is behoorlijk groot, vooral omdat het veel wordt gebruikt. Daarnaast heeft beton een aanzienlijke ecologische en CO₂ voetafdruk.

3.5.1 CO₂ voetafdruk

De CO₂ impact van het materiaal beton wordt voor ca. 80% veroorzaakt door de productie van portlandklinker. De overige uitstoot, ca. 20%, wordt veroorzaakt door winning en transport van de andere grondstoffen (zand, grind, vulstoffen en additieven), en door transport van het beton.

Portlandklinker (de grondstof voor portlandcement) wordt verkregen door gemalen kalksteen te verhitten zodat het “uiteenvalt” in calciumoxide (CaO) en koolstofdioxide (CO₂). Per ton kalksteen ontstaat ca. 440 kg CO₂. Dit gebeurt bij hoge temperatuur en kost dus veel energie. Vooralsnog is deze energie niet volledig groen met als gevolg extra CO₂ uitstoot.



Figuur 2 Impact Portlandcement

Portlandklinker is het basis-ingrediënt van cement. Het type cement en daarmee de hoeveelheid portlandklinker heeft invloed op de CO₂ impact van het beton. Zo is in het veelgebruikte hoogovencement een deel van de portlandklinker (tot ca. 70%) vervangen door gegranuleerde hoogovenslakken (bijproduct van ijzerindustrie) en daarna gemalen. Hierdoor is de CO₂ impact van hoogovencement aanzienlijk lager dan van portlandcement.

3.5.2 (Her)gebruik primaire materialen

Naast de CO₂ die vrijkomt bij productie en gebruik van beton heeft ook de winning van de grondstoffen impact op het klimaat, het landschap en de natuur. In Nederland is de winning van grind nagenoeg gestopt en wereldwijd staat de winning van zand onder druk. Daarom zijn hergebruik van betonelementen en hoogwaardige recycling nodig om de behoefte aan primaire grondstoffen te beperken en kunnen we stappen zetten richting de zogeheten Circulaire Economie.

4 Verduurzaming van beton

4.1 Betonakkoord en doelstellingen

In 2018 is het Betonakkoord gesloten om de betonsector te verduurzamen. Het Betonakkoord streeft nu naar tenminste 70% CO₂ reductie in 2030 en zo mogelijk klimaatneutraal. Daarnaast moet in 2030 100% van al het herbruikbaar beton circulair worden gesloopt en zo hoogwaardig mogelijk hergebruikt (in volgorde van prioriteit: levensduurverlenging, hergebruik betonelementen en hoogwaardige recycling).

Daarnaast worden door slim, adaptief en circulair te ontwerpen en bouwen zo min mogelijk grondstoffen gebruikt, het hergebruik van betonelementen geoptimaliseerd en CO₂ uitstoot gereduceerd.

In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de wijze waarop aan de doelstellingen van het Betonakkoord invulling wordt gegeven.

4.2 CO₂ reductie

4.2.1 Handelingsperspectieven Betonakkoord

Om de CO₂ reductie te realiseren zijn in 2020 handelingsperspectieven in kaart gebracht (figuur 3). Deze zijn grofweg onder te verdelen in: minder beton gebruiken, minder cement gebruiken en minder portlandklinker gebruiken.

Handelingsperspectieven Betonakkoord, 26 november 2020

R-ladder	Handelingsperspectief	Bouwwaarde model		Functioneel niveau	initiatief ligt bij:	Doel	Objective
1. Refuse	Herbestemmen & Renoveren (transitie)	pre-use	project planning	functie	Opdrachtgever	minder nieuwbouw	less (new) construction
1. Refuse	Levensduur verlenging bestaande gww bouw	use	project planning	functie	Opdrachtgever	minder nieuwbouw	longer service life
1. Refuse	Reparatie & versterking > 20 jaar levensduur	use	project planning	functie	Opdrachtgever	minder nieuwbouw	longer service life
1. Refuse	Levensduurverlenging bestaande constructies met herbeoordeling en monitoring	use	project planning	functie	Opdrachtgever	minder nieuwbouw	longer service life
2. Reduce	Korrelpakking	pre-use	materiaal keuze	product	Beton leverancier	minder cement in beton	less cement in concrete
2. Reduce	Belietement	pre-use	materiaal keuze	materiaal	Cement Producent	minder CO2 bij klinker productie	lower CO2 at cement production
2. Reduce	Solidia en andere alternatieven	pre-use	materiaal keuze	materiaal	Cement Producent	minder CO2 bij klinker productie	lower CO2 at cement production
2. Reduce	Klinkervervanging	pre-use	materiaal keuze	product	Beton leverancier	minder klinker in cement	less clinker in cement
2. Reduce	Slimmere bouwplanning	pre-use	bouw proces	proces	Aannemer	minder cement in beton	less cement in concrete
2. Reduce	Versnellers	pre-use	materiaal keuze	product	Beton leverancier	minder cement in beton	less cement in concrete
2. Reduce	Energiereductie in staalindustrie	pre-use	materiaal keuze	product	Steel Producer	minder CO2 in de bouw	lower energy consumption
2. Reduce	Energiereductie in beton industrie	pre-use	bouw proces	proces	Beton leverancier	minder CO2 in de bouw	lower energy consumption
2. Reduce	Beschikbaarheid Hoogovenslak	re-use	materiaal keuze	materiaal	Cement Producent	minder klinker in cement	less clinker in cement
2. Reduce	Precisie beton (topologisch ontwerpen)	pre-use	technisch ontwerp	product	Ontwerper/constructeur	minder cement in beton	less cement in concrete
2. Reduce	3 D printen	pre-use	technisch ontwerp	proces	Ontwerper/constructeur	minder beton in de bouw	less concrete in construction
2. Reduce	Alternatieve wapening	pre-use	materiaal keuze	product	Ontwerper/constructeur	minder staal in beton	less steel in concrete
2. Reduce	Hogere eindsterkte	pre-use	bouw proces	product	Aannemer	minder cement in beton	less cement in concrete
2. Reduce	Oversterkte gebruiken	pre-use	technisch ontwerp	proces	Ontwerper/constructeur	minder beton in de bouw	less concrete in construction
2. Reduce	Gecalciëerde klei	pre-use	materiaal keuze	materiaal	Cement Producent	minder klinker in cement	less clinker in cement
2. Reduce	Carbstone	re-use	materiaal keuze	product	Beton leverancier	minder cement in beton	less cement in concrete
2. Reduce	Transport leverketen	pre-use	bouw proces	proces	Beton leverancier	minder CO2 in de bouw	lower energy consumption
3. Redesign	Demonteren voor hergebruik	pre-use	technisch ontwerp	proces	Ontwerper/constructeur	minder nieuwbouw	less (new) construction
5. Repair	Zelf helend beton	use	gebruiksfase	functie	Opdrachtgever	minder nieuwbouw	less (new) construction
6. Refurbish	Hergebruik elementen	re-use	project planning	functie	Opdrachtgever	minder nieuwbouw	longer service life
7. Re-manufacture	Circulair slopen	re-use	materiaal keuze	materiaal	Opdrachtgever	minder nieuwbouw	less (new) construction
8. Re-purpose	Energiereductie in gebruiksfase	use	technisch ontwerp	functie	Opdrachtgever	minder CO2 in de gebruiksfase	lower energy consumption
9. Recycle	Geopolymeer bindmiddel	re-use	materiaal keuze	materiaal	Beton leverancier	minder klinker in cement	less clinker in cement
9. Recycle	Cementsteen recycling	re-use	materiaal keuze	product	Beton leverancier	minder cement in beton	less cement in concrete
9. Recycle	Bodemass (reactieve vulstof)	pre-use	materiaal keuze	materiaal	Cement Producent	minder klinker in cement	less clinker in cement
9. Recycle	Beschikbaarheid vliegias	re-use	materiaal keuze	materiaal	Cement Producent	minder klinker in cement	less clinker in cement
10. Recover	CO2 afvang bij cementproductie	disposal	storten	materiaal	Cement Producent	minder CO2 bij klinker productie	lower CO2 at cement production

Figuur 3 Handelingsperspectieven Betonakkoord

4.2.1.1 Minder beton gebruiken

Door minder beton te gebruiken wordt de milieuimpact verkleind. Dit kan bijvoorbeeld door gebruik te maken van levensduur verlengende maatregelen, slanker te ontwerpen, betonelementen een tweede leven te geven of materialen te kiezen met een kleinere milieuimpact.

Deze aspecten zijn ontwerp gerelateerd en daarom niet beschouwd in het kader van dit document.

4.2.1.2 *Minder cement in beton*

Cement in beton bepaalt veruit het grootste deel van de milieupact. Door minder cement te gebruiken wordt de milieupact kleiner. Met zogenoemde ‘good housekeeping maatregelen’ kunnen hier flinke stappen worden gezet. Voorbeelden zijn:

Langer bekisten

Door beton langer in de bekisting te laten verharderen kan in veel gevallen met minder cement worden volstaan. Specifiek voor prefab beton geldt dat, omdat het geconditioneerd in de fabriek geproduceerd wordt, efficiënter en economischer kan worden ontworpen. Anderzijds wordt er, ook vanuit efficiëntie en korte productiecycli, nu nog vaak een toeslag aan cement en klinker toegepast.

Verwarmen

Het chemische reactieproces van beton vraagt een initiële warmte om op gang te komen en verloopt sneller bij hogere temperatuur. Dit betekent dat in de zomer en winter verschillende mengselverhoudingen worden toegepast. Door toevoegen van warmte aan beton in de winter kan minder cement gebruikt worden.

Plastificeren

Het verhogen van de verwerkbaarheid van beton door plastificeerders toe te voegen, waardoor minder water en daardoor ook minder cement nodig is.

Benutten doorgaande sterkte-ontwikkeling

Beton blijft na 28 dagen - het standaard moment waarop de druksterkte wordt vastgesteld - vaak nog maandenlang - en soms zelfs jaren - sterker worden. Door deze eigenschap beter te benutten, kan er slanker en duurzamer worden ontworpen, met minder materiaal en minder cement als resultaat.

Verbeteren van de korrelpakking

De korrelopbouw van het toeslagmateriaal heeft invloed op de hoeveelheid cement die benodigd is om een goed verwerkbaar beton te maken. Verbetering van de korrelpakking (resultierend in minder op te vullen ruimte door cement) leidt tot een verlaging van het benodigde cementgehalte.

4.2.1.3 *Minder portlandklinker in cement*

De CO₂ impact van beton wordt voor ca. 80% veroorzaakt door de productie van portlandklinker, het basis-ingrediënt van cement. Door wijzigingen in de keuze van het cement kunnen flinke stappen gemaakt worden in de verlaging van de milieupact. Hierbij geldt: hoe lager het klinkergehalte in het cement, hoe lager de milieupact van beton.

Hierbij kijken we in eerste instantie naar bekende cementen. Vervanging van portlandcement CEM I (op basis van portlandklinker) door hoogovencement CEM III of door een mengsel van portlandcement met gemalen hoogovenslak zorgt voor een aanzienlijke verlaging van de milieupact. Het is niet altijd direct mogelijk om hoogovencement CEM III/B met een hoog slakpercentage (klinkergehalte 20-34%) te gebruiken.

Wanneer we rekening houden met toegelaten cementsoorten volgens NEN-EN 197-1/-5/-6, verbreedt het grondstoffen pakket. In Duitsland zijn er diverse CEM II bindmiddelen beschikbaar. België en Frankrijk kennen CEM II tot en met CEM VI. De combinatie van verschillende alternatieve bindmiddelen, in combinatie met een goed reagerende klinker, is breed toepasbaar in Nederland met een relatief kort CUR aanbeveling 48 traject voor attestering.

Cement op basis van portlandcementklinker zal een dominante factor blijven tot zeker 2030. Daarom is het van cruciaal belang om de portlandcementklinker gedeeltelijk te blijven vervangen door geschikte puzzolane of latent-hydraulische materialen (Supplementary Cementitious Materials, SCM's) om de CO₂ uitstoot laag te houden. Naast gegranuleerde hoogovenslak en poederkoolvliegias zijn er alternatieve

SCM's zoals gemalen kalksteen, gecalcineerde klei, biomassa-vliegas, glasafval, bodemas van verbrandingsovens, lavameel, enz.

SCM's (anders dan hoogovenslak) zijn nu niet meegenomen in de plafondwaarden, maar in de nabije toekomst kan dit mogelijk wel.

Op dit moment wordt er een alternatief voor de reguliere portlandcementklinker gecertificeerd. Dit is calcium sulfoaluminaat en varianten daarop. Toepassing van nieuwe cementsoorten, zoals beliet-calcium sulfoaluminaat-ternesiet (BCT), calciumsulfoaluminaatcement (CSA) of calcinatie-verhard cement zijn niet meegenomen in de plafondwaarden.

Geopolymeer is momenteel nog niet beschikbaar als alternatief voor een breed toepaste betonmortel en daarom niet meegenomen in de plafondwaarden. Er zijn zeker specifieke producten waarbij een geopolymeer een meerwaarde kan zijn met een relatief lage emissie. De verwachting is dat er op den duur een breder genormeerd kader zal komen voor geopolymeer beton.

4.2.2 Milieuimpact uitgedrukt in MKI

Alle processen in de betonketen hebben op de één of andere manier impact op het milieu. Voor het bepalen van die impact is de Levens Cyclus Analyse (LCA) methodiek vastgesteld, waarbij de milieuimpact wordt uitgedrukt in een milieukosten indicator (MKI).

De leverancier is verantwoordelijk voor het opstellen van de LCA van zijn product. Hij kan dit laten uitvoeren door een LCA-expert of zelf uitvoeren met behulp van een tool. De ontwerptool Groen beton van Betonhuis is speciaal ontwikkeld voor beton en betonproducten. Daarnaast zijn er generieke LCA-tools, zoals ReThink en Mobius die gebruikt kunnen worden om het milieuprofiel van het beton vast te stellen.

Het is niet nodig dat het milieuprofiel van het beton(product) wordt ingevoerd in de Nationale Milieu Database (NMD). Ook een EPD, zoals de MRPI-EPD, is niet nodig. Wel moet de LCA gevalideerd worden. Dit is de zogenaamde third party review die wordt uitgevoerd door een erkende LCA-reviewer. Deze reviewers zijn te vinden op de website van de NMD.

In de volgende paragrafen wordt toegelicht hoe deze systematiek werkt en hoe hiermee is omgegaan voor het eenduidig vaststellen van koploper- en plafondwaarden voor het materiaal beton.

N.B. Een wijziging ten opzichte van eerdere versies van MKI waarden is dat de focus op het materiaal beton ligt. De invloed van wapening wordt niet beschouwd. De hoeveelheid wapening wordt namelijk bepaald door het ontwerp (o.a. overspanning, belasting, etc.) en daar heeft de betonproducent meestal geen invloed op. De milieuimpact van de wapening komt wel terug in de berekening van de totale MKI op objectniveau (GWW projecten) en de MPG (B&U projecten).

4.2.3 MKI systematiek

MKI-waarden worden berekend volgens de Bepalingsmethode milieuprestaties bouwwerken van de Stichting NMD. Deze methode is een Nederlandse uitwerking van de Europese LCA-norm voor bouwproducten, EN 15804. In de LCA worden milieu-indicatoren berekend (CO₂-emissie, humane toxiciteit, verzuring, vermesting, etc.). Uit deze milieu-indicatoren wordt door weging de milieukostenindicator MKI berekend.

De milieuprofielen van de cementen die worden gebruikt in de LCA-berekening van het beton, moeten op termijn voldoen aan de aanvullende regels voor cement, de NL-PCR cement. In de NL-PCR cement worden standaard waarden en specifieke rekenregels gegeven voor de LCA-berekening van cementen. De milieuprofielen van de cementen die in de toekomst in de berekening van het beton gebruikt worden, moeten hieraan voldoen. In de loop van dit jaar verschijnt de PCR beton. Deze bevat

aanvullende regels over het berekenen van de LCA van beton en betonproducten. Met de PCR cement en PCR beton is in vastgestelde plafond- en koploperwaarden nog geen rekening gehouden. Wanneer de PCR cement en PCR beton definitief in de markt worden toegepast zullen de plafond- en koploperwaarden hierop worden aangepast.

4.2.4 Ontwikkelingen op het gebied van MKI

In de huidige berekeningswijze van de MKI worden 11 milieu-indicatoren uit de zogenaamde set 1 parameters betrokken. Deze zijn afkomstig uit de EN 15804/A1 norm. In de opvolger van deze Europese norm zijn de milieu-indicatoren vernieuwd en uitgebreid. Dit zijn de set 2 parameters uit de EN 15804/A2. Deze nieuwe set sluit beter aan bij wat in de rest van Europa gebruikt wordt. Al enige tijd moeten beide sets indicatoren worden berekend en aangeleverd aan de NMD bij opname van een milieuprofiel in de NMD. De verwachting is dat Nederland per 1 januari 2026 overgaat op de set 2 parameters. Hierbij hoort dan ook een nieuwe MKI met een andere weging van de individuele milieu-indicatoren.

Onder de nieuwe CPR (Bouwproductenverordening) die vanaf begin 2026 van kracht wordt, moet een producent de milieu informatie van zijn product vermelden in de prestatieverklaring van zijn product. De eerste bouwproducten waarvoor deze verplichting gaat gelden zijn prefab betonproducten. Begin 2026 moet de geharmoniseerde productnorm voor prefab beton gereed zijn, waarin deze eisen zijn opgenomen. Momenteel wordt gewerkt aan een overgangsregeling zodat producenten dit niet per januari 2026 geregeld hoeven te hebben, maar hier één of twee jaar uitstel voor krijgen. Het is wel zo, dat als een producent de milieu-informatie van het betonproduct in de prestatieverklaring heeft vermeld, deze informatie geaccepteerd moet worden. De milieu-informatie valt onder het zogenaamde AVCP-niveau 3+ in de CPR. Dit betekent dat de informatie gevalideerd moet zijn door een notified body. Notified bodies voor dit onderwerp zullen in Nederland worden aangewezen door de minister op advies van de Stichting NMD.

4.3 Doelstelling circulaire economie

Zoals beschreven in het Bouwwaardenmodel levert het in stand houden van een betonconstructie door beheer, onderhoud en herbestemming het meeste waarde behoud. Mocht in stand houden geen mogelijkheid meer zijn dan is het demonteren van onderdelen voor hergebruik de meest optimale oplossing. Bij betonwaren is dit al heel gebruikelijk in de vorm van bijvoorbeeld hergebruik van betonnen straatstenen en rijplaten. En ook bij prefab onderdelen zoals brugliggers, kanaalplaten en gevelelementen wordt al hergebruik toegepast. Opschalen van dergelijk hergebruik en ontwikkeling van acceptatiemethoden voor dergelijke producten is van groot belang.

Dit aspect valt echter buiten de scope van deze rapportage die zich richt op impact van nieuw beton op relatief korte/middellange termijn (2030).

Wanneer herbestemming en hergebruik niet mogelijk zijn streeft het Betonakkoord naar hoogwaardige recycling van alle sloopbeton tot nieuw beton. Met hoogwaardige recycling kan sloopbeton nagenoeg terug gebracht worden tot de oorspronkelijke grondstoffen, grind, zand en betonfines (poeder). Voor hergebruik van betongranulaat en brekerzand bestaan al enkele normen en richtlijnen en aan een aanbeveling voor hergebruik van betonfines wordt gewerkt. Op dit moment vindt minder dan 15% van het volume sloopbeton (10 - 15 miljoen ton per jaar) de weg terug naar de productie van nieuw beton (12 tot 14 miljoen m³ per jaar). Gemiddeld zou nieuw beton voor circa een derde deel uit sloopbeton kunnen bestaan. In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de mate waarin secundaire grondstoffen kunnen worden toegepast in nieuw beton.

5 Plafond- en koploperwaarden milieupact

Om invulling te geven aan de doelstelling van het Betonakkoord met betrekking tot het verminderen van de milieupact van beton worden plafond- en koploperwaarden voor de milieupact van beton(producten) gesteld. Deze plafond- en koploperwaarden zijn vastgesteld op basis van wat er nu al kan en wordt gerealiseerd. Daarbij worden plafondwaarden aangehouden voor wat het peloton zou moeten kunnen met beperkte impact op productieprocessen en zijn koploperwaarden nu al technisch haalbaar.

5.1 Impact van beton als onderdeel van product

De MKI betreft de levenscyclus van een product van grondstoffen tot aan sloop, onderverdeeld in fasen. Voor de plafond- en koploperwaarden wordt de MKI uitsluitend berekend over de levenscyclusfasen A1 t/m A3 (vanaf winning van grondstoffen tot de poort van de fabriek (betonproducten) of de betoncentrale (in situ beton)). Bij de berekening wordt het wapeningsstaal in beton buiten beschouwing gelaten. De hulpmaterialen voor de productie en de gebruikte energie worden wel meegenomen in de LCA.

De koploper- en plafondwaarden, gebaseerd op de referentiemengsels, betreffen dus de impact tot het beton uit de menger van de betoncentrale gelost wordt in de truckmixer, klaar voor transport voor toepassing in situ op de bouw, of de impact van het beton tot verwerking in een prefab betonproduct, klaar voor transport voor montage op de bouw.

De impact van de betonsamenstelling is ook hetgeen waarop de betoncentrale en de betonfabriek het meeste invloed uit kunnen oefenen. Tevens vormt het beton het overgrote deel van de totale impact. De afstand tot een bouwplaats, of beton uit de goot of met een betonpomp verwerkt wordt en de hoeveelheid wapening die moet worden toegepast, valt in het algemeen buiten de invloedssfeer van degene die het beton samenstelt.

Er is ervoor gekozen om de impact uit te drukken in MKI per m³ beton en daarmee voor een uniforme benadering van de toegepaste mengsels. Derhalve zullen de ontwerpoptimalisaties (slank ontwerp, meer/minder wapening, andere typen producten) tot uitdrukking komen in de totale MKI of MPG van een project. Deze methodiek leent zich dan ook prima om binnen dezelfde toepassing/product nadere eisen te stellen aan de MKI van het betonmengsel. Dit gezegd hebbende, leent deze methodiek zich er niet voor om op basis van de milieupact van het betonmengsel een toepassing/methodiek te selecteren. Hiervoor moet de totale MKI of MPG van het project worden gebruikt.

De wapening in beton kan een significant onderdeel van de impact van een betonproduct uitmaken. Onder andere de belasting en de lengte van een overspanning is in sterke mate bepalend voor de hoeveelheid wapening. Dit zijn ontwerpaspecten waar de betonproducent meestal nagenoeg geen invloed op heeft. Door te sturen op de betonsamenstelling wordt de beton(product)producent gestimuleerd om de betonsamenstelling te verduurzamen. Ook zal, wanneer wapening wordt meegenomen, de methodiek veel complexer worden, omdat ieder product zijn eigen wapeningshoeveelheden heeft.

Het verduurzamen van transport van beton (levenscyclusfase A4), zowel in geval van een truckmixer bij transportbeton als op een oplegger bij prefab beton is ook een belangrijk onderwerp, maar wordt op andere wijzen reeds gestimuleerd. Te denken valt aan gebruik van HVO brandstof of elektrificatie van transport.

De milieupact van transport en verwerking van beton en wapening op de bouwplaats maakt onderdeel uit van de totale MKI of MPG van een project. Hiervoor gelden steeds striktere eisen.

5.2 Referentiemengsels plafond- en koploperwaarden

Omdat de milieuimpact van beton in sterke mate wordt bepaald door de hoeveelheid en het type cement heeft de commissie gekozen voor een methodiek om het cementgehalte en het klinkergehalte van cement te beperken. Onderliggende gedachten hierbij zijn:

- Creëer transparantie en éénvoudigheid
- Baseer de plafondwaarden op realistische cementgehaltenes
- Kies voor eenvoud boven compleetheit (beperk het aantal uitzonderingen)
- Creëer ruimte voor good housekeeping maatregelen, zoals:
 - o kleinere korreldiameter zonder toeslag bij lagere verwerkbaarheid (16 mm S2 & 8 mm C1)
 - o (super)plastificeerders voor lagere cementgehaltenes

De methodiek moet recht doen aan de diversiteit van toepassingen van het materiaal beton. Daarom zijn de omstandigheden waarin het materiaal beton wordt toegepast (de expositie) als startpunt gehanteerd. Hiervoor zijn vier expositiecategorieën vastgesteld (zie ook par. 3.3):

- *Ongewapend*: beton in betonproducten en -constructies zonder constructieve wapening.
- *Binnen*: beton in gewapende en/of voorgespannen constructies in binnencondities (beschermd tegen weer en wind).
- *Buiten*: beton in gewapende en/of voorgespannen betonconstructies in buitencondities (weer en wind) en in de grond.
- *Agressief*: beton in gewapende en/of voorgespannen betonconstructies blootgesteld aan zeewater (frequent), direct met dooizout bestrooid en/of blootgesteld aan chemisch agressief milieu (rioolwater, mest).

Om te komen tot concrete plafond- en koploperwaarden is gebruik gemaakt van indicatieve mengselontwerpen per categorie, waarin is gevarieerd in cementgehalte. Voor de bepaling van het cementgehalte is uitgegaan van een als haalbaar gezien cementgehalte.

Tabel 1 Referentie cementgehalten per expositiecategorie

Categorie (expositie)	water-cementfactor	waterbehoefte [l/m ³]	referentie cementgehalte [kg/m ³]
Ongewapend	0,60	175	295
Binnen	0,55	175	320
Buiten	0,50	175	350
Agressief	0,45	175	390

Tabel 2 Ontwikkeling klinkergehalte t.b.v. plafond- en koploperwaarden

Jaar	referentie klinkergehalte [%]	
	plafondwaarde	koploperwaarde
2025	55	35
2026	50	32,5
2027	45	30

Voor de cementgehaltenes is uitgegaan van een vaste waterbehoefte, die gebaseerd is op de tabel uit de Betonpocket (figuur 4). De reden om hiervoor te kiezen is de transparantie en éénvoudigheid, wat gezien de ontwikkelingen op MKI gebied (zie 4.2.4.) aanpassingen in plafond- en koploperwaarden traceerbaar en goed uitvoerbaar maakt.

Voor de bepaling van het cementgehalte is uitgegaan van een watercementfactor per categorie van expositie en een waterbehoefte. Voor de waterbehoefte is uitgegaan van consistentie plastisch, korreldiameter 31,5 mm en ontwerpgebied I, zie tabel in Figuur 4. Dit is een redelijke bovengrens, met ruimte voor good housekeeping maatregelen.

4.9.4 Waterbehoefte

Richtwaarden voor de effectieve waterbehoefte van betonspecie (l/m³)

Grootste zeefmaat (mm)	8		11,2		16		22,4		31,5	
Ontwerpgebied	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Consistentie										
Aardvochtig (zetmaat ≤ 40 mm, verdichtingsmaat 1,26)	165	185	160	180	155	175	150	170	145	165
Half plastisch (zetmaat 50 t/m 90 mm)	180	200	175	195	170	190	165	185	160	180
Plastisch (zetmaat 100 t/m 150 mm)	195	215	190	210	185	205	180	200	175	195

Figuur 4 Richtwaarden waterbehoefte betonspecie (Betonpocket)

Dit resulteert in de referentie cementgehalten per categorie zoals aangegeven in tabel 1.

Bij de keuze van het referentie klinkergehalte is onderscheid gemaakt tussen plafond- en koploperwaarden. Voor de *plafond*waarden is uitgegaan van een referentie klinkergehalte van 55% (toepassing van CEM III/A met klinkergehalte 35-64%). Voor de *koploper*waarden is uitgegaan van een referentie klinkergehalte van 35% (toepassing CEM III/B met klinkergehalte 20-35%). Door verdere verlaging van het klinkergehalte in de toekomst kunnen de plafond- en koploperwaarden nog dalen. Deze verlaging is onafhankelijk van de expositie (zie tabel 2).

Dat betekent niet dat deze oplossingsrichting (verlaging van klinkergehalte) automatisch gekozen moet worden, maar dit geeft wel richting en inzicht in haalbaarheid. De zogenaamde 'good housekeeping maatregelen' kunnen namelijk ook worden ingezet (zie 4.2.1.2).

5.3 Tabellen met plafond- en koploperwaarden

Op basis van de in 5.2 beschreven referentiemengsels is met de Ontwerptool Groen Beton V7 van Betonhuis de milieuimpact bepaald. Deze berekende waarden zijn, conform voorgaande paragrafen, bepaald op basis van de LCA A1 set onderdelen A1 t/m A3 zonder gebruik van de PCR cement en PCR beton. Onderstaande tabellen geven de berekende MKI en CO₂ impactwaarden, waarbij het jaartal in de tabel refereert naar het moment van produceren van het beton.

Tabel 3 MKI plafond- en koploperwaarden in €/m³ beton (LCA A1 set A1 t/m A3)

Categorie (expositie)	plafondwaarde			koploperwaarde		
	2025	2026	2027	2025	2026	2027
Ongewapend	10,2	9,5	8,8	7,4	7,1	6,7
Binnen	10,8	10,1	9,4	7,9	7,5	7,2
Buiten	11,7	10,9	10,1	8,4	8,0	7,6
Agressief	12,8	11,9	11,0	9,2	8,8	8,3

Tabel 4 CO₂ impact plafond- en koploperwaarden in kg/m³ beton (LCA A1 set A1 t/m A3)

Categorie (expositie)	plafondwaarde			koploperwaarde		
	2025	2026	2027	2025	2026	2027
Ongewapend	157	145	133	109	103	97
Binnen	169	156	143	117	111	104
Buiten	183	169	155	126	119	112
Agressief	202	186	171	139	131	123

Gebruik van grondstoffen uit betonrecycling is niet meegenomen bij de bepaling van de impactwaarden. In situaties waarin de betonrecycling op korte afstand van de betonproducent plaatsvindt kan dit een reductie in MKI of CO₂ impact opleveren, maar dit is niet altijd het geval.

5.4 Aanpassingen referentiemengsels

Ontwerpuitgangspunten en de wijze van uitvoering kunnen invloed hebben op het cementgehalte en de betonsamenstelling. Voorbeelden van randvoorwaarden uit het ontwerp zijn:

- **Sterkteklasse** (incl. voorspanning)
- *Maximale korreldiameter*
- *CUR 100 Schoon beton*
- *Massabeton*
- *Staalvezelbeton*

Uitvoering gerelateerde randvoorwaarden zijn:

- **Prefab**
- **Wintercondities**
- *Monoliet afwerken*

Aan de *cursief* gedrukte randvoorwaarden kan met de referentiemengsels goed worden voldaan. Voor de **vet** gedrukte randvoorwaarden zijn plafond- en/of koploperwaarden aangepast. Dit wordt hierna toegelicht.

5.4.1 Sterkteklasse

Een hogere sterkteklasse leidt tot een lagere water-cementfactor. Bij gelijke waterbehoefte is in dat geval een hoger cementgehalte nodig.

Tabel 5 Referentiemengsels met indicatieve sterkteklasse voor lineaire interpolatie

Categorie (expositie)	referentie sterkteklasse	water-cementfactor	Waterbehoefte [l/m ³]	referentie cementgehalte [kg/m ³]
Ongewapend	C20/25	0,60	175	295
Binnen	C25/30	0,55	175	320
Buiten	C30/37	0,50	175	350
Agressief	C30/37	0,45	175	390

Tabel 6 Aanpassing voor hogere sterkteklassen

Sterkteklasse in het ontwerp	water- cementfactor	maximale korreldiameter	waterbehoefte [l/m ³]	referentie klinkergehalte [%]	cementgehalte [kg]
C40/50	0,45	32	180		400
C55/67	0,45	16	190		425
C70/85	0,40	16	190	+10%	450

5.4.2 Prefab

Vanwege de productiecyclus van prefab betonproducten zijn snelle ontlastingstijden nodig. Daarom is een verhoging van het klinkergehalte gewenst. Met plafondwaarden kan binnen één etmaal worden ontlast. Door later te ontlasten en meer tijd te nemen voor de verharding kunnen de koploperwaarden worden gehaald. Opdrachtgevers zullen in dit geval rekening moeten houden met hogere kosten.

In onderstaande tabel is de referentie klinkerfactor weergegeven voor de berekende plafond- en koploperwaarden. Tussen haakjes is de opslag voor snel ontlasten van prefab beton weergegeven, welke is toegepast op ongewapend beton; deze ontlastingssterkte is ook voor alle andere betontypen aangehouden.

Tabel 7 Aanpassing klinkergehalte voor prefab

Jaar	referentie klinkergehalte [%]	
	plafondwaarde	koploperwaarde
2025	55 (+25)	35 (+25)
2026	50 (+20)	32,5 (+20)
2027	45 (+15)	30 (+15)

5.4.3 Wintercondities

Het chemische reactieproces van beton vraagt een initiële warmte om op gang te komen en verloopt langzamer bij lagere temperatuur. Om schade aan het beton door te langzame hydratatie bij lage temperaturen te voorkomen mag voor de koploperwaarden een hoger klinkergehalte worden aangehouden (geldt alleen voor in-situ beton).

Tabel 8 Aanpassing klinkergehalte voor wintercondities (etmaaltemperatuur < 5 °C)

Jaar	referentie klinkergehalte [%]	
	plafondwaarde	koploperwaarde
2025	55	35 + 10
2026	50	32,5 + 10
2027	45	30 + 10

Bovengenoemde uitzonderingen en aanvullingen zijn in tabel 9 vertaald in percentages waarmee de MKI waarden uit tabel 3 kunnen worden verhoogd. Indien er meerdere uitzonderingen en/of aanvullingen van toepassing zijn, moeten de genoemde percentages bij elkaar opgeteld worden. Voor een rekenvoorbeeld wordt verwezen naar hoofdstuk 8.

Tabel 9 Uitzonderingen en aanvullingen: toeslagpercentages CO₂/MKI-berekening

		Ongewapend	Binnen	Buiten	Agressief
Sterkteklasse*	C40/50	35%	25%	15%	5%
	C55/67	40%	30%	20%	10%
	C70/80	75%	60%	45%	35%
Toeslag prefab i.v.m. hogere impact A3 door productie dan transportbeton **	2025	15%	14%	13%	12%
	2026	10%	9%	9%	8%
	2027	7%	6%	5%	4%
Prefab snel ontlasten plafondwaarden. Koploperwaarde = 10%***	2025	40%	30%	20%	10%
	2026	25%	20%	15%	10%
	2027	10%	10%	10%	10%
Wintercondities (alleen koploperwaarden)****		25%	20%	15%	10%

* Interpoleren tussen sterkteklassen inclusief de referentie sterkteklasse in tabel 5 is toegestaan

*** Het proces van produceren van prefab elementen vergt meer energie dan het aanmaken van beton in een transportbeton centrale. Indien dit energiegebruik in de impactberekening is meegenomen, dan kan voor het prefab beton een hogere plafond- of koploperwaarde worden aangehouden.*

**** Niet te combineren met toeslag voor sterkteklasse (maatgevende toeslag mag worden toegepast)*

***** Alleen van toepassing op transportbeton, niet te combineren met toeslag voor sterkteklasse (maatgevende toeslag mag worden toegepast)*

6 Streefwaarden betonrecycling

Het Betonakkoord stuurt zowel op het stimuleren van de aanbod- als de vraagzijde van betongranulaat als grondstof voor nieuw beton. Medio 2025 ligt het percentage hergebruik nog onder 10% van het circa 15 Mton beschikbare sloopbeton. De ambitie is dat in 2030 alle sloopbeton terug in de betonketen wordt gebracht. Tabel 10 toont waarden die de basis vormen voor hetgeen in navolgend hoofdstuk is beschreven.

Tabel 10: Ambitie Betonakkoord: hergebruik en recycling

	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Aandeel vrijkomend betonpuin terug in beton	<15%	20%	30%	40%	50%	60%

Deze percentages moet worden waargemaakt door asseigenaren met slooprojecten. Circulair slopen is daarbij het devies. Daarnaast moet de kwaliteit van betongranulaat omhoog. Opdrachtgevers moeten sturen op hoogwaardige recycling. Door het produceren van betongranulaat van goede kwaliteit te stimuleren komt er ruimte om streefwaarden te geven voor het toepassen van granulaat in beton. Het is goed om te bedenken dat het één niet zonder het ander kan. Om deze kip-ei situatie te doorbreken zijn in tabel 11 streefwaarden genoemd voor het toepassen van gerecycled beton in nieuw beton.

Tabel 11: Streefwaarden beton recycling in % toeslagmateriaal (zand en grind)

Categorie (expositie)	streefwaarde			Limietwaarde*		
	2025	2026	2027	2025	2026	2027
Ongewapend	25%	25%	25%	35%	35%	35%
Binnen	15%	15%	15%	25%	25%	25%
Buiten	5%	5%	5%	15%	15%	15%
Agressief	0%	0%	0%	5%	5%	5%

* In aanvulling op de streefwaardes zijn er tevens limietwaardes. Dit zijn maximum vervangingswaarden om een negatieve prikkel te voorkomen op de kwaliteit van beton recycling materiaal om aan het gevraagde vervangingspercentage te kunnen voldoen. Met grondstoffen uit hoogwaardige recycling kunnen (nog) hogere percentages worden aangehouden.

De mate waarin gerecycled beton kan worden toegepast is afhankelijk van de kwaliteit ervan en van de blootstelling van de uiteindelijke betonconstructie. Ook kan gerecycled beton materiaaleigenschappen (zoals krimp) beïnvloeden. Onder andere de volgende normen en richtlijnen beschrijven in welke mate gerecyclede materialen in nieuw beton kunnen worden toegepast:

- NEN-EN 206-1
 - o Geeft informatieve tabel, waarin betongranulaat afhankelijk milieuklasse toegepast mag worden.
- NEN 8005
 - o 30% grof betongranulaat toepasbaar in alle beton indien kwaliteit A1
- CUR aanbeveling 100
 - o Staat geen betonrecycling materiaal toe bij schoon beton
- CUR aanbeveling 106
 - o Beton met fijne fracties uit recyclinggranulaten als fijn toeslagmateriaal

- CUR aanbeveling 112
 - o 50% grof betongranulaat toepasbaar in beton
 - o 100% grof betongranulaat toepasbaar in beton met aanpassingen in ontwerp
- CROW-CUR aanbeveling 127:2021
 - o Tot 100% grof betongranulaat en tot 60% fijn betongranulaat toepasbaar zonder aanpassingen in constructieve eigenschappen en impact op de levensduur, kwaliteit betonrecycling materiaal wordt uitgedrukt in waterabsorptie
- BRL 1801
 - o Beton geleverd onder CROW-CUR aanbeveling 127 niet mogelijk op prestatie eisen (alleen levering op samenstelling)

Wat opvalt is dat er op dit moment een veelvoud is aan normen en richtlijnen rond de toepassing van betonrecycling materialen in beton, die op sommige punten tegenstrijdig zouden kunnen zijn. Waar de norm een percentage van 30% toelaat ongeacht de waterabsorptie, geeft CROW-CUR aanbeveling 127 grenzen aan het percentage op basis van de waterabsorptie. Dit kan betekenen dat conform CROW-CUR aanbeveling een lager percentage dan de norm toegepast kan worden.

De achtergrond van de beperking conform CROW-CUR aanbeveling 127 ten aanzien van het vervangingspercentage is dat er, afhankelijk van de toepassing, zorgen bestaan over het effect op bijvoorbeeld de levensduur van beton. Bijvoorbeeld een betongranulaat - afkomstig uit een traditionele brekerinstallatie - van beton met milieuklasse XC1 kan een negatief effect hebben op de levensduur van een infrastructureel kunstwerk in milieuklasse XD3. Bij granulaat met kleine korrelafmeting of brekerzand is dit bezwaar weer nauwelijks aanwezig.

In tabel 11 is met voornoemde aspecten, maar ook met de huidige beschikbaarheid rekening gehouden. De tabel toont dan ook *streefwaarden* voor gebruik van beton recycling materialen als vervangingspercentage (m/m) van de totaal toe te passen hoeveelheid grind / zand / vulstof. Voor de komende jaren zijn de percentages constant.

Op dit moment is de markt volop in beweging rondom het onderwerp betonrecycling en hergebruik in beton. Ontwikkelingen ten aanzien van beschikbaarheid en kwaliteit van beton recycling materialen worden gevolgd.

Behalve betongranulaat kunnen er ook andere minerale reststoffen in beton gebruikt worden (zie tabel 12). In het navolgende wordt geen onderscheid gemaakt in de oorsprong van de betreffende materialen. Alle materialen die, in een tweede of volgende leven, binnen geldende normen en richtlijnen (waaronder ook CROW Richtlijn 2:2021) kunnen worden toegepast, maken onderdeel uit van de secundaire grondstoffen. Secundaire en industriële reststoffen maken geen onderdeel uit van het aandeel beton recycling.

Tabel 12 Secundaire grondstoffen voor beton

Beton recycling	Secundaire grondstof	Industriële reststoffen / overig
Betongranulaat	Spoor ballast	Hoogovenslak
Brekerzand	Thermisch gereinigd teerhoudend asfalt	Vliegas
Betonfines	Thermisch gereinigde grond	Staalslak
	AEC Bodemas	

Opdrachtgevers kunnen specifieke eisen stellen aan het type, de kwaliteit en de eigenschappen van de toe te passen secundaire en industriële grondstoffen.

7 Impact op de CO₂ reductie

Indien de plafondwaarden marktbreed worden ingevoerd kan de oorspronkelijke ambitie van het Betonakkoord (49% CO₂ reductie in 2030) al in 2027 zijn behaald. Met een verdere ontwikkeling richting marktbrede toepassing van koploperwaarden kan ook de bijgestelde ambitie van 70% CO₂ reductie in 2030 worden gerealiseerd. Deze conclusie wordt hierna toegelicht.

Uit de CO₂ roadmap van het Betonakkoord volgt dat in 2017 12,9 miljoen m³ beton werd verwerkt. De impact van het beton als materiaal bedroeg 2,632 Mton CO₂. Dit komt overeen met 204 kg CO₂/m³.

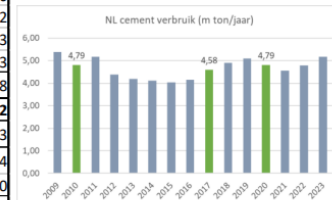
Volumes beton mortel en producten en CO₂ emissie in 2017

Gemiddelde CO ₂ uitstoot Nederlands beton 2017			Volume		CO ₂	CO ₂ emissie absoluut		
			Beton mortel	Beton Producten	specifiek	Beton mortel	Beton Producten	Beton totaal
					kg CO ₂ /kg product	kiloton CO ₂ /jaar		
Eenheid	Beton totaal		55%	45%				
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 bouwplaats	kg CO ₂ /m ³	A4	12	36		85	209	294
Bouwwerkzaamheden		A5						110
Demontage en hergebruik		C						363
Milieu baten recycling		D						-357

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

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

7

Het gebruik van CEM I in betonmortel zal, met de bepaalde plafondwaarden, niet volledig verdwijnen. Dit betreft namelijk in een deel van de gevallen een gedeeltelijke dosering in aanvulling op CEM III/B in koude periode (het 'kwartje C'). Een ander deel betreft het snelle ontkisten zonder verwarmen in de utiliteitsbouw (o.a. koud tunnels / druklagen op breedplaatvloeren). Methoden als koud tunnels zijn met plafondwaarden niet meer mogelijk, waardoor verondersteld wordt dat de helft van het CEM I gebruik omgezet zal worden naar CEM III/B. De reductie bedraagt dan $\frac{1}{2} \times (59 \times 7,095 (0,858 - 0,272)) = 123$ kiloton CO₂.

In het geval van prefab beton is nauwelijks sprake van het gebruik van CEM III/B beton. Met de bepaalde plafondwaarden zal vrijwel alle CEM I omgezet moeten worden naar CEM III/A. De reductie bedraagt dan $174 \times 5,805 (0,858 - 0,470) = 392$ kiloton CO₂.

De totale reductie door invoering van plafondwaarden bedraagt dan 515 kiloton CO₂. Dit is circa 20% reductie ten opzichte van 2017.

Bij de toepassing van koploperwaarden is er rekening mee gehouden dat alle beton omgezet wordt naar CEM III/B. De CO₂ reductie bedraagt dan 952 ton CO₂. Dit is circa 35% reductie ten opzichte van 2017.

Bij het voornoemde is er nog geen rekening mee gehouden dat de methode van plafondwaarden ook een maximum stelt aan het cementgebruik per kubieke meter beton. Daarmee kunnen de reductie percentages mogelijk op respectievelijk 25% en 40% uitkomen.

Een andere benadering om de potentiële CO₂ reductie te bepalen die kan worden gekozen is een vergelijk van de gemiddelde CO₂ impact in 2017 en die in de tabel met plafondwaarden. Het lijkt reëel om ervan uit te gaan dat het volume gebruikt beton in alle vier de expositie categorieën van de plafondwaarden min of meer gelijk zal zijn. De gemiddelde plafondwaarden bedragen dan:

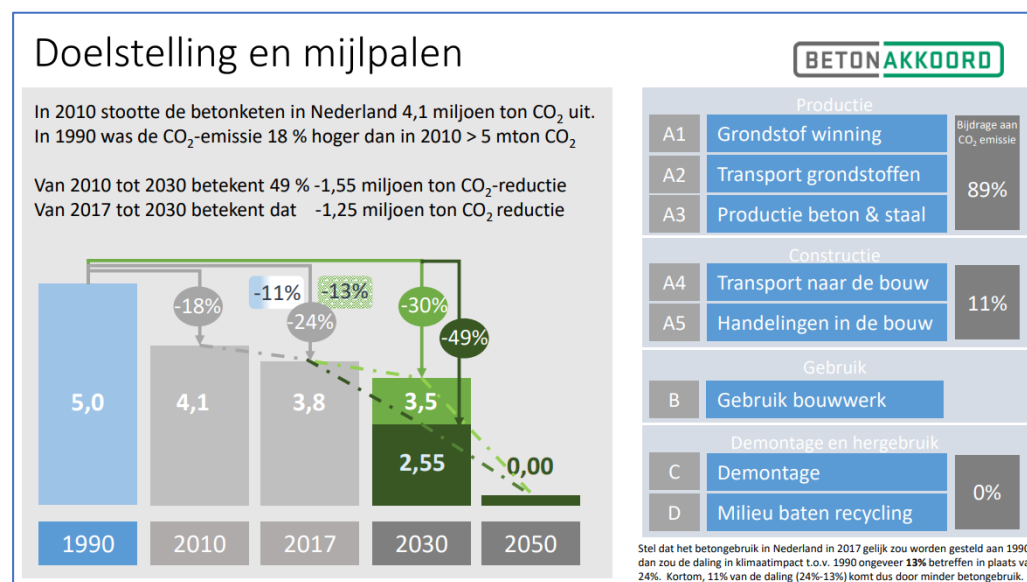
in 2025 178 kg CO₂/m³ → 13% reductie

in 2026 164 kg CO₂/m³ → 20% reductie

in 2027 150 kg CO₂/m³ → 25% reductie

Door de benoemde uitzonderingen, waarvoor wat meer impact wordt toegelaten, kan de CO₂ reductie in de praktijk, zeker in de eerste jaren, iets lager uitvallen dan voornoemd opgegeven.

Bedacht moet worden dat in 2017 al 24% CO₂ reductie was gerealiseerd ten opzichte van het referentiejaar 1990.



De oorspronkelijk ambitie van 49% CO₂ reductie kan met een marktbrede toepassing van plafondwaarden dus al in 2027 worden behaald. Met een verdere ontwikkeling richting marktbrede toepassing van koploperwaarden kan ook de bijgestelde ambitie van 70% CO₂ reductie in 2030 worden gerealiseerd.

8 Rekenvoorbeeld

Rekenvoorbeeld:

Bij een marktconsultatie in 2025 is een knelpunt vastgesteld voor prefab betonproducten met voorspanning en een hogere sterkte. Met de huidige productietechnieken zijn de plafondwaarden goed haalbaar, maar zelfs de koplopers in de prefab industrie zijn nog niet in staat de koploperwaarden te halen.

Om aan te tonen dat de voorgestelde koploperwaarde wel correct is, is aan de hand van een praktijkvoorbeeld een betontechnologische berekening uitgevoerd. Hierbij is er *geen* rekening gehouden met de gangbare praktijk dat binnen 18 uur de voorspanning wordt aangebracht vanwege de productiecycli. Er is alleen beoordeeld of de koploperwaarde is te halen met behulp van de huidige bindmiddel techniek.

Er wordt een mortel toegepast met een CEM III/B. De EPD van het praktijkvoorbeeld vermeldt een GWP van 284 kg CO₂/ton materiaal (A1 t/m A3). De water-cementfactor bedraagt 0,38. Met het cement is een beton gemaakt met onderstaande sterkte:

Resultaten

De resultaten van het onderzoek zijn als volgt:

monster-code	onderzoeks-datum (leeftijd dgn.)	hoogte	diameter	afwijking vlakheid*	bezwijklast	volumieke massa	druksterkte	afgeleide druksterkte**	bezwijkpatroon***
		mm	mm	mm	kN	kg/m ³	N/mm ²	N/mm ²	
Boven in	05-06-24 (61)	97,5	94,9	0*	563	2420	79,6	-	figuur 3
Onder in	05-06-24 (61)	96,6	95,1	0*	621	2370	87,4	-	figuur 3
Boven 1	05-06-24 (61)	99,1	94,9	0*	564	2330	79,9	-	figuur 3
Onder 1	05-06-24 (61)	97,9	94,8	0*	589	2370	83,4	-	figuur 3
Boven 2	05-06-24 (61)	96,5	94,9	0*	575	2360	81,2	-	figuur 3
Onder 2	05-06-24 (61)	94,4	94,8	0*	604	2420	85,6	-	figuur 3

Tabel 3: resultaten onderzoek druksterkte

*) na polijsten (indien van toepassing)

**) in overleg met de klant is de omrekening van de druksterkte uitgevoerd op basis van de hoogte-diameterverhouding volgens RBK 1.1 (27 mei 2013), deze omrekening valt buiten de accreditatie.

***) bezwijkpatroon conform NEN-EN 12390-3

Voor een kanaalplaat C55/67 met voorspanning in binnen condities is de basis koploperwaarde (2027) 104 kg CO₂ /m³. De toeslagen zijn: sterkte +30% en voor snel ontkisten 10%. Totaal 140%. De toegestane koploperwaarde is dan 104*1,40 = 146 kg/m³.

De minimale waterbehoefte voor kanaalplaatbeton consistentieklasse C1/C2 is: 155 liter. Er zijn optimalisaties mogelijk met superplastificeerders en korrelpakking. Deze zijn niet meegenomen.

De cementbehoefte wordt dus: 155/0,38 = 408 kg/m³ beton.

Dit komt neer op 408*.284 = 115 kg CO₂ /m³.

Uit LCA berekeningen blijkt dat er ca. 30 kg CO₂ voor zand en grind (inclusief transport) en voor cement transport resulteert. De extra impact van prefab productie is niet inbegrepen in deze berekening. Uit het rekenvoorbeeld blijkt dus dat het met 115+ 30 = 145 CO₂ kg/m³ mogelijk is om een geschikte betonmortel te maken.

Conclusie: voor een knelpuntproduct is het betontechnologisch mogelijk om de plafondwaarden te halen. Innovatieve bindmiddelen en CO₂ compensatie technieken maken in de toekomst nog lagere waarden mogelijk.

9 Conclusie

Beton is een veelzijdig materiaal dat in uiteenlopende omstandigheden kan worden toegepast en op verschillende wijzen met verschillende kwaliteit kan worden geproduceerd. De milieupact van het betonmengsel wordt grotendeels bepaald door het toegepaste cement - en dan vooral de hoeveelheid portlandklinker. Om de milieupact van het beton substantieel te verlagen is het dan ook raadzaam om de hoeveelheid (portland)cement te beheersen. Aanpassingen aan de bouw- en productiemethoden met beton kunnen hiervoor benodigd zijn.

Wanneer de in dit document vastgestelde plafond- en koploperwaarden voor beton breed worden toegepast kan de oorspronkelijke doelstelling van het Betonakkoord van 30% CO₂ reductie behaald worden en na het opschalen en toepassen van de hierna genoemde innovaties behoort ook de oorspronkelijke ambitie van 49% tot de mogelijkheden. Alternatieve bindmiddelen, en mogelijk geopolymeerbeton zijn technologieën die, al dan niet gezamenlijk, de potentie hebben om tot 70% CO₂ reductie in 2030 te bereiken ten opzichte van 1990.

Ten aanzien van de doelstelling met betrekking tot hergebruik en recycling van beton worden slechts streefwaarden opgegeven. Er moet rekening mee worden gehouden dat betongranulaat vooralsnog niet overal in grote mate beschikbaar is. En ondanks dat er richtlijnen zijn voor het gebruik van betongranulaat en andere secundaire grondstoffen, zijn er toepassingen waarvoor de invloed op kwaliteit, materiaaleigenschappen en levensduur onzeker is. Hoogwaardige betonrecycling kan hiervoor een oplossing bieden voor recycling van beton.

Met brede toepassing van plafondwaarden en in toenemende mate koploperwaarden die periodiek worden aangescherpt op de stand der techniek wordt de transitie naar een duurzame betonsector aangejaagd. Beton zal hiermee dan ook in de komende decennia als een veelgebruikt bouw materiaal een aanzienlijke bijdrage leveren aan de beperking van CO₂ uitstoot van de bouwsector.