

# Ketenanalyse Beton

## *Opdrachtgever*

W.A. Benecke Beheer B.V.

## *Auteur*

A. Kat

W.A. Benecke

De ketenanalyse is mede opgesteld J. Krook en F van de Beek van Coning Adviesgroep. Daarmee wordt voldaan aan eis 4.A.3 van de CO2-Prestatieladder voor de professionele ondersteuning.

## *Datum/versie nummer:*

08 april 2021 update 7 april 2023

Status: Definitief

## Inhoud

|   |    |
|---|----|
| <i>Inhoud</i> .....                     | 2  |
| 1 <i>Inleiding</i> .....                | 3  |
| 2 <i>Meest relevante emissies</i> ..... | 4  |
| 3 <i>Waardeketen W.A. Benecke</i> ..... | 5  |
| 4 <i>Beton</i> .....                    | 5  |
| 5 <i>Betonketen</i> .....               | 8  |
| 6 <i>Ketenanalyse:</i> .....            | 10 |
| 7 <i>CO2 Productie</i> .....            | 11 |
| 8 <i>CO2 Reductie</i> .....             | 16 |
| 9 <i>Doelstellingen</i> .....           | 18 |

# 1 Inleiding

Bij de productie van beton is cement de bepalende factor hoe 'groen' het betonnen eindproduct is. Tijdens de aanbestedingsfase kunnen er eisen worden gesteld aan duurzaamheid en CO<sub>2</sub>. Aannemers die zich in willen schrijven op het project moeten bijvoorbeeld een plan opstellen, waarin o.a. CO<sub>2</sub>-reductie wordt uitgewerkt. De aannemer met het beste plan krijgt de grootste fictieve korting op de inschrijfsom. De plannen omtrent CO<sub>2</sub>-reductie en duurzaamheid die in de tenderfase zijn opgesteld worden in de ontwerpfase verder uitgewerkt. Plannen blijven plannen als ze niet worden uitgevoerd tijdens de bouwfase. In de ketenanalyse is gekeken naar het realistische gehalte van de plannen die aannemers hebben en of ze daadwerkelijk worden uitgevoerd. Aanvullend is gekeken of de toepassing van betongranulaat wel zo milieuvriendelijk is als wordt gedacht? Als laatste is gekeken naar innovaties die kunnen bijdragen aan CO<sub>2</sub>-reductie in de betonketen, en algemene informatie m.b.t. CO<sub>2</sub>-uitstoot in de betonketen en de betonsamenstelling. De ketenanalyse gerecycled Beton is mede tot stand gekomen in samenwerking met aannemers uit de ketengroep 'Beton Bewust'. Het doel was samen te kijken naar de maatregelen om CO<sub>2</sub> te reduceren in de betonketen. In hoofdstuk 2 wordt de ketenanalyse gekoppeld aan het PMC-overzicht en de scope 3 emissie inventaris van W.A. Benecke. Met de ketenanalyse wordt een analyse uitgevoerd op de mogelijkheden voor het reduceren van CO<sub>2</sub> in de betonketenen op welke manier hier efficiënter mee om gegaan kan worden.

## 2 Meest relevante emissies.

Middels de scope 3 dominantieanalyse is in kaart gebracht welke emissie categorieën van toepassing zijn voor W.A. Benecke. Vervolgens is de relevantie en omvang bepaald door het toepassen van een scorebepaling. De scorebepaling is gebaseerd op het feit dat zowel de relatieve omvang als de relatieve invloed op activiteiten beiden invloed hebben op de CO<sub>2</sub>-emissie. Door deze te vermenigvuldigen met de algehele relatieve invloed op de CO<sub>2</sub>-emissie kan de totale score worden opgemaakt van het aandeel van de genoemde categorie scope 3 emissie op het totale beeld van CO<sub>2</sub>-emissie. De normen vragen van W.A. Benecke dat er één ketenanalyse wordt gemaakt voor één van de twee meest relevante emissies.

| Top 6 - Scope 3 emissies                          |  |                            |
|---|--|----------------------------|
| 1. Categorie: Aangekochte goederen en diensten    |  | 3115,8 ton CO <sub>2</sub> |
| 2. Categorie: Downstream transport en distributie |  | 117,1 ton CO <sub>2</sub>  |
| 3. Categorie: Kapitaal goederen                   |  | 78,8 ton CO <sub>2</sub>   |
| 4. Categorie: Up stream geleaste activa           |  | 12,0 ton CO <sub>2</sub>   |
| 5. Categorie: Productieafval                      |  | 5 ton CO <sub>2</sub>      |
| 6. Categorie: Woon-werkverkeer                    |  | ton CO <sub>2</sub>        |

In de kwalitatieve analyse is bepaald dat de meest relevante emissie is in de Product Markt Combinatie 'Aannemerij binnen de overheid'.

Op basis van de top 80% van de ingekochte goederen is een analyse gemaakt waar de meest relevante emissie binnen de Scope van W.A. Benecke zich bevindt.

|  |      |        |
|--|------|--------|
| Onderaannemer - incl. - betonreparaties                    | 0,26 | 128,83 |
| Onderaannemer - incl. - asfalt                             | 0,26 | 35,64  |
| Onderaannemer - incl. - betonreparaties                    | 0,26 | 32,18  |
| Inkoop betonen waterbouwproducten - rechtstreekse levering | 1,03 | 98,40  |
| Onderaannemer - incl. - wegenbouw                          | 0,26 | 15,35  |

Op basis van gegevens uit de scope 3 analyse is besloten om een ketenanalyse voor gerecycled beton op te stellen.

De scope 3 analyse over 2022 laat zien dat de meest relevante emissie nog steeds in de keten beton zit, zie hiervoor scope 3 analyse over 2022.

## 3 Waardeketen W.A. Benecke

De normeisen verwacht van W.A. Benecke dat de ketenpartners - betrokken binnen de keten van beton- in beeld worden gebracht. In een ketenanalyse zijn dit de partijen binnen de upstream en downstream van de keten en tevens partijen met wie in overleg wordt getreden voor het nemen van maatregelen voor verdere reductie van CO<sub>2</sub>- emissies. Om een goed beeld van de keten en de betrokken partners te geven wordt eerst de waardeketen omschreven en vervolgens de betonketen.

W.A. Benecke creëert waarde in de keten door middel van het verwerven, ontwerpen, aannemen en uitvoeren van (geïntegreerde en/of multidisciplinaire) projecten in de grond-, weg- en waterbouw, beton- en industriewerken.

## 4 Beton

Beton is een bouw materiaal met een samenstelling bestaande uit water, zand, grind, bindmiddelen en eventueel hulp- en/of vulstoffen. Zand en grind worden toeslagmaterialen genoemd en wordt bij elkaar gehouden door het bindmiddel dat met water een reactie vormt. Bijna altijd wordt cement als bindmiddel toegepast. Het cement wordt door een chemische reactie met water verhardt. De water/cementfactor, de hoeveelheid water gedeeld door de hoeveelheid cement, is bepalend voor de duurzaamheid en sterkte van beton. Er zijn verschillende types cement met een kleiner of groter gehalte aan portlandcement en hoogovenslak of andere grondstoffen, aangeduid met CEM I tot en met CEM V. De aanduiding van de verschillende cementsoorten bestaat uit 'CEM', gevolgd door het Romeinse cijfer (I tot en met V) van de soort, daarna de letter A, B of C, afhankelijk van het afnemende klinkergehalte en een hoofdletter die staat voor het bestanddeel wat naast de portlandcementklinker is gebruikt.

- *CEM I: Portlandcement met maximaal 5% andere stoffen.*
- *CEM II: Allerlei mengvormen met portlandcement en bijvoorbeeld leisteen, minimaal 65% portlandcement*
- *CEM III: Hoogoven-portlandcementmengsel in 3 klassen: A, B en C*
- *CEM III/A de minste (36-65%) en*
- *CEM III/C de meeste (81-95%) hoogovenslak bevat.*
- *CEM IV: Puzzolaancementsoorten.*
- *CEM V: Composietcementen, met mengsels van portlandcement, hoogovenslak en puzzolanen.*

Zand en grind zijn toeslagmaterialen die meestal in Nederlands beton worden gebruikt. Betonmortel bestaat uit ca. 75% uit toeslagmaterialen. Afhankelijk van de beschikbaarheid van deze materialen kunnen deze toeslagmaterialen worden vervangen door andere materialen, zoals graniet, bariet, porfier, kalksteen, basalt, kwarts en betongranulaat. De sterkteklasse en toepassing kunnen er ook voor zorgen dat andere materialen als toeslagmateriaal worden gebruikt. Water wordt altijd gebruikt in betonmortel en zorgt ervoor dat het chemische proces in werking wordt gebracht. Gebruik van andere toeslagmaterialen zorgt ervoor dat de dichtheid van beton kan variëren.

Basalt heeft bijv. een hoge dichtheid, waardoor de dichtheid van het beton ook een hoge dichtheid heeft. In de NEN-EN-206 wordt er onderscheid gemaakt tussen licht, normaal en zwaar beton:

- Lichtbeton met een dichtheid van 800 - 2000 kg/m<sup>3</sup>;
- Normaal beton met een dichtheid van 2000 - 2600 kg/m<sup>3</sup>;
- Zwaar beton met een dichtheid groter dan 2600 kg/m<sup>3</sup>.

Welke toeslagmaterialen er in het beton worden toegepast is afhankelijk van de gewenste prestaties van het beton. Het is projectafhankelijk aan welke eisen het beton moet voldoen en welke toeslagmaterialen ervoor benodigd zijn. Zo is de gevolgklasse van een betonvloer in een hal minder streng dan een betonnen brugdek, maar kan een betonvloer in een hal wel strenge eisen bevatten vanwege de aanwezigheid van bijvoorbeeld chemicaliën. Een betonnen brugdek komt in aanraking met strooizout en weersinvloeden en een betonvloer in een hal eventueel met chemicaliën. Mechanische (vervorming, druksterkte), chemische (verontreinigingen) en fysische (dichtheid, textuur, korrelvorm) eigenschappen bepalen de keuze van het toeslagmateriaal om een geschikt betonmengsel samen te stellen.

Na bewerking, breken, zeven en reinigen, kan gesloopt beton meestal worden hergebruikt als toeslagmateriaal in nieuw beton. Als meer dan 90% van het beton een volumemassa heeft van 2000 kg/m<sup>3</sup> dan mag het betongranulaat worden genoemd. Er zijn kwaliteitseisen vastgelegd (CUR 112/ NEN-EN 206/ NEN 8005) in hoeverre betongranulaat als vervanger van grind in beton mag worden gebruikt. Een vervanging tot 30% van type A1 is in vrijwel alle betonconstructies toegestaan. Extra aandacht wordt gevraagd voor schoonbeton en betonconstructies die belast worden met dooizouten. De VOBN heeft een productinformatieblad betongranulaat 4/32 opgesteld waarin de kwaliteitseisen conform CUR112 en NEN5909 zijn vastgelegd. Naast de constructieve, technologische en uitvoeringsaspecten is ook gekeken naar de invloed van betongranulaat op de textuur en homogeniteit, warmteaccumulatie, geluid en emissies vanuit het materiaal.

Er zijn geen beperkingen om tot 50% betongranulaat als grindvervanger in beton te gebruiken, geldend voor sterkteklassen C12/15 tot en met C53/65, mits aan de volgende eisen wordt voldaan:

- *Gehalte aan beton conform NEN 5942 > 90%;*
- *Gehalte overig steenachtig conform NEN 5942 < 10%;*
- *Andere niet steenachtige bestanddelen NEN 5942 < 0,5%;*
- *Lichte niet-steenachtige bestanddelen conform EN 1744-1 par. 14.2 < 0,1%;*
- *CUR-Aanbeveling 112 moet zijn overeengekomen tussen opdrachtgever en opdrachtnemer.*

Daarnaast moet het betongranulaat voorzien zijn van een KOMO-productcertificaat, waarin milieu hygiënische en technische specificaties zijn vastgelegd.

Een materiaal dat niet kan ontbreken bij het maken van beton is water. Water heeft twee belangrijke functies:

- De grondstoffen cement en water vormen na een chemische reactie cementsteen. Dit is een verhard steenachtig eindproduct. De chemische reactie tussen cement en water wordt hydratatie genoemd, het toevoegen van water aan een bepaalde stof.
- Het zorgt ervoor dat betonmortel een bepaalde vloeibaarheid heeft, waardoor de mortel in een vorm gegoten kan worden.

Als er te weinig water in zit dan is het beton te droog en is het lastig te storten. Als het beton te nat is dan gaan zakken de zware materialen (grind) naar beneden en drijft het cement naar boven. Cement heeft zo'n 40% van zijn gewicht aan water nodig om de chemische reactie volledig te laten slagen. Het kan voorkomen dat de betonmortel dan slecht te gieten is. Daardoor wordt er in de praktijk vaak meer water toegevoegd, zo'n 50% van het gewicht van het cement. De verhouding tussen water en cement wordt de watercementfactor (wcf) genoemd. Als er extra water aan het mengsel wordt toegevoegd ontstaan er poriën. Poriën in beton beïnvloeden de sterkte van het beton als er fors meer water wordt toegevoegd.

## 5 Betonketen

In de betonketen wordt de cyclus van beton weergegeven. De cyclus bevat de volgende fases: grondstoffen (winning), betonproductie, ontwerp-/bouwphase, gebruiksfase en sloopfase.

**GRONDSTOFFEN** Bij het bouwen van betonconstructies moeten in de eerste plaats grondstoffen worden gewonnen om cement en beton te kunnen produceren. Cement fungeert als bindmiddel in beton. Voor de productie van cement kunnen verschillende grondstoffen worden gebruikt als gevolg van de verschillende types cement. Veel toegepaste grondstoffen in cement zijn hoogovenslak, klinker, vliegas en gips.

**BETONPRODUCTIE** Om betonmortel te kunnen maken wordt er water, zand en grind, en eventueel andere toevoegingen/hulpstoffen aan het cement toegevoegd. Projectafhankelijk kan ervoor worden gekozen om basalt, graniet, kwarts of kalksteen toe te voegen. Het water zorgt voor hydratatie van cement en dat het mengsel vloeibaar genoeg is om in een betonmixer te kunnen transporteren. Een betonmixer is een vrachtwagen uitgerust met een draaiende cilindervormige trommel waarin het mengsel zich bevindt. Het voortdurend in beweging houden van het mengsel zorgt ervoor dat de specie niet ontmengd en daardoor vloeibaar genoeg blijft om op de bouwplaats te kunnen storten.

**ONTWERP-/BOUWFASE** In de ontwerpfase hebben architecten, ingenieurs, tekenaars en constructeurs uitgedacht hoe het ontwerp eruit moet komen zien en berekend aan welke eisen het beton moet voldoen. Omgevingsfactoren, belastingen, uitstraling en functionaliteit spelen een belangrijke rol bij het ontwerp. Steeds vaker kunnen aannemers een fictieve korting krijgen op de aannemingssom als ze duurzaamheid en CO<sub>2</sub>-reductie meenemen in het ontwerp. Tijdens de bouwphase wordt de betonmortel op de bouwplaats afgeleverd. Op de bouwplaats hebben bouwplaats medewerkers bekisting aangebracht en de wapeningsnetten op de juiste plaats in de constructie bevestigd. In de bekisting wordt de betonmortel aangebracht, verdeeld over de constructie en verdicht.

**GEBRUIKSFASE** Na de bouw wordt het kunstwerk/gebouw in gebruik genomen. De ontwerplevensduur is meestal 50 a 100 jaar. In de praktijk wordt na de ontwerplevensduur vaak een plan gemaakt om het kunstwerk in stand te houden, zodat de levensduur met nog enkele decennia wordt verlengd.

**SLOOPFASE** Op het moment dat de levensduur van het kunstwerk/gebouw is verstreken breekt de sloopfase aan. De sloop wordt vaak gedaan door specialistische bedrijven die zich enkel richten op slopen en recyclen. Tijdens de sloop wordt het de betonnen constructie ontmanteld en worden de grove materialen gescheiden in betonpuin, wapeningsstaal en restafval (bv. vloerbekleding in gebouwen). Het grootste deel van het betonpuin wordt ingezet als wegfundering. Het minderdeel wordt als betongranulaat ingezet in nieuw beton. Innovaties maken het in de nabije toekomst mogelijk dat een klein deel kan worden gebruikt om schoon cementsteen terug te winnen, zodat het nogmaals kan dienen als cement in nieuw beton. Deze methode is nog sterk in ontwikkeling. Wapeningsstaal wordt verkocht aan staalproducenten, die smelten het weer en gebruiken het opnieuw in uiteenlopende functies (constructiestaal tot auto-onderdelen).





## 6 Ketenanalyse:

De betonketen is in samenwerking met onderstaande partijen onderzocht. De kernactiviteiten van W.A. Benecke bevinden zich in de waterbouw.

**LEVERANCIERS** Betonleveranciers, betonproducenten;

**ONDERAANNEMERS** Denk hierbij onderaannemers die een rol spelen bij de betonactiviteiten.

Als we kijken naar de betonketen en inzoomen op de belangrijkste fasen dan kunnen onderstaande ketenpartners geïdentificeerd worden.

**BETONPRODUCTIE** Voor deze fase kijken we vooral naar de tenderfase waarbij projecten worden aangenomen. De meest gewenste vorm is een aanbesteding waarin opdrachtnemer ruimte heeft om met de opdrachtgever mee te mogen denken en vanaf initiatiefase aangesloten te zijn. Dan kan er al gekeken worden naar doelstellingen en visie op de betonproductie. Gaan we voor groen beton of zijn er toch ontwerpeisen die hier afwijken. Daarnaast kan budget ook een rol spelen. W.A. Benecke heeft hier wel invloed op de opdrachtgever en is belangeloos en als uitgangspunt zal W.A. Benecke altijd gaan voor groen beton. In deze fase kan W.A. Benecke vooral als stimulans optreden. De ketenpartners die hier worden gezien zijn de opdrachtgevers, overheid.

**ONTWERP EN BOUWFASE** Voor de ontwerpfase wordt volledig aangesloten bij de betonproductie fase. Aanvullend daarop hebben we als W.A. Benecke invloed op het ontwerp als dit in het bestek zit. Dat betekent dat we mogen meedenken of bepalen hoe het ontwerp eruit komt te zien en we dus invloed hebben op de hoeveelheid toegepaste beton en welke soort. In de ontwerpfase en bouwphase wordt besloten hoeveel staal er verwerkt wordt in de constructies, welke bekisting gebruikt wordt en onder welke omstandigheden en condities gewerkt wordt. Dit is niet direct beton, maar biedt wel potentiële kansen voor reductievermindering in de betonketen. Bijvoorbeeld door minder staal in te zetten of een minder intensief bouwproces.

**GEBRUIKSFASE** In de gebruiksfase vindt er geen grootschalige betonproductie of toepassing plaats. Dus je zou hier geen ketenpartner kunnen aanwijzen. Echter in de gebruiksfase weten we dat het vaker voor kan komen dat er betonreparaties uitgevoerd moeten worden.

**SLOOPFASE** Deze fase behoort niet tot de kernactiviteiten.

## 7 CO2 Productie

In dit hoofdstuk wordt gekeken naar hoeveel CO2 er is in de betonketen voor W.A. Benecke zijn. Hiervoor moet weer gekeken worden naar de verschillende betonmengsels en welke uitstoot er in de keten plaatsvindt.

CO2 productie gemiddeld betonmortelmengsel Betonproducenten hebben duizenden verschillende betonmengsels in hun databases staan. Ieder betonmengsel heeft een andere CO2-uitstoot tot gevolg. Om de CO2-uitstoot van de meest voorkomende mengsels te berekenen wordt uitgegaan van het gemiddelde betonmortelmengsel volgens een onderzoeksrapport van CE-Delft: 'Update prioritering handelingsperspectieven verduurzaming betonketen 2016':

Met deze gegevens kan enkel de CO2-uitstoot van de grondstoffen, betonproductie (excl. transport naar bouwplaats) en sloop van de betonconstructie (excl. wapening) worden berekend. Door het toevoegen van processen op de bouwplaats in de 'CUR-ontwerptool Groen Beton' is het wel mogelijk de CO2-uitstoot van de gemiddelde betonmortel van de hele betonketen te berekenen. Hieronder behoren het transport, bekisting, wapening en aanvullende processen op de bouwplaats. In onderstaande tabel zijn aannames gedaan om een zo'n juist mogelijk beeld van de totale CO2-uitstoot van de gemiddelde betonmortel te krijgen.

| Component                                  | Gemiddelde samenstelling (kg/m <sup>3</sup> ) |                |                           |
|--|---|----------------|---------------------------|
|  | Betonmortel                                   | Betonproducten | Beton gemiddeld (gewogen) |
| Portlandcement CEM I                       | 59  | 199            | 119                       |
| Hoogovencement CEM III                     | 253   | 114            | 193                       |
| Rivierzand                                 | 787   | 870            | 823                       |
| Riviergrind                                | 1.034   | 993            | 1.016                     |
| Betongranulaat                             | 40  | 53             | 46                        |
| Poederkoolvliegias                         | 6   | 16             | 10                        |
| Kalksteenmeel                              | 0   | 36             | 16                        |
| Water                                      | 167   | 106            | 141                       |
| Gemiddeld totaal                           | 2.346   | 2.386          | 2.363                     |
| Waarden berekend op basis van gegevens van | VOBN  | BFBN           |                           |

TABEL 1: GEMIDDELDE SAMENSTELLING BETON<sup>1</sup>

| Onderdeel in proces            | Definitie                              | Waarde                          |
|--------------------------------|--|---------------------------------|
| <i>Bouwplaats</i>              | Betonmengsel of prefab                 | Betonmengsel                    |
|                                | Hoeveelheid                            | 500 m <sup>3</sup>              |
|                                | Afvalpercentage                        | 0,49%                           |
|                                | Transport betonmengsel naar bouwplaats | Gemiddelde truckmixer           |
|                                | Afstand naar bouwplaats                | 20 km                           |
| <i>Bekisting</i>               | Multiplex*                             | 2500 kg                         |
|                                | Vurenhout*                             | 2500 kg                         |
|                                | Ontkistingsmiddel                      | 3 kg                            |
| <i>Wapening en metaal</i>      | Soort                                  | Wapeningsnet (FeB 500 HKN)      |
|                                | Gewicht**                              | 48500 kg                        |
| <i>Processen op bouwplaats</i> | Verdichten                             | 500 m <sup>3</sup> met trilbalk |
|                                | Energie***                             | Elektriciteit 4000 kWh          |

\* = aanname 37,5 kg/m<sup>2</sup>, 50% multiplex/50% vurenhout

\*\* = aanname 97 kg wapeningsstaal/m<sup>3</sup> beton (+/- 1,25% wapening)

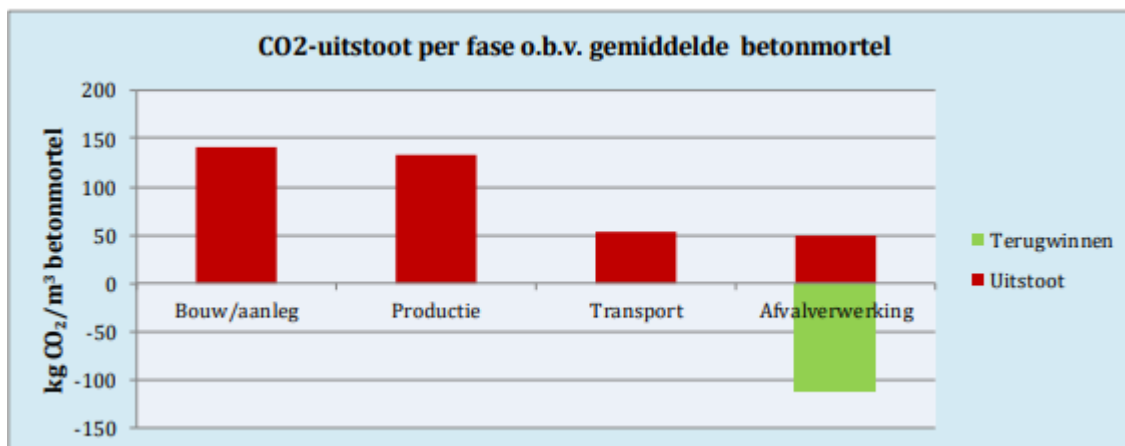
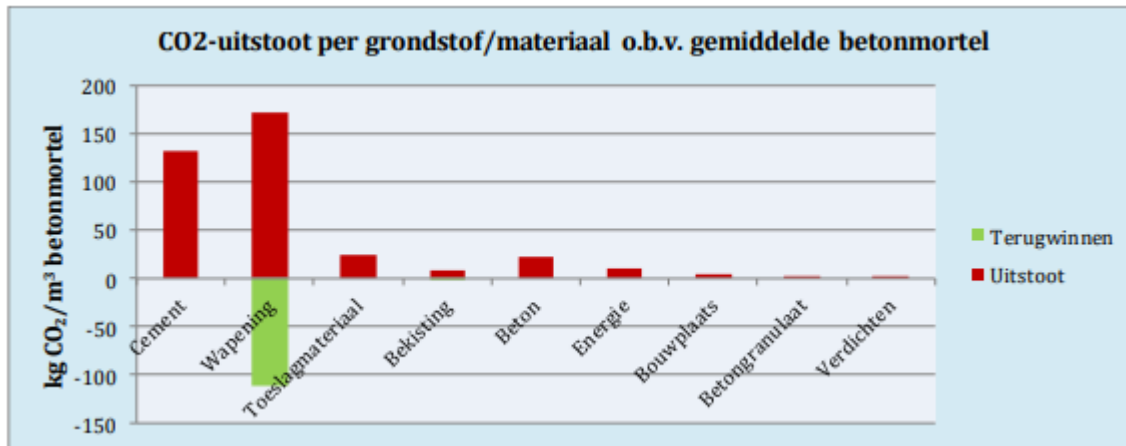
\*\*\* = aanname elektriciteitsverbruik bouwketen

<sup>1</sup> (CE-Delft, november 2016)

Het blijkt dat bij de productie van het cement de meeste CO<sub>2</sub> vrijkomt. Het vermoeden wordt hiermee bevestigd. Opvallend is dat er net zoveel CO<sub>2</sub> wordt uitgestoten bij de wapening in beton. Echter wordt 65% van de CO<sub>2</sub>- uitstoot 'teruggewonnen', doordat in de sloopfase het wapeningsstaal uit de constructie kan worden gehaald en omgesmolten kan worden voor toepassing in andere industrieën. In de volgende tabel is weergegeven hoeveel kg CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> betonmortel er per materiaal en fase wordt uitgestoten.

| Fase          |                                   | Materiaal        | kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> betonmortel |
|---------------|-----------------------------------|------------------|--|
| <b>A1</b>     | Productie                         | Toeslagmateriaal | 3,96   |
|               |                                   | Cement           | 124,28   |
|               |                                   | Betongranulaat   | 0,04   |
| <b>A2</b>     | Transport                         | Cement           | 7,81   |
|               |                                   | Toeslagmateriaal | 21,41  |
|               |                                   | Betongranulaat   | 0,16   |
| <b>A3</b>     | Productie                         | Energie          | 4,92   |
| <b>A4</b>     | Transport bouwplaats              | Bekisting        | 0,05   |
|               |                                   | Wapening         | 1,97   |
|               |                                   | Bouwplaats       | 4,56   |
| <b>A5</b>     | Bouwproces/aanleg                 | Bekisting        | 8,44   |
|               |                                   | Wapening         | 125,88   |
|               |                                   | Verdichten       | 0,03   |
|               |                                   | Energie          | 5,81   |
| <b>C1</b>     | Sloop                             |                  |  |
| <b>C2</b>     | Transport naar afvalverwerker     | Bekisting        | 0,05   |
|               |                                   | Wapening         | 0,69   |
|               |                                   | Beton            | 15,94  |
| <b>C3</b>     | Afvalverwerking                   | Bekisting        | 0,03   |
|               |                                   | Beton            | 5,77   |
|               |                                   | Wapening         | 43,63  |
| <b>D</b>      | Afvalprocessen einde levenscyclus | Wapening         | -111,77  |
|               |                                   | Bekisting        | -1,38  |
| <b>TOTAAL</b> |                                   |                  | <b>278,98</b>                                  |

Op basis van de berekeningen m.b.v. de 'CUR-ontwerptool Groen Beton', kan inzichtelijk worden gemaakt hoeveel CO<sub>2</sub> er wordt uitgestoten tijdens het gehele proces (grondstofwinning tot sloop/recycling) en hoeveel CO<sub>2</sub> er wordt gereduceerd door hergebruik van materialen. Dit hebben we inzichtelijk gemaakt door te specificeren per grondstof/materiaal en per fase.



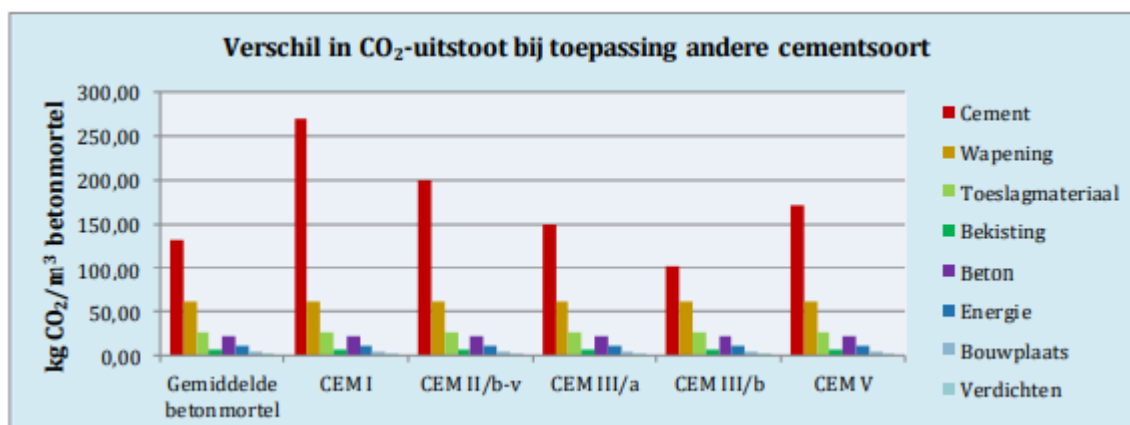
Om een vergelijking te kunnen maken hoe de betonmengsels die in de praktijk worden toegepast zich verhouden tot de gemiddelde samenstelling van betonmortel wordt de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de meest toegepaste bindmiddelen in beton berekend. Volgens de jaarlijkse benchmark van brancheorganisatie VOBN bestond iedere toegepaste m<sup>3</sup> bindmiddel in 2015 voor 68% uit CEM III, 16% uit CEM I, 9% uit vliegas en voor het overige deel uit hoogovenslak, CEM V en CEM II. In de verhoudingen van de toegepaste bindmiddelen in betonmortel de laatste vijf jaar niet is veranderd.

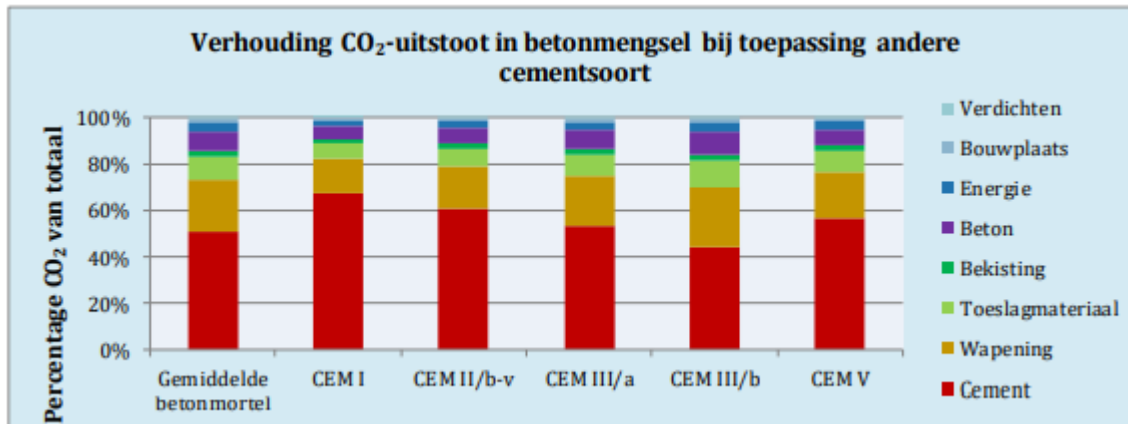
Op basis van betonmortelmengsels met CEM I, CEM II/b-v, CEM III/a, CEM III/b en CEM V wordt een vergelijking gemaakt van de CO<sub>2</sub>-uitstoot in de betonketen. De hoeveelheden zand, grind en water is in ieder mengsel hetzelfde en heeft hetzelfde soortelijk gewicht als de gemiddelde betonmortel. In de tabel op de volgende pagina is de samenstelling van de betonmortel weergegeven. De samenstelling van het cement heeft invloed op de CO<sub>2</sub>-uitstoot in het betonmengsel. Er kunnen veel verschillende cementsamenstellingen zijn binnen hetzelfde cementtype, omdat er een bepaalde range per cementgrondstof is vastgesteld. Dat is in de tabel die erop volgt weergegeven.

| Samenstelling    | Hoeveelheid<br>[kg/m <sup>3</sup> betonmortel] |
|------------------|--|
| Cement           | 318  |
| Rivierzand       | 800  |
| Riviergrind      | 1.061  |
| Water            | 167  |
| Gemiddeld totaal | 2.346  |

| Naam              | Betekenis            | Samenstelling (in %)       |              |         |
|-------------------|----------------------|----------------------------|--------------|---------|
|                   |                      | Portlandcement-<br>klinker | Hoogovenslak | Vliegas |
| <b>CEM I</b>      | Portlandcement       | 100%                       |              |         |
| <b>CEM II/b-v</b> | Portlandvliegasement | 65-79%                     |              | 21-35%  |
| <b>CEM III/a</b>  | Hoogovencement       | 35-64%                     | 36-65%       |         |
| <b>CEM III/b</b>  | Hoogovencement       | 20-34%                     | 66-80%       |         |
| <b>CEM V</b>      | Composietcement      | 40-64%                     | 18-30%       | 18-30%  |

De verschillende betonsamenstellingen op basis van variatie in cementtype leiden tot een verschil in CO<sub>2</sub>- uitstoot van het mengsel. Volgens Prof. K. Sakai is portlandcement wereldwijd goed voor 5-7% van de CO<sub>2</sub>- uitstoot. In Nederland ligt dat op ongeveer 1%, dankzij het gebruik van klinkerarm cement. Met behulp van de 'CUR-ontwerptool Groen Beton' is een vergelijking tot stand gekomen, waarin is berekend welke mengsels het meest 'groen' zijn en hoeveel ze onderling afwijken van elkaar als het gaat om CO<sub>2</sub>-uitstoot. Daar wordt bevestigd dat het veel toepassen van portlandcement een grote bijdrage kan hebben bij de wereldwijde CO<sub>2</sub>-uitstoot. In onderstaand figuur is het aantal kg CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> betonmortel weergegeven, waarbij het type cement de bepalende factor is van de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van het beton. De figuur die erop volgt, op de volgende bladzijde, laat de verhoudingen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot tussen de processen zien. In beide figuren is het gehele proces van grondstofwinning tot sloop meegenomen in de berekening





Samengevat kan worden gezegd dat het cementtype van grote invloed is op de CO<sub>2</sub>-uitstoot van het beton en het gehele project. In onderstaande tabel zijn de afwijkingen t.o.v. de gemiddelde toegepaste cementtype weergegeven. CEM I blijkt de meest milieubelastende variant te zijn, en CEM III/b de meest groene variant als het gaat om veelgebruikte cementtypen.

| Cementtype                              | kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> betonmortel | % t.o.v. basis |
|---|--|----------------|
| Gemiddelde betonmortel ( <i>basis</i> ) | 132,09   | 100%           |
| CEM I                                   | 269,35   | 204%           |
| CEM II/b-v                              | 199,24   | 151%           |
| CEM III/a                               | 149,25   | 113%           |
| CEM III/b                               | 103,21   | 78%            |
| CEM V                                   | 171,88   | 130%           |

## 8 CO2 Reductie

Betongranulaat in nieuw beton is niet de enige oplossing om CO<sub>2</sub>-uitstoot te reduceren. Er vinden diverse innovatieve ontwikkelingen plaats. In deze ketenanalyse zijn een aantal andere interessante ontwikkelingen meegenomen als mogelijke maatregel. De genoemde innovaties kunnen CO<sub>2</sub>-uitstoot terugdringen.

CO<sub>2</sub> als reductiebron CarbonCure is er in geslaagd een technologie te ontwikkelen waarbij reeds uitgestoten CO<sub>2</sub> terug gebracht wordt in beton. Koolstofdioxide wordt vanuit een tank in gasvorm tijdens het productieproces in het beton geïnjecteerd. Uit onderzoek is gebleken dat door het toepassen van CO<sub>2</sub> in beton de kwaliteit aanzienlijk verbeterd. Dit heeft als gevolg dat er minder cement toegepast hoeft te worden om dezelfde sterkte te bereiken.

**REACTIEVERGELIJKING** Door het toevoegen van CO<sub>2</sub> vindt er een extra chemische reactie plaats in het productieproces van het beton. Door deze reactie wordt de CO<sub>2</sub> vastgelegd in het beton in de vorm van kalksteen. Dit betekent dat bij het breken van een betonconstructie aan het einde van de levensduur, deze CO<sub>2</sub> niet meer vrijkomt. Op die manier wordt CO<sub>2</sub> gebruikt als grondstof, die niet meer teruggewonnen wordt.

**DAADWERKELIJKE CO<sub>2</sub>- REDUCTIE** Er wordt met deze methode CO<sub>2</sub> gereduceerd door CO<sub>2</sub> die reeds uitgestoten is toe te passen als grondstof en door het cement dat niet toegepast hoeft te worden als gevolg van het toepassen van CO<sub>2</sub>. Bij het injecteren van 593 gram CO<sub>2</sub> in één kuub beton wordt er twintigkeer zo veel CO<sub>2</sub> bespaard dankzij het niet toepassen van het cement. Dit houdt in dat er nog eens 11.866 gram CO<sub>2</sub> bespaard wordt. Echter brengt het vernieuwde proces wel extra werkzaamheden met zich mee. Zo moet de CO<sub>2</sub> opgevangen worden en getransporteerd naar de locatie waar het verwerkt zal worden. Dit brengt een verlies van 119 gram CO<sub>2</sub> per geproduceerde kuub met zich mee. Bij elkaar opgeteld is de CO<sub>2</sub>-reductie per kuub beton 12.341 gram. Op basis van de gemiddelde betonmortelsamenstelling die is gegeven in het onderzoeksrapport van CE-Delft kan hieruit opgemaakt worden dat er 9% cement bespaard kan worden. In combinatie met de andere bovengenoemde factoren komt dit uit op een besparing van 4,7% CO<sub>2</sub>-uitstoot op het volledige ketenproces per kuub beton.

**NADELEN** Er moet gewaarborgd worden dat door middel van het grootschalig toepassen van hoogovenslak en vliegashoudend geopolymerbeton er geen schaarste optreedt in deze producten. Dit zou namelijk kunnen leiden tot een toename van het gebruik van portlandcementklinker in traditioneel beton, waardoor de CO<sub>2</sub>-uitstoot weer toeneemt. Over de constructieve eigenschappen van geopolymerbeton en de ontwikkeling daarvan in de tijd is nog veel onzekerheid. Ook over de bescherming van wapening in geopolymerbeton zijn nog de nodige vragen. Geopolymerbeton is door het hoge gehalte aan alkaliën ook niet circulair toe te passen. Het is alleen nog geschikt als fundatiemateriaal of als betongranulaat in nieuw geopolymerbeton. Als deze problemen opgelost zijn is het een product waarmee de grootste uitstootbron binnen het beton vervangen kan worden wat een enorme CO<sub>2</sub>-reductie op kan leveren.

### **Solidia-Cement:**

Het toepassen van Solidia-cement kan een CO<sub>2</sub> besparing opleveren. Solidia Technologies heeft een alternatief cement ontwikkeld op basis van Wollastoniet (CaSiO<sub>3</sub>), een calciumsilicaat. Het Solidia-cement vormt beton met dezelfde ingrediënten als Portlandcement. Alleen de uithardingsreactie is een carbonatatiereactie met CO<sub>2</sub>. Er zijn twee grote bijkomende voordelen. Het cement reageert met CO<sub>2</sub> in plaats van water. Hierdoor hoeven er dus geen grote hoeveelheden water toegevoegd te worden. Als tweede heeft het Solidia-beton de 28 dagen sterkte al na 24 uur bereikt. Mits de carbonatatiereactie



bij een temperatuur van 40 tot 60 graden Celsius plaatsvindt. Hierdoor kan snel ontkist worden en worden bouwprocessen niet opgehouden en kan dit in veel gevallen zelfs versneld worden. Doordat het cement in dezelfde installaties als het portlandcement gemaakt kan worden hoeven er weinig aanpassingen op de markt plaats te vinden. Dit zou de overgang kunnen vergemakkelijken. Solidia-cement wordt met een lagere temperatuur geproduceerd en er komt minder CO<sub>2</sub> vrij bij de productie. Dit samen geeft al een reductie van ongeveer 30% ten opzichte van de productie van portlandcement. Dan is er ook nog de CO<sub>2</sub> die opgenomen wordt in het beton. Hiermee wordt tot 300kg CO<sub>2</sub> per ton cement opgenomen in het beton. Er zijn al testen uitgevoerd met het op grote schaal produceren van Solidia-cement. Deze testen zijn geslaagd. Op dit moment is de uitdaging om het cement ook daadwerkelijk toe te passen. De mogelijkheden zijn op dit moment beperkt tot niet constructieve toepassingen.

### Advanced Dry Recovery (ADR)

Er zijn op dit moment verschillende innovaties gaande op het gebied van het terugwinnen van materialen/grondstoffen uit het beton dat aan het einde van zijn levensduur is. Traditioneel wordt het beton gebroken tot een aantal gangbare gradaties. Het wapeningsstaal wordt op dat moment gescheiden en hergebruikt. Het overgebleven gebroken betonpuin kan hergebruikt worden als wegfundatie en kan toegepast worden als grindvervanger in nieuw beton. De ADR wordt ontwikkeld door een Europese samenwerking van partijen in verschillende segmenten in de betonketen. Zo zijn producenten, aannemers, eindverwerkers, kennisinstellingen en overheden betrokken bij de ontwikkeling van deze technologie. De technologie is gebaseerd op het verschil in kinetische energie van een object. Gebroken puin met een fractie 0-16 kan door deze techniek gescheiden worden in de gradaties 0-4 en 4-16. Dit gebeurt in een vochtige omgeving en hierdoor komt er dus geen schadelijk stof vrij. De gradatie 4-16 is zeer geschikt om als grindvervanger toegepast te worden in nieuw beton. Dit vanwege de kleine hoeveelheid fijn toeslagmateriaal. Hierdoor neemt de waterbehoefte minder toe. Voor de gradatie 0-4 is er een andere toepassing. Er wordt onderzocht naar hoe deze fractie de fijne toeslagmaterialen kan vervangen en misschien zelfs als alternatief voor cement. Hiervoor wordt het materiaal eerst gedroogd en daarna nog fijner gemalen. Hierdoor komt ongehydrateerd cement vrij. Uit proeven is gebleken dat er inderdaad cement bespaard kan worden door het toepassen van het materiaal uit de ADR.

### SmartCrusher

Materialen hebben verschil in druksterkte. Zand en grind hebben een veel hogere druksterkte dan cement. Dit is de variabele in het materiaal waarvan gebruik gemaakt wordt om het te kunnen scheiden. In plaats van door alles heen te breken oefent de SmartCrusher gedoseerd druk uit op het materiaal. Hierdoor breken alleen de cementen van het toeslagmateriaal af. Het resultaat is een schoon grind en zand dat hoogwaardiger toegepast kan worden dan grind en zand dat afkomstig is van winlocaties. Het andere product is het cement dat veel lichter is en door middel van luchtstromen afgevangen kan worden. Dit cement heeft zijn bruikbaarheid ook al bewezen. Door de SmartCrusher hoeft er veel minder klinker te worden geproduceerd. Het ongehydrateerde cement dat nog aanwezig is in oud beton loopt op tot zo'n 40 à 50%.

## 9 Doelstellingen

Cement vermindering van de hoeveelheid aan Portlandcementklinker heeft direct grote invloed op de CO<sub>2</sub>-emissie van beton. Vermindering daarvan kan door:

1. Verruiming van de grondstoffen die mogen worden ingezet om cement van te maken, oftewel optie CEM X.
2. Ontwikkeling alternatief bindstelsel, ofwel CSA-beliet.
3. Inzet super gesulfateerde cementen.
4. Inzet van CSH-cement als alternatief.
5. Inzet alkalisch geactiveerde materialen als cement.
6. Wapening met staalvezels in plaats van traditionele wapening.

### Toeslagstoffen

1. Optimalisatie van de pakkingsdichtheid
2. Inzet bodemas als vulstof met bindcapaciteit.
3. Het toepassen van zelfhelend beton met calciumcarbonaat producerende bacteriën.

### Ontwerp en bouwproces

1. Verminderen van de hoeveelheid beton die nodig is in de betonconstructie, door het beperken van de overdimensionering in het ontwerp.
2. Vermindering van de hoeveelheid klinker die nodig is voor het halen van de benodigde initiële sterkte.
3. Bij het ontwerp rekening houden met de mogelijke verandering van de functie van het gebruik van het gebouw.

Transport van zand en grind naar de betoncentrale Door inzet van energiezuiniger schepen en energiezuiniger varen, kan op deze emissie worden bespaard. Transport van de betoncentrale naar de bouwplaats Op het transport van de betonmortel met betonmixers naar de bouwplaats kan worden bespaard.

### W.A. Benecke stelt volgend doel vast voor deze ketenanalyse:

W.A. Benecke wil in 2026 t.o.v. 2021 10 % minder CO<sub>2</sub> uitstoten in de Beton keten.

De werkelijke CO<sub>2</sub>-reductie in de keten zal gewogen worden naar de hoeveelheid m<sup>3</sup> beton die ingekocht is. Per M<sup>3</sup> ingekocht beton kan door gebruik van CEM IIIB Cement 22% CO<sub>2</sub> bespaard worden, t.o.v. gemiddelde betonmortel. Om het startpunt beter te kunnen bepalen zal 2021 gebruikt worden om de exacte hoeveelheden ingekocht beton en welk cement soort daarbij is gebruikt in kaart te brengen.

| Cementtype                              | kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> betonmortel | % t.o.v. basis |
|---|--|----------------|
| Gemiddelde betonmortel ( <i>basis</i> ) | 132,09   | 100%           |
| CEM I                                   | 269,35   | 204%           |
| CEM II/b-v                              | 199,24   | 151%           |
| CEM III/a                               | 149,25   | 113%           |
| CEM III/b                               | 103,21   | 78%            |
| CEM V                                   | 171,88   | 130%           |



*De Milieukostenindicator (MKI) berekent de milieu-impact van de hele levenscyclus van een product en drukt deze uit in euro's. Hoe lager de MKI, hoe duurzamer. De MKI van een vierkante meter gebakken bestrating is gemiddeld € 0,85.*

*Er zijn veel factoren die bepalen hoe belastend een product is voor het milieu. Het gaat niet alleen om het productieproces, maar bijvoorbeeld ook om het transport, de levensduur en herbruikbaarheid. De MKI weegt alle relevante milieueffecten die ontstaan tijdens de levenscyclus van een product in de gehele waardeketen en telt deze op in één score. Ook wel de schaduwprijs en economische waarde voor de milieubelasting genoemd.*

*De levenscyclusanalyse is gebaseerd op de Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken. Deze gestandaardiseerde methode maakt het eenvoudig om de duurzaamheid van verschillende materialen met elkaar te vergelijken.*

*Straatbaksteen is een duurzaam materiaal. Maar hoe meet men duurzaamheid? De Milieukostenindicator (MKI) berekent de milieu-impact van de hele levenscyclus van een product en drukt deze uit in euro's. Hoe lager de MKI, hoe duurzamer. De MKI van een vierkante meter gebakken bestrating is gemiddeld € 0,85.*

#### *Duurzaam én circulair*

*De MKI-score maakt duidelijk dat straatbakstenen een relatief lage milieubelasting hebben. De volgende feiten spreken voor zich:*

- Straatbaksteen wordt o.a. gemaakt van Nederlandse rivierklei, dat officieel is aangemerkt als [hernieuwbare grondstof](#). Bovendien ontstaat er door kleiwinning rivierveiligheid en nieuwe natuur in de uiterwaarden.*
- De fabrieken van Vandersanden hanteren een efficiënt en geautomatiseerd productieproces, met zo min mogelijk energiegebruik en emissies. Ontdek de [natuurlijke ingrediënten van straatbaksteen](#).*
- In Tolkamer produceren we onze straatbakstenen in misschien wel de [meest energiezuinige baksteenoven van Europa](#)*
- Straatklinkers hebben een [gemiddelde levensduur van 135 jaar](#), soms wel 250 jaar*
- Straatbakstenen worden voor [ca. 90% hergebruikt](#)*

#### **Van der Sanden (gebakken materiaal)**

Terra antica onbezand UDF 20x6,5x6,5



DP21-Vandersanden-gebakken-bestrating

Ondertekening:

W.A. Benecke.

Een ondertekend exemplaar ligt ter inzake op kantoor.

Planning acties ketenanalyse beton W.A. Benecke

| Actie   | Gepland       | Wie          |
|---|---------------|--------------|
| ketenpartners benoemen over de totale inkoop                    | apr-21        | A.K en J.K.  |
| Contact met ketenpartners inzake hoeveelheden inkoop beton 2021 | mei 21-dec 21 | A.K.         |
| Analyse van de gegeven data                                     | jul-21        | A.K. en J.K. |
| Overleggen met ketenpartners inzake reductiemaatregelen         | aug 21-dec 21 | A.K.         |
| Eerste jaarlijkse rapportage voortgang ketenanalyse             | mrt-22        | A.K. en J.K. |

Ketenpartners over totale inkoop update mei 2021

| <b>Leverancier</b>               | <b>Catergorie</b>  |
|----------------------------------|--|
| 00867 Betonfabriek Nigtevecht    | Prefab betonleverancier  |
| 00260 Floris Bouwcenter          | Leverancier voor diverse materialen, waaronder bestratingsmaterialen                   |
| 00636 Gebr. van der Veekens      | Onderaannemer voor straatwerk, inclusief leverantie bestratingsmaterialen              |
| 00283 GVB Giverbo bv             | Leverancier betonnen verhardingsmaterialen   |
| 00351 Hercules Floating Concrete | Prefab betonnen casco's  |
| 00350 Holcim Coastal B.V.        | Prefab betonleverancier  |
| 00868 MABA Waterland             | Onderaannemer voor onder andere straatwerk, inclusief leverantie bestratingsmaterialen |
| 00458 Mebin B.V.                 | Leverancier betonmortel  |
| 00907 PSD Beton B.V.             | Prefab betonleverancier  |
| 00569 Spaansen Tuin- en          | Leverancier betonnen verhardingsmaterialen   |
| 00975 Van Kalsbeek Beton B.V.    | Prefab betonleverancier  |
| 01017 Wijcker Infra              | Onderaannemer voor straatwerk, inclusief leverantie bestratingsmaterialen              |

**Bronvermeldingen:**

brancheorganisatie VOBN

Onderzoeksrapport van CE-Delft: 'Update prioritering handelingsperspectieven verduurzaming betonketen 2016':

CO2 prestatieladder 3.1 22-06-2021

[Betonmortel en CO2-emissie | Betonhuis](#)

[CO2-arme beton: wensen en grenzen | BetonInfra](#)

[Duurzaam beton: niet moeilijk, wel complex | BetonInfra](#)

Dhr. S. Hiskemuller van der Zijden