



Cement & Beton
Centrum



Roadmap CO₂-reductie voor cement en beton in Nederland

November 2024

Inhoudsopgave

- 1** • Wat doet de cementindustrie aan CO₂-reductie?
- 2** • Waarom reduceert de industrie haar CO₂-emissies voor cement en beton?
- 3** • Hoe komt er CO₂ vrij bij de productie van cement?
- 4** • Welk cement gebruiken we in Nederland?
- 5** • Welke alternatieven zijn er voor cement?
- 6** • Hoe ziet de Nederlandse roadmap voor CO₂-reductie eruit?
- 7** • Wat betekenen de onderdelen van de roadmap?
- 8** • Wat zijn de randvoorwaarden die gelden voor deze roadmap?

1. Wat doet de cementindustrie aan CO₂-reductie?

Welke initiatieven zijn er om de CO₂-emissies van in Nederland toegepast cement en beton te reduceren? Die beschrijft het Cement&BetonCentrum in deze roadmap voor CO₂-reductie. Als basis daarvoor diende de roadmap van CEMBUREAU (de Europese brancheorganisatie voor de cementindustrie), de situatie in Nederland en de roadmaps CO₂-reductie die in het kader van het Betonakkoord zijn opgesteld.

In deze roadmap zetten we alle reductie-initiatieven van de cementindustrie voor Nederland op een rij. Daarnaast beschrijven we de geschatte emissiereducties van de aangrenzende sectoren in de betonketen.

2. Waarom reduceert de industrie haar CO₂-emissies voor cement en beton?

Beton is op zichzelf een milieuvriendelijke keuze. Het milieuprofiel van een betonconstructie is op materiaalniveau en gebouwniveau vergelijkbaar of zelfs gunstiger dan bij toepassing van andere materialen, waaronder verlijmd hout (CLT), zeker als we over de gehele levensduur het energieverbruik ([zie kader Energieverbruik](#)) en het onderhoud meetellen. Beton heeft nog meer voordelen: het is betrouwbaar, veilig, veelzijdig en langdurig onderhoudsarm. De grondstoffen zijn in elke regio ruim voorradig. Daardoor is beton zeer gewild als constructiemateriaal: elk jaar produceren we wereldwijd méér beton dan alle andere materialen bij elkaar. In Nederland bestaat ruim 75% van de totale massa aan materialen voor de woning- en utiliteitsbouw uit beton [1]. Wereldwijd produceren we jaarlijks circa 4,1 miljard ton aan cement, met name voor toepassing in beton [2].

Met andere woorden: hoe gunstig het milieuprofiel van beton op zichzelf ook is, door het enorme volume levert de cementindustrie toch een forse bijdrage aan de totale

wereldwijde CO₂-emissie. Van alle CO₂ die door toedoen van de mens in de atmosfeer terechtkomt, wordt over de hele wereld zo'n 7%¹ veroorzaakt door de productie van cement. Daarom is het noodzakelijk om de CO₂-emissie als gevolg van cementproductie fors te reduceren en uiteindelijk terug te brengen tot nul.

Kleven er nog andere milieuaspecten aan cement en beton? Op het gebied van circulariteit valt er zeker nog winst te behalen, maar dan gaat het vooral om hergebruik van complete constructiedelen. De grondstoffen voor cement en beton (kalksteen, klei, zand en grind of gebroken rots) zijn over de hele wereld regionaal algemeen beschikbaar. Bovendien wordt beton na een lange levensduur 100% gerecycled en nuttig hergebruikt ([zie kader Recyclen van cement en beton](#)). Ook wapeningsstaal kunnen we volledig recyclen. In de regel bestaat die zelfs al voor 100% uit gerecycled staal. Kortom, het reduceren van de CO₂-emissie van cement en beton heeft veruit de grootste milieu-impact.

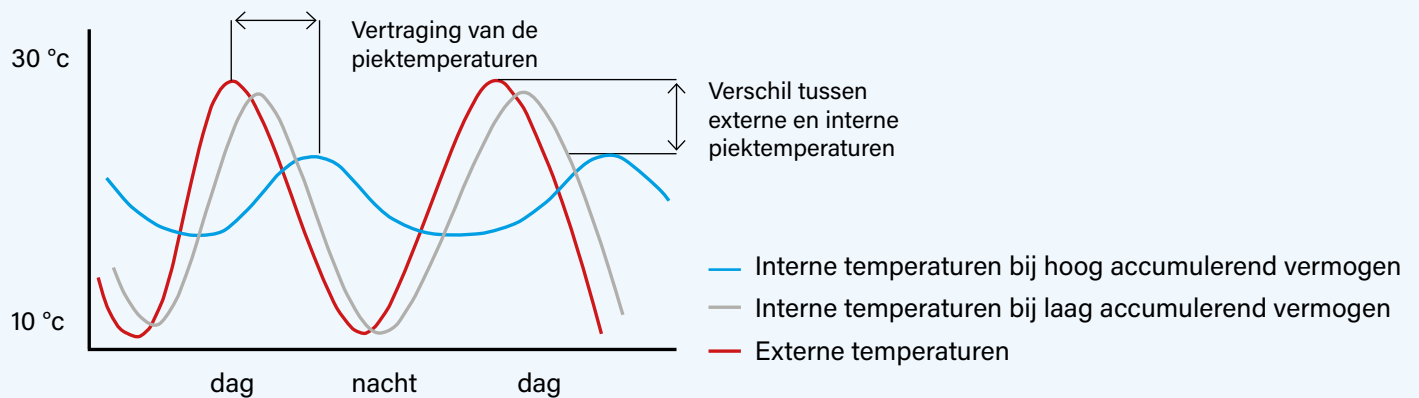
1. Volgens Our World in Data bedroeg in 2020 de jaarlijkse wereldwijde CO₂-emissie door de productie van cement 1,63 miljard ton. De wereldwijde CO₂-emissie bedroeg in 2020 34,81 miljard ton. Daarmee zou de bijdrage van de cementproductie dus 4,7% bedragen. Dit lijkt echter een onderschatting. Uitgaande van een wereldwijd cementvolume in 2020 van 4,2 miljard ton en een klinkergehalte van 77% lijkt de meestal in literatuur genoemde 7% aannemelijker. Voor de Europese Unie ging het in 2019 om 105 miljoen ton CO₂ voor de productie van cement (GNR-database van GCCA). De totale CO₂-emissie in de Europese Unie bedroeg in 2019 circa 3,49 miljard ton. Daarmee is de bijdrage van de Europese cementproductie dus circa 3,0%.

Energieverbruik

Een gebouw of woning van beton heeft minder energie nodig voor verwarmen en koelen dan gebouwen of woningen die uit lichtere materialen zijn opgetrokken. Dat is dankzij de thermische massa van beton. Die maakt het mogelijk dat beton relatief veel energie kan opslaan – energie die we er ook weer aan kunnen onttrekken.

Beton werkt op die manier als een buffer: de piektemperaturen van buiten worden afgevlakt

en vertraagd naar binnen afgegeven. Zo ontstaat een stabiel binnenklimaat, dat we ervaren als behaaglijk. Daarnaast resulteert het in een lager energiegebruik, want het is minder nodig om de binnentemperatuur vaak en/of extreem te verhogen of te verlagen. De dempende werking van beton kan voor verwarmen en vooral koelen een energiebesparing opleveren van 10% ten opzichte van lichte constructies.



Invloed van het accumulerend vermogen van beton op de stabiliteit van het binnenklimaat.

Recyclen van cement en beton

In Nederland recyclen we beton al vele decennia volledig. Het gerecyclede beton vindt vervolgens zijn weg in allerlei vormen van nuttig hergebruik. Zo hergebruiken we regulier betongranulaat als toeslagmateriaal in nieuw beton. Daarnaast is het een gewild fundatiemateriaal, dat primair zand en cement vervangt.

Door nieuwe ontwikkelingen kunnen we de circulariteit van cement en beton naar een nóg hoger niveau tillen. Zo is er begin 2024 een richtlijn uitgevaardigd voor hergebruik van constructieve prefab-betonelementen (CROW-CUR Richtlijn 4:2023). Dankzij deze richtlijn wordt de vraag naar nieuw beton verder beperkt.

Daarnaast zijn er nieuwe breektechnieken op de markt gekomen. Daarmee kunnen we beton – met een extra bewerking voor de cementsteen – tot de oorspronkelijke grondstoffen terugbrengen. Door op deze manier selectief te breken, komt de cementsteen als poeder vrij. Daarna moeten we deze aparte materiaalstroom nog wel fijner malen, maar daarna kan die uitstekend dienen als grondstof voor nieuw cement.

Voor het maken van nieuw cement zijn er vervolgens twee mogelijkheden: gebruik van de cementsteen als grondstof voor de

productie van portlandcementklinker of gebruik als hoofdbestanddeel van cement. De gerecyclede cementsteen (RCF) kan kalksteen en klei vervangen bij de productie van portlandcementklinker, de basisgrondstof voor cement. Toch is het milieutechnisch interessanter om RCF in te zetten als hoofdbestanddeel van cement. Voor toepassing in cement is hiervoor sinds juni 2023 een Europese norm beschikbaar: EN 197-6 – Cement with recycled building materials. RCF mag daarbij afhankelijk van het type cement tot 35% klinker vervangen.

Voor de cementproductie is het niet noodzakelijk, maar het is milieutechnisch nóg interessanter om de RCF eerst te laten reageren met CO₂. Zo snijdt het mes aan twee kanten: de reactieve RCF vervangt namelijk niet alleen CO₂-intensieve klinker, maar legt óók permanent CO₂ vast. Bij deze (gepatenteerde) technologie gaat het met grote stappen tegelijk: een ton RCF kan wel tot zo'n 200 kg CO₂ permanent vastleggen. Deze carbonatatie verloopt van nature al snel omdat RCF een poeder is, maar bij industriële productie wordt die versneld door het proces te laten plaatsvinden bij hoge temperatuur en CO₂-concentratie.

3. Hoe komt er CO₂ vrij bij de productie van cement?



De belangrijkste grondstof voor cement is portlandcementklinker. Bij de productie daarvan komt veel CO₂ vrij. Verreweg het grootste gedeelte daarvan – bijna twee derde – is het onvermijdelijke gevolg van de chemische reactie die tijdens de productie plaatsvindt: de calcinatie van kalksteen. Hierbij wordt kalksteen (CaCO₃) omgezet in vrije kalk (CaO) en CO₂. De emissie is ongeveer 510 kg CO₂ per ton klinker. Daarnaast is zo'n 30% van de CO₂-footprint van cement afkomstig van de (fossiele en secundaire) brandstoffen waarmee de klinkeroven wordt verhit. Ongeveer 10% is het gevolg van het elektriciteitsverbruik voor de cementmaling.

Portlandcement bestaat voor het grootste gedeelte uit portlandcementklinker. Van de reguliere cementsoorten heeft die dan ook het hoogste CO₂-profiel: circa 880 kg CO₂ per ton cement voor een CEM I 52,5 R. Bij andere cementsoorten – denk aan hoogovencement en portlandvliegascement – wordt een deel van de portlandcementklinker vervangen door bijproducten van andere productieprocessen, zoals ruwijzer en elektriciteit. Daardoor kennen deze cementsoorten een aanzienlijk gunstiger CO₂-profiel. Zo heeft hoogovencement CEM III/B een CO₂-afdruk van ongeveer 280 kg per ton cement.

4. Welk cement gebruiken we in Nederland?

Zoals gezegd, ongeveer 7% van de CO₂ die wereldwijd door toedoen van de mens in de atmosfeer komt, wordt veroorzaakt door de productie van cement. In de Europese Unie ligt dit percentage lager: circa 3%. In Nederland bedraagt onze bijdrage aan de CO₂-emissie zelfs maar ongeveer 1,9%² - en dat is inclusief buitenlandse emissies voor de productie van in Nederland toegepaste portlandcementklinker en cement.

Nederlands beton heeft hierdoor veruit de laagste CO₂-footprint ter wereld. Deze uitzonderlijke score komt tot stand doordat Nederland koploper is in het gebruik van cementsoorten met een lage CO₂-footprint. Daarbij gaat het vooral om hoogovencement met een hoog slakgehalte (CEM III/B, minimaal 66% slak). Dit type cement werd in het buitenland tot voor kort niet of nauwelijks gebruikt. In Nederland is het gebruik van dit type hoogovencement daarentegen niet alleen al vele decennia

toegestaan voor alle toepassingen van constructief beton. Het is ook al vele jaren het meest toegepaste cement in de betonmortelindustrie. De eerste grootschalige toepassing van hoogovencement in Nederland vond al plaats in de jaren twintig van de vorige eeuw, destijds voor de bouw van de Noordersluis in IJmuiden. We zagen in Nederland al snel de technologische voordelen van dit cement – het is bijvoorbeeld zeer goed bestand tegen zeewater. Ook de brede beschikbaarheid van hoogovenslak in en om Nederland hielp mee. Niet alleen staan er twee hoogovens in IJmuiden, in België en in het Roergebied wordt ook relatief veel ruwijzer en daarmee hoogovenslak geproduceerd. Over de hele wereld bezien is dat anders: hoogovenslak voorziet maar in zo'n 8% van de totale behoefte aan cement [3]. Verder bedroeg in Europa én wereldwijd in 2019 het gehalte aan klinker gemiddeld 75% (klinker t.o.v. cement en vulstoffen). In Nederland was dat in 2017 slechts circa 56%³.

2. In Nederland bedroeg de totale CO₂-emissie in 2021 circa 143,4 miljoen ton CO₂ (RIVM-rapport 2024-0017). In dat jaar werd ongeveer 5,05 miljoen ton cement verbruikt (dus inclusief geïmporteerd cement). Met een gemiddelde emissie van 540 kg CO₂ per ton cement (zie voetnoot³) bedroeg de CO₂-emissie dus 2,7 miljoen ton. Dit komt overeen met 1,9% van de totale emissie in Nederland (of met of 171,5 miljoen ton CO₂-equivalenten 1,6% van de totale broeikasgasemissies).

3. Op basis van gegevens van Betonhuis (weergegeven in tabel 1 in [4]) bestond het bindmiddel in Nederlands beton in 2017 gemiddeld uit 111 kg CEM I, 24 kg CEM II, 46 kg CEM III/A, 123 kg CEM III/B, 7 kg CEM V, 17 kg poederkoolvliegask en 9 kg gemalen gegraneerde hoogovenslak; totaal 337 kg bindmiddel per m³ beton. Uitgaande van een gemiddeld klinkergehalte van 50% in CEM III/A en CEM V, 27% in CEM III/B en 70% in CEM II bedroeg het aandeel klinker in Nederland in 2017 (t.o.v. cement en vulstoffen) circa 56%. Het gemiddelde klinkergehalte in cement bedroeg circa 60%. Op basis van gemiddelden van in de NMD opgenomen cementen en vulstoffen (15-02-2022) is de CO₂-emissie van het bindmiddel in Nederland gemiddeld 499 kg CO₂ per ton. Voor cement is het gemiddeld 540 kg CO₂ per ton (inclusief emissies van secundaire brandstoffen en exclusief CO₂-opname door carbonatatie van beton).

5. Welke alternatieven zijn er voor cement?

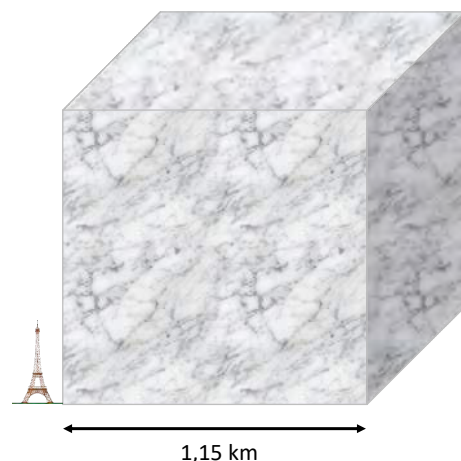
Er is zeer veel vraag naar cement en beton. Alleen al bij cement gaat het om een jaarlijkse productie van ruim 4 miljard ton. Daardoor zijn er veel grondstoffen nodig. Toch is het moeilijk om alternatieven te ontwikkelen voor cement op basis van portlandcementklinker [7]. Die beperking kent twee oorzaken: de beschikbaarheid van grondstoffen en de chemische randvoorwaarden bij de productie. Daarom zijn met de bestaande grondstoffen en technieken de (Nederlandse) mogelijkheden voor een forse CO₂-reductie op de korte termijn beperkt [3].

Om een idee te geven: op basis van fosfor zijn er voor specifieke toepassingen hydraulische cementen mogelijk, maar er is maar net genoeg fosfor voor de productie van meststoffen. Als we de productie van op fosfor gebaseerd cement wezenlijk zouden verhogen, ontstaat er een probleem met de voedselproductie. De basisgrondstoffen voor de productie van portlandcementklinker – kalksteen en klei – zijn daarentegen wél onbeperkt en wereldwijd regionaal beschikbaar.

Doordat er zo weinig alternatieven zijn, blijft de productie van cement ook in de komende decennia hoofdzakelijk gebaseerd op portlandcementklinker. Om toch de weg te kunnen inslaan naar CO₂-neutraal cement en beton, dienen we te kijken naar besparingen in de gehele keten: van de productie van portlandcementklinker tot aan de toepassing

in de bouw en het hergebruik van beton. Daarnaast moeten we kijken naar de groot-schalige afvang of opslag van CO₂ bij de productie van klinker. Het vrijkomen van de in kalksteen opgeslagen CO₂ is immers onvermijdelijk.

De Europese roadmap van CEMBUREAU noemt de brede gezamenlijke verduurzaming van de betonketen de 5C-aanpak. Die vijf C's zijn de onderdelen Clinker, Cement, Concrete, Construction en Carbonation. Kort samengevat komen ze op het volgende neer: emissiereductie bij de productie van klinker, verlaging van het klinkergehalte in cement, verlaging van het cementgehalte in beton, efficiënter gebruik van beton in constructies en carbonatatie van beton.



Voor de wereldwijde cementproductie is veel kalksteen nodig: jaarlijks een kubus van bijna 1,2 x 1,2 x 1,2 km³. Gelukkig zijn de grondstoffen voor cement en beton wereldwijd onbeperkt en regionaal beschikbaar.

6. Hoe ziet de Nederlandse roadmap voor CO₂-reductie eruit?

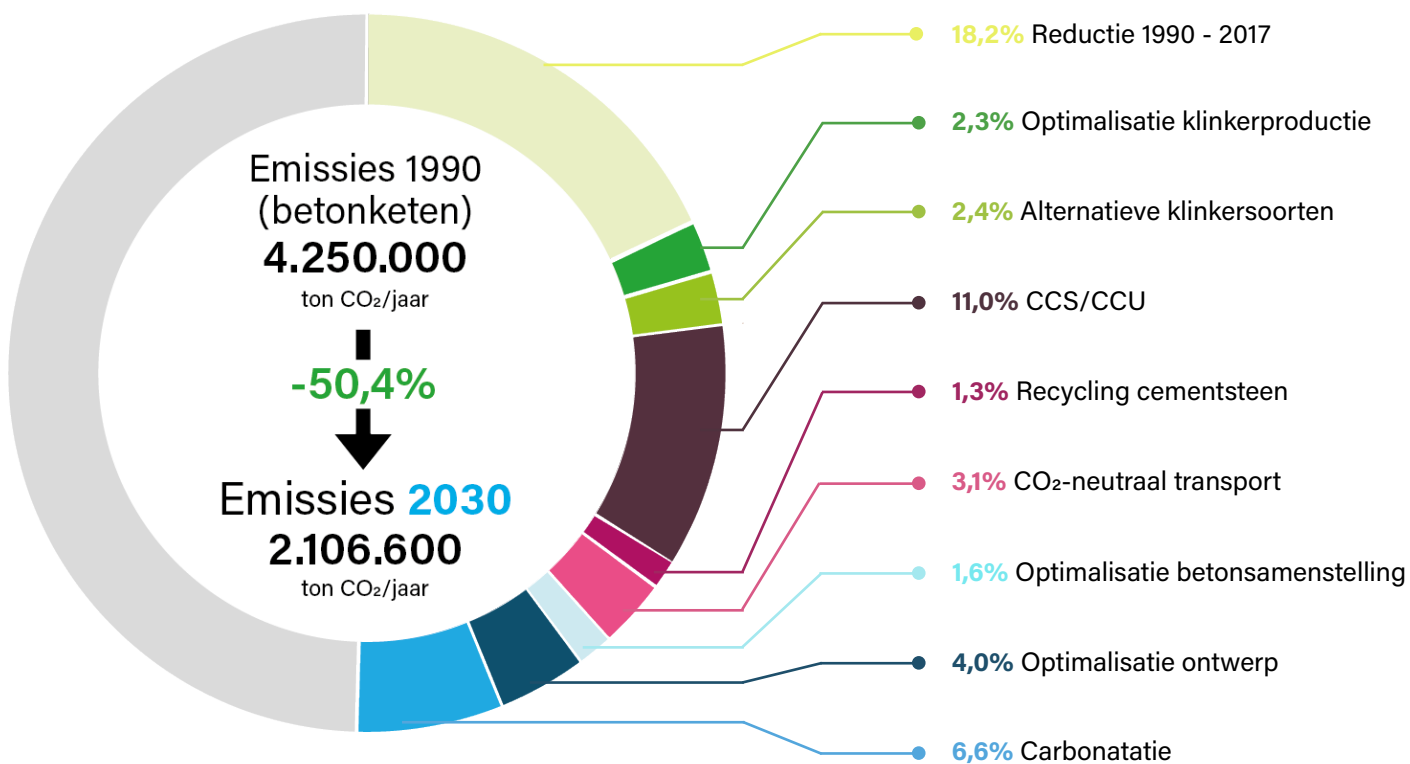
De roadmaps voor de Nederlandse betonketen voor 2030, 2040 en 2050 zijn in onderstaande figuren overzichtelijk weergegeven. De genoemde percentages hebben betrekking op de emissies van de gehele betonketen ten opzichte van 1990.

Om de cijfers in historisch perspectief te plaatsen: in 2010 bedroeg de CO₂-emissie van de betonketen circa 3,7 miljoen ton [6]. Die was afkomstig van beton (60%), wapeningsstaal (11%), transport (18%, grondstoffen voor beton en transport naar de bouwplaats) en bouwen en sloop-werkzaamheden (11%). Bij deze 3,7 miljoen ton zijn de emissies inbegrepen die in het buitenland plaatsvonden voor de productie en transport van in Nederland toegepaste portlandcementklinker, cement en wapeningsstaal. In 2017 was er sprake

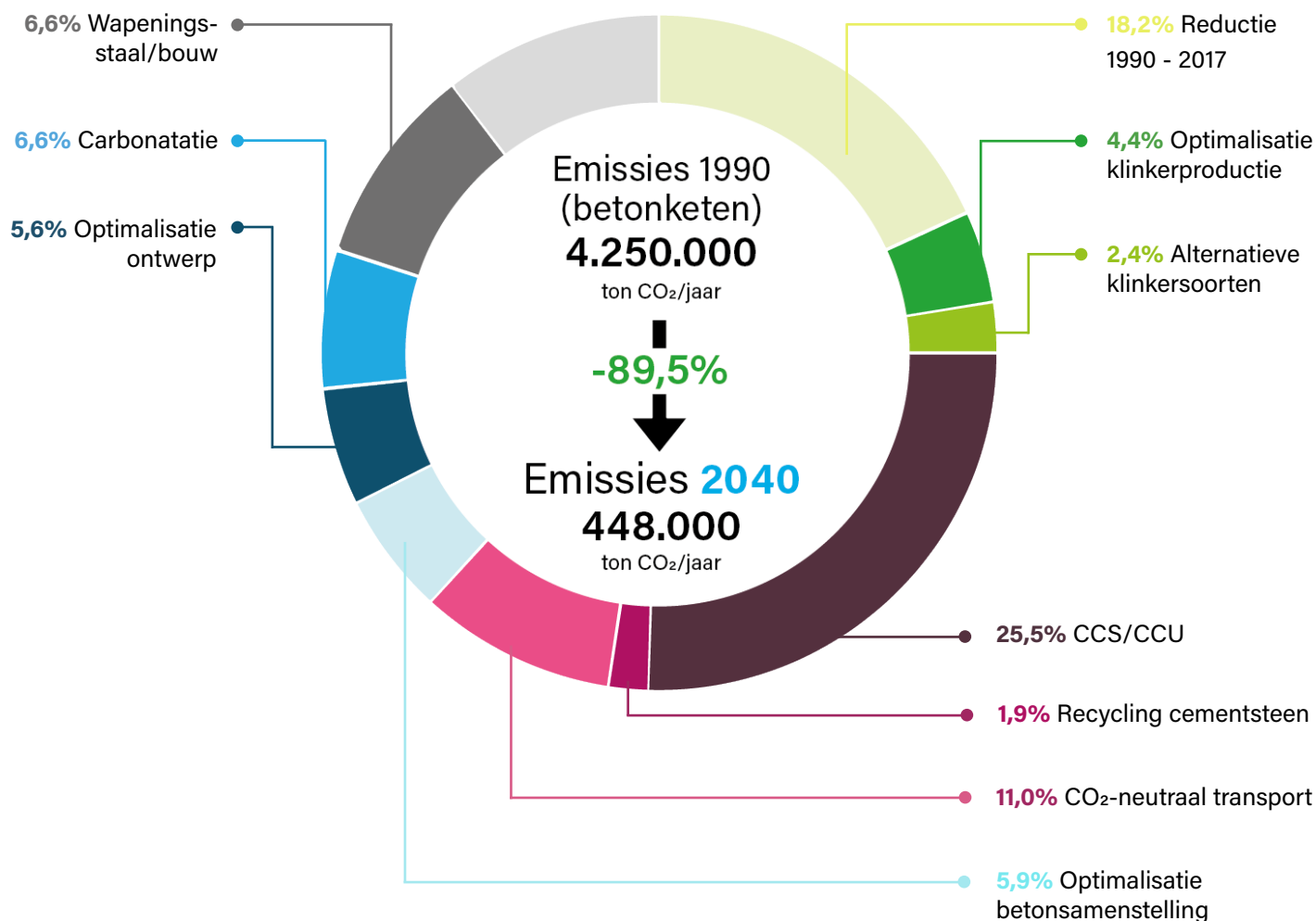
van een daling van 6% ten opzichte van 2010 [4]. Daarnaast heeft de industrie volgens het Betonakkoord in de periode 1990-2010 een reductie tot stand gebracht van ongeveer 13%. Terugrekenend bedroeg de emissie in 1990 dus zo'n 4,25 miljoen ton CO₂.

C&BC 2030 roadmap

Naar verwachting kunnen we in 2030 een reductie van ruim 50% ten opzichte van 1990 realiseren. Voor een belangrijk deel bereiken we die dankzij CO₂-neutraal cement dat in 2030 al op relatief grote schaal beschikbaar is in Nederland. We verwachten dat in 2030 in Nederland 25% van de portlandcementklinker CO₂-neutraal is. Dat is ongeveer het dubbele van wat voor heel Europa wordt verwacht.



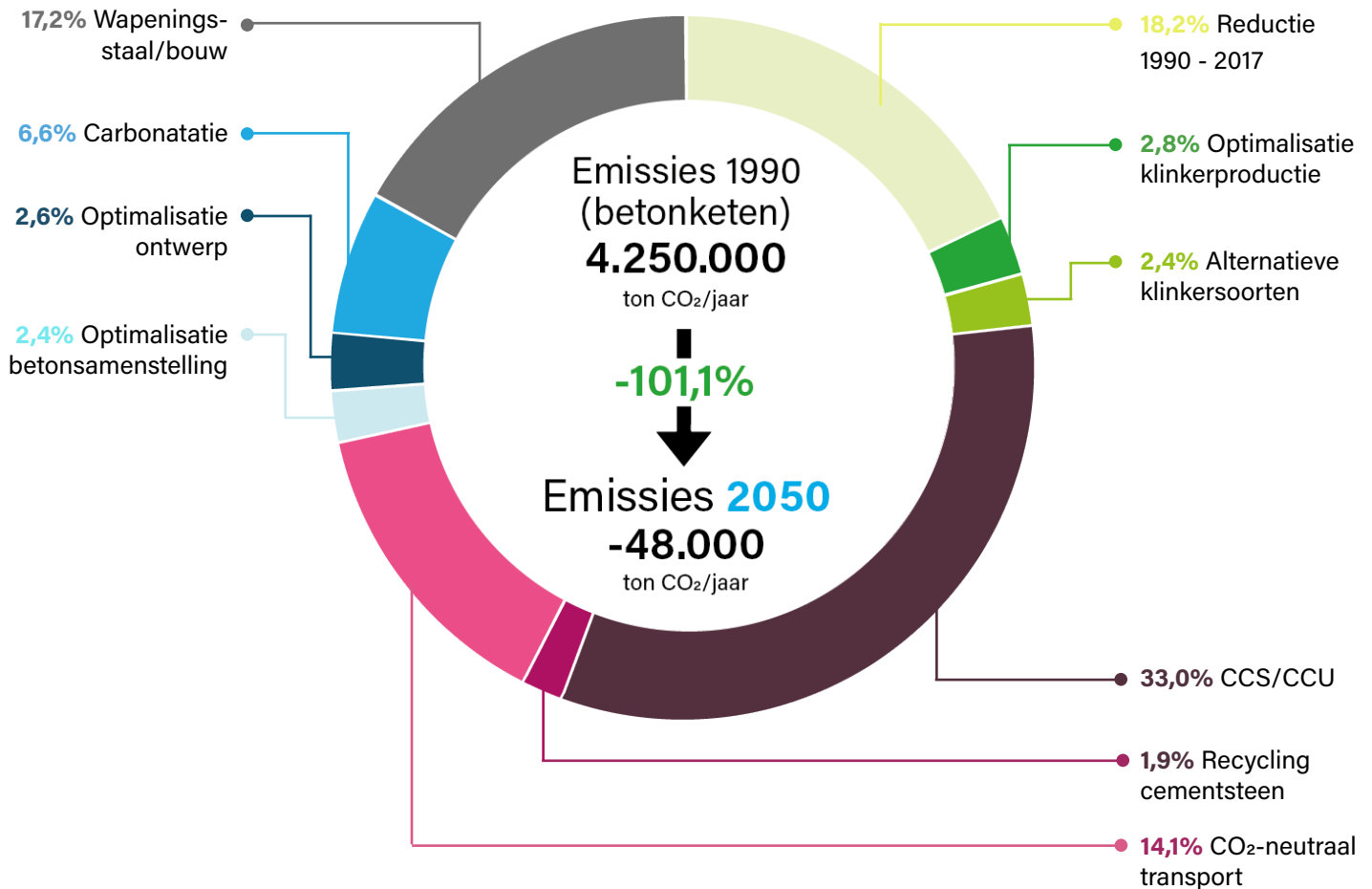
C&BC 2040 roadmap



Voor 2040 moet de Nederlandse betonketen een reductie van bijna 90% ten opzichte van 1990 kunnen realiseren. Dat is minder dan CEMBUREAU voor geheel Europa voorziet. Die ziet namelijk 78% reductie voor cement en 93% voor de gehele keten voor zich. Maar zijn de Nederlandse en Europese roadmaps niet direct te vergelijken. Voor de Nederlandse roadmap gaan we uit van de inventarisatie van

de betonketen die is uitgevoerd door CE Delft. Die omvat ook wapeningsstaal en bouw- en sloopwerkzaamheden. Daarnaast begroot CEMBUREAU voor Europa voor 2040 een CO₂-besparing van 9,5% voor de vervanging van portlandcementklinker door alternatieven zoals kalksteenmeel. Maar omdat Nederland al een lage klinkerfactor heeft, hebben wij op dit punt geen verdere besparing voorzien.

C&BC 2050 roadmap



Voor 2050 voorzien we voor de Nederlandse betonketen zelfs een bescheiden negatief CO₂-profiel. De beperkte CO₂-uitstoot die dan nog plaatsvindt, wordt meer dan gecompenseerd door de CO₂-opname door beton.

Ten opzichte van de CO₂-emissies in 1990 per ton cement voorziet CEMBUREAU voor Europa een negatieve CO₂-emissie van ruim 16%.

Ruim 17% van de totale reductie komt daarbij echter tot stand door klinker te vervangen door andere hoofdbestanddelen van cement. Om dat te bereiken, streeft Europa naar een klinkergehalte van 60% (in 2023: 77%), terwijl we in Nederland nu al op een klinkergehalte van 56% zitten.

7. Wat betekenen de onderdelen van de roadmap?



Optimalisatie klinkerproductie

Als we spreken over de optimalisatie van de klinkerproductie, dan willen we met name de thermische efficiency van het klinkerproces verbeteren en daarnaast het gebruik van gedecarbonateerde grondstoffen bevorderen. Denk bij die laatste aan afval en reststromen van andere industrieën, maar ook aan gerecycled cementsteen. Optimalisatie draait verder om een groter aandeel secundaire brandstoffen ([zie kader Secundaire brandstoffen](#)). Er wordt ook onderzoek gedaan naar verhitten met groene stroom, groene waterstof en directe zonne-energie, al verwachten we voor 2030 daar nog geen bijdrage van.

Secundaire brandstoffen

Om de ovens te verhitten waarmee we portlandcementklinker produceren, zijn fossiele brandstoffen nodig. Daarbij komt tot ongeveer een derde vrij van de totale CO₂-emissie die het gevolg is van klinkerproductie. Het is dus zaak om deze fossiele brandstoffen op termijn te vervangen. Dat kan bijvoorbeeld met groene waterstof of door te verhitten met groene stroom. Met waterstof zijn op industriële schaal inmiddels succesvolle proeven gedaan.

Toch kunnen we fossiele brandstoffen ook nu al voor zo'n 80% tot maar liefst 100% vervangen – en wel door secundaire brandstoffen zoals niet-recyclebare restproducten, afval en biomassa. Dat heeft vele voordelen, waaronder een forse CO₂-besparing. Verbranding van secundaire brandstoffen bij de productie van portlandcementklinker is in Europa al in 1990 begonnen. Inmiddels wordt het op grote schaal toegepast in de cementindustrie. Het aandeel secundaire brandstoffen neemt nog steeds

toe: van 17% in 2007 tot 52% in 2020. Dat betekent dat nu ruim de helft van de benodigde thermische energie afkomstig is uit secundaire brandstoffen. Daarvan bestaat grofweg twee derde uit niet-recyclebare restproducten en afval, een derde is biomassa. Sinds 2023 hebben diverse Europese cementfabrieken hun primaire fossiele brandstoffen al volledig vervangen door secundaire brandstoffen. Veel bedrijven zitten rond 90% vervanging.

Vele materialen zijn geschikt als secundaire brandstof. In cementovens vindt immers een zeer robuust industrieel proces plaats, onder zeer hoge temperaturen en met een relatief lange verblijftijd. Het afval moet wel een voldoende hoge calorische waarde hebben en de asresten mogen geen negatieve invloed hebben op de kwaliteit van de klinker. Veelgebruikte afvalstromen zijn autobanden, rubber, papierafval en -slib, houtresten, olie, waterzuiveringsslib, oplosmiddelen en kunststoffen.

Voor kunststofcomposiet is verbranding in een cementoven de duurzaamste vorm van verwerking. Kunststofcomposiet is een glasvezelversterkte kunststof die vele toepassingen kent. Denk aan de wieken van windmolens, aan de scheepshuid van boten, maar ook aan tal van toepassingen in de bouw. Voor de recycling aan het einde van de levensduur bestaat er echter nog geen permanente oplossing. Daarom wordt nog naar schatting 40% tot 70% van het kunststofcomposiet gestort of verbrand, zonder enige energierugwinning. Maar in een cementoven is niet alleen sprake van verbranding: ook de asresten worden nuttig gebruikt in de productie van portlandcementklinker. Zo vervangen afvalstoffen met een hoge asrest dus ook een deel van de pri-maire grondstoffen, zoals kalksteen en klei. Waterzuiveringsslib levert bijvoorbeeld kalk en silicium, autobanden leveren ijzer, kunststofcomposiet levert silicium. Het doel blijft een volledig circulaire en dus afvalvrije maatschappij, maar voor het zover is, levert deze co-processing een nuttige bijdrage aan de verwerking van afval, terwijl we tegelijk de CO₂-emissie verlagen.

In vergelijking met verbranding in een energiecentrale heeft een cementoven op secundaire brandstoffen tal van milieuvoordelen:

1. We besparen in het algemeen op fossiele brandstoffen.
2. Een cementoven benut de verbrandingsenergie efficiënter dan een afvalenergiecentrale (AVI). De verbranding vindt tenslotte direct in de oven plaats. Er hoeft geen water worden verhit om stoom op te wekken, om daarmee een turbine te laten draaien waarmee we elektriciteit produceren. Vanzelfsprekend is het een betere oplossing dan afval storten.



Secundaire brandstof.

3. Door de hogere verbrandingstemperatuur ontstaan in een cementoven minder schadelijke stoffen dan in een afvalenergiecentrale.
4. Asresten, met name silicium-, calcium-, ijzer- en aluminiumoxiden, komen niet terecht in de AVI-bodemassen, maar worden nuttig onderdeel van de portlandcementklinker. Er ontstaat dus minder afval.

Vanwege deze milieuvoordelen is de inzet van secundaire brandstoffen een belangrijk onderdeel van de route naar klimaatneutraal cement en beton. Zonder speciale innovaties of nieuwe technieken is het al mogelijk om in Europa voor de productie van portlandcementklinker op termijn gemiddeld meer dan 90% van de fossiele brandstoffen te vervangen door secundaire brandstoffen.



Alternatieve klinkersoorten

Er zijn momenteel diverse alternatieven voor portlandcementklinker in ontwikkeling ([zie kader Alternatieve klinkersoorten](#)). Een belangrijk alternatief is calciumsulfoaluminaat-belietcementklinker. Daarvoor ontwikkelen we in Nederland al regelgeving voor toepassing in constructief beton. Deze klinker levert een CO₂-reductie op van zo'n 25 tot 30% ten opzichte van portlandcementklinker, terwijl de sterkteontwikkeling vergelijkbaar is. Vanwege de beperkingen in opschaalbaarheid van de grondstoffen dan wel het toepassingsgebied schatten we de bijdrage van alternatieve klinkersoorten aan de CO₂-reductie op 2,4%.

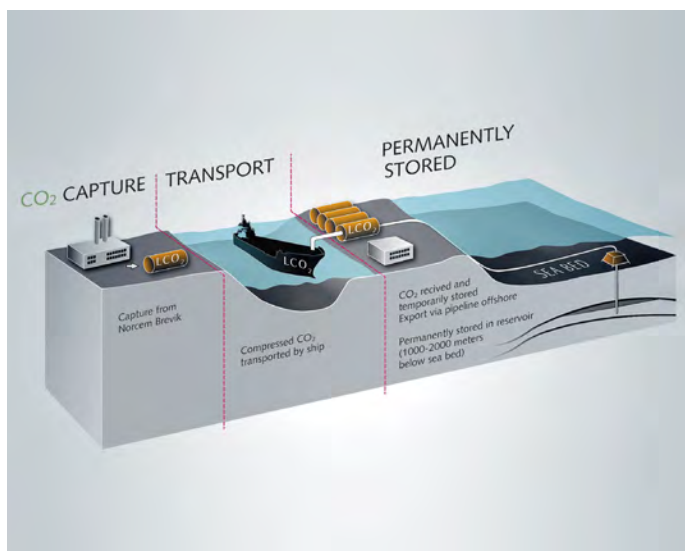
Alternatieve klinkersoorten

En als we nu een andere klinker ontwikkelen dan portlandcementklinker, om zo de CO₂-uitstoot te reduceren? Met die gedachte zijn inmiddels diverse alternatieven in ontwikkeling.

Een daarvan is calciumsulfoaluminaat-belietcementklinker. Voor deze klinker is minder calcium en een lagere brandtemperatuur (van circa 1250 °C) nodig. Daarmee is een CO₂-reductie van zo'n 25% tot 30% te realiseren, terwijl de sterkteontwikkeling vergelijkbaar is met portlandcementklinker. Omdat het productieproces ook vergelijkbaar is, zou deze klinker gewoon cement kunnen vervangen in (constructief) beton. Er is bij de productie wel een aluminiumrijke grondstof nodig. En we kunnen deze klinker minder eenvoudig combineren met grondstoffen zoals tras of slak. Nederland werkt momenteel aan regelgeving voor de toepassing van calciumsulfoaluminaatbelietcement in constructief beton.

Een andere interessante klinker is wollastoniet. In tegenstelling tot de bekende klinkermineralen beliet en aliet komt wollastoniet veel in de natuur voor. Net als olivijn kan dit mineraal reageren met CO₂ tot calciumcarbonaat (kalk)

en (amorf) siliciumdioxide, maar de reactie verloopt sneller. Maar wollastoniet kan ook worden geproduceerd met behulp van de gebruikelijke grondstoffen en installaties. Ook voor de productie van wollastoniet is minder kalk en een lagere brandtemperatuur (ook circa 1250 °C) nodig. Daardoor is de uitstoot tijdens productie ongeveer 30% lager in vergelijking met de productie van portlandcementklinker. Bovendien neemt wollastoniet tijdens de verharding circa 30% CO₂ op, zodat de totale besparing ten opzichte van portlandcement circa 60% bedraagt. De sterkteontwikkeling is bovendien zeer snel: na 24 uur wordt een sterkte bereikt die portlandcement pas na 28 dagen haalt. Toch zijn er ook nadelen: omdat CO₂ moet kunnen indringen, zijn de haalbare afmetingen beperkt tot een dikte van circa 200 mm. Verder is de pH van ongeveer 9 te laag voor toepassing in constructief beton, vanwege het risico op wapeningscorrosie. Tot slot vraagt de verwerking van beton met wollastoniet als bindmiddel een speciaal productieproces: een klimaatkamer met zuiver CO₂, die ook om de nodige veiligheidsvoorzieningen vraagt. Voor betonwaren lijkt wollastoniet evenwel een interessant alternatief voor regulier cement.



Permanente opslag van CO₂ op een diepte van 1 tot 2 km onder de zeebodem (bron: www.brevikccs.com)

CCS/CCU

Naar verwachting is in Nederland in 2030 al op relatief grote schaal CO₂-neutraal cement beschikbaar. Het in Nederland toegepaste cement en de portlandcementklinker die we naar Nederland importeren voor de productie van cement, komen hoofdzakelijk uit Duitsland en België. Bij twee Belgische cementfabrieken zijn inmiddels projecten begonnen die volledig de CO₂ afvangen die vrijkomt bij de productie van portlandcementklinker. Deze afvang wordt ook wel Carbon Capture & Storage (CCS) dan wel Carbon Capture & Utilization (CCU) genoemd. Daardoor produceren twee van de vier klinkerovens in België al vóór 2030 CO₂-neutrale portlandcementklinker. Cement dat met deze klinker wordt gemaakt, heeft een zeer bescheiden CO₂-profiel, dat vooral afhangt van het CO₂-profiel van de overige (hoofd) bestanddelen van het cement. Ook in Duitsland zijn CCU/CCS-projecten van start gegaan op productielocaties die voor Nederland relevant zijn. Deze zijn al vóór 2030 operationeel (zie kader CO₂-afvang en -opslag/gebruik (CCS/CCU)). Op basis daarvan schatten we dat in 2030

25% van de portlandcementklinker in Nederland CO₂-neutraal is. Dat is ongeveer het dubbele van wat voor heel Europa wordt verwacht. Voor 2040 gaan we – in lijn met de roadmap van CEMBUREAU – uit van CO₂-afvang bij ruim 50% van de Europese klinkerovens en voor 2050 bij ruim 75%.

Klinkersubstitutie

CEMBUREAU verwacht in zijn roadmap een significante bijdrage van klinkersubstitutie. Dat doet de organisatie op basis van het Europese CO₂-profiel van cement in 1990. Voor Nederland is dat anders: wij voorzien hier geen bijdrage omdat het Nederlandse aandeel van klinker in cement al zo laag is in vergelijking met Europa en de rest van de wereld. Daarnaast veronderstellen we dat de Nederlandse afname in beschikbaarheid van hoogovenslak tot 2030 beperkt is. Die afname kunnen we bovendien compenseren door meer import en vervanging van portlandcement door portlandkalksteencement. Ook kunnen we natuurlijke en gecalcineerde puzzolanen als hoofdbestanddeel in cement toepassen. Voor 2040 en 2050 verwachten we daarom dat het gemiddelde aandeel klinker circa 60% kan blijven.

Recycling cementsteen

Er is CO₂-behandeling mogelijk van gerecycled cementsteen dat afkomstig is van selectieve breektechnieken. Daarmee kunnen we niet alleen CO₂ vastleggen. Er ontstaat ook een grondstof voor de cementproductie, waarmee we portlandcementklinker gedeeltelijk kunnen vervangen. Ook natuurlijke mineralen zoals olivijn en basalt zijn geschikt voor eenvoudige carbonatatie zodra ze worden gemalen. Daarbij nemen ze tot 20% van de procesemissies op. Vervolgens kunnen we ze toepassen als klinkervervanger. In de roadmap hebben we alleen rekening gehouden met recycling van cementsteen.

CO₂-afvang en -opslag/gebruik (CCS/CCU)

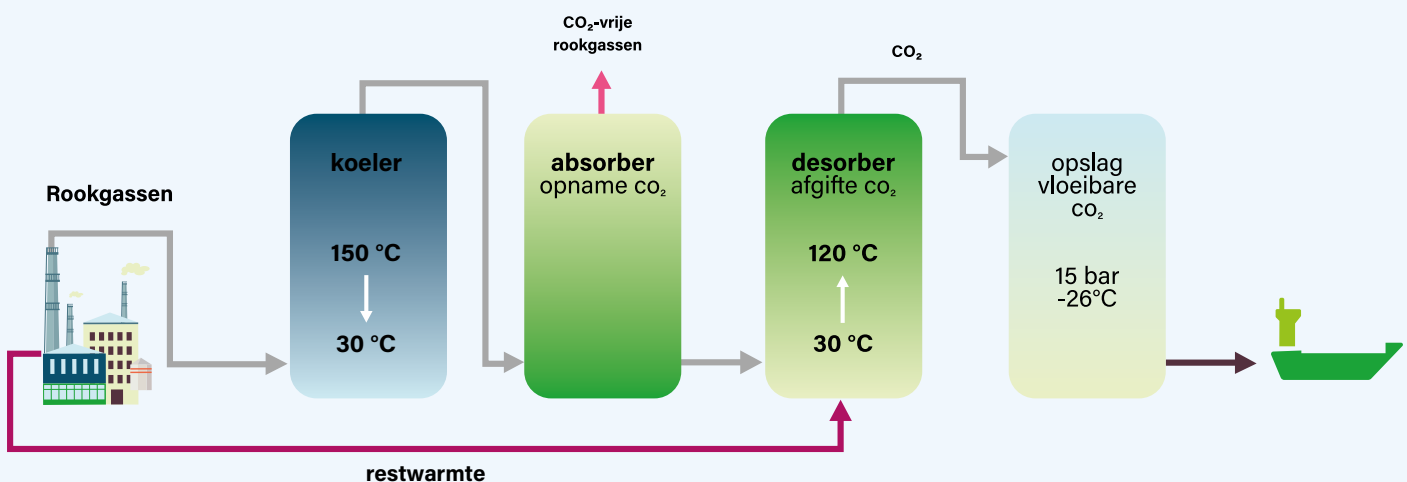
Er komt veel CO₂ vrij bij de productie van de belangrijkste grondstof voor cement, portlandcementklinker. Het grootste deel van de uitstoot ontstaat bij het verhitten van kalksteen tot boven de 900 °C. Op dat moment wordt de kalksteen (CaCO₃) omgezet in vrije kalk (CaO) en CO₂. Per ton klinker komt er dan ongeveer 510 kg aan CO₂ vrij. Ook voor het verhitten van de oven komt CO₂-vrij, maar daarvoor zijn inmiddels alternatieven in ontwikkeling (zie kader [Secundaire brandstoffen](#)).

Het vrijkomen van CO₂ uit verhit kalksteen is helaas niet te voorkomen. Daarom werkt de cementindustrie hard aan de bouw van installaties die deze CO₂ afvangen. Deze installaties richten zich op het concentreren van CO₂ uit de verzamelde rookgassen van een cementoven. Die gassen bevatten grofweg 25% CO₂ – een te laag percentage om efficiënt af te vangen en te gebruiken of op te slaan.

Het Duitse project WESTKÜSTE100 combineert op ingenieuze wijze de productie van waterstof uit windenergie met het afvangen van CO₂ die vrijkomt bij de productie van cement. Ook de

productie van synthetische kerosine en het verwarmen van huizen maken beide deel uit van de slimme combinatie. In dit project wordt de zuurstof die vrijkomt bij de elektrolyse van water niet aan de lucht vrijgelaten, maar geleverd aan een cementfabriek. Die past vervolgens de zogeheten oxyfuel-techniek toe, een techniek die verantwoordelijk is voor de afvang van de vrijkomende CO₂. Daarvoor wordt een nieuwe cementoven gebouwd. Het project moet resulteren in het afvangen van 1,2 miljoen ton CO₂ per jaar. Ook het Duitse project GeZero maakt voor de fabriek in Geseke gebruik van de oxyfuel-techniek. De cementproductie in beide fabrieken is hierdoor naar verwachting vanaf 2029 volledig klimaatneutraal.

Bij twee cementfabrieken in België is eveneens begonnen met projecten voor volledige CO₂-afvang. De klinkerproductie bij de fabrieken in Antwerp en Obourg is daardoor uiterlijk 2029 volledig klimaatneutraal. Bij deze projecten Anthemist en GO4ZERO gaat het om een investering van ongeveer een half miljard euro. De afgevangen CO₂ wordt opgeslagen onder de Noordzee.



Noorwegen vangt in 2024 al op industriële schaal CO₂ af bij de klinkerproductie. Zogeheten amines vangen de CO₂ uit de rookgassen af en concentreren die vervolgens. Amines kunnen CO₂ bij lage temperatuur (30 °C) opnemen en bij hogere temperatuur (120 °C) weer afgeven.



Door alleen materiaal te plaatsen waar het constructief nodig is, kan 70% op beton en 90% op wapeningsstaal worden bespaard in vergelijking met een traditionele betonvloer, zo bleek uit onderzoek.
Bron beeld: Block Research Group, Zürich.

CO₂-neutraal transport

Transport van grondstoffen en beton naar de bouwplaats droeg in 2010 18% bij aan de totale CO₂-emissie. In de roadmap schatten we dat we in 2030 een reductie van 20% kunnen bereiken ten opzichte van 2010. Die komt tot stand door een combinatie van efficiëntere motoren, bio-brandstoffen en CO₂-neutraal transport. Voor 2040 voorzien we een reductie van 60% ten opzichte van 2010. Voor 2050 rekenen we in de roadmap met een reductie van 90%.

Optimalisatie betonsamenstelling

Als we spreken over de optimalisatie van de betonsamenstelling, dan moeten we denken aan onder meer korrelpakkingsoptimalisatie, acceptatie van langere verhardingstijden en nieuwe hulpstoffen waarmee we het cementgehalte in beton kunnen verlagen. Onze schatting voor reductie in 2030 bedraagt 1,6%, met name dankzij optimalisatie van de korrelpakking.

Hoe kan die optimalisatie tot stand komen?

In de betontechnologie streven we naar een zo laag mogelijk volume aan holle ruimtes tussen de korrels zand en grind. Dat doen we door de beschikbare toeslagmaterialen in een optimale verhouding te mengen. De korrelopbouw van die materialen is daarvoor van belang, maar daarbij houden we doorgaans geen rekening met de vorm van de korrels, de oppervlaktekrachten

en andere fenomenen die van invloed zijn op de korrelpakking. Daarnaast doen we nog zelden aan optimalisatie van de korrelpakking van de toegepaste poeders (cement en eventuele vulstoffen). Door te werken met zogenaamde korrelpakkingsmodellen kunnen we een hogere pakkingsdichtheid bereiken. Deze modellen houden namelijk rekening met meer factoren dan alleen de korrelgradering. Dat heeft positieve gevolgen: een hogere pakkingsdichtheid betekent dat er minder cementlijm nodig is en dus ook minder cement bij gelijkblijvende sterkte.

De bijdrage van de optimalisatie van de betonsamenstelling neemt nog toe tot 2040. Voor 2050 rekenen we met een lagere bijdrage, als gevolg van het toenemend aandeel CO₂-neutraal cement.

Optimalisatie ontwerp

Ook kunnen we de hoeveelheid beton in constructies verlagen door er efficiënter gebruik van te maken. Daardoor besparen we naar verwachting 4% in 2030 en ruim 5% in 2040. Door de thermische massa optimaal te benutten, kan beton bovendien een forse besparing in het energieverbruik opleveren. Deze besparing is geen onderdeel van de roadmap. Vanwege de sterke daling van het CO₂-profiel van beton voorzien we voor 2050 een lagere besparing.



Carbonatatie

Jaarlijks wordt 23 % van de CO₂-emissie als gevolg van de calcinatie van kalksteen permanent vastgelegd in beton. Dat komt overeen met 8% van de totale CO₂-emissie als gevolg van de productie van cement [5]. Hoe komt deze vastlegging tot stand? Dat is het gevolg van de reactie van CO₂ uit de lucht met vooral calciumhydroxide (Ca(OH)₂) in de cementsteen. Calciumhydroxide is een zout dat ontstaat bij de reactie van cement met water. Daardoor ontstaat weer kalksteen. Deze reactie noemen carbonatatie.

We kunnen de opname van CO₂ door beton zelfs verder versterken. Een methode daarvoor is het beluchten van betongranulaat met de rookgassen van klinkerovens. De hogere CO₂-concentratie en temperatuur dragen eraan

bij dat meer dan 50% van de CO₂-emissie als gevolg van de calcinatie wordt opgenomen. In deze roadmap hebben we uitsluitend gerekend met de natuurlijke CO₂-opname door carbonatatie van beton en betongranulaat.

Wapeningsstaal en bouw- en sloopwerkzaamheden

De productie van wapeningsstaal en bouw- en sloopwerkzaamheden droegen in 2010 beide 11% bij aan de totale CO₂-emissie van de betonketen. Ook voor deze onderdelen zal tot 2030 CO₂-reductie plaatsvinden. Toch hebben we er niets voor gerekend omdat we geen goede schatting kunnen maken van de reductie. Voor 2040 is onze conservatieve schatting dat we voor deze onderdelen een CO₂-reductie van 50% kunnen bereiken. Voor 2050 rekenen we met een reductie van 90%.

8. Wat zijn de randvoorwaarden die gelden voor deze roadmap?



Deze Nederlandse roadmap geeft een realistisch beeld van de emissiereducties die we in 2030, 2040 en 2050 kunnen bereiken. Voor al deze reducties zijn geen baanbrekende innovaties nodig. Wel van belang is dat de Europese Unie en de lidstaten de juiste randvoorwaarden scheppen voor alle benodigde maatregelen en investeringen. Denk daarbij aan een waterdicht Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), een infrastructuur voor transport en opslag van CO₂, de financiering van projecten vanuit ETS-opbrengsten, de toegang tot CO₂-vrije energie en de verlening van noodzakelijke vergunningen.

Literatuur

- [1] Materiaalstromen, milieu-impact en energieverbruik in de woning- en utiliteitsbouw, Stichting Economisch Instituut voor de Bouw en Metabolic, januari 2020
- [2] Activity report 2023, CEMBUREAU, mei 2024
- [3] Ontwikkelingen betreffende hoofdbestanddelen voor klinkergebaseerde cementen en geopolymere, SGS INTRON, mei 2021
- [4] Klimaatimpact van betongebruik in de Nederlandse bouw, vergelijking 1990, 2010 en 2017, CE Delft, september 2020
- [5] CO₂ uptake in cement-containing products, IVL Swedish Environmental Research Institute, 2018
- [6] Milieu-impact van betongebruik in de Nederlandse bouw, CE Delft, april 2013
- [7] CO₂-reductie: opties voor cement, Cement 1/2020, Aeneas, 2020.
- [8] From Ambition to Deployment - our 2050 roadmap, CEMBUREAU, mei 2024.

Cement&BetonCentrum

Het Cement&BetonCentrum is de branchevereniging voor de cementindustrie in Nederland. Onze leden zijn CCB, Dyckerhoff, Heidelberg Materials en Holcim. Het Cement&BetonCentrum houdt zich bezig met marktonderzoek, communicatie, kennisoverdracht, technisch onderzoek, belangenbehartiging en regelgeving.

www.cementenbeton.nl



Cement&Beton
Centrum