

Ketenanalyse Beton

Opdrachtgever

Benecke Aannemingsmij 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 2025

Status: Definitief

Inhoud

Inhoud.....	2
1 Inleiding.....	3
2 Meest relevante emissies	4
3 Waardeketen W.A. Benecke	5
4 Beton.....	5
5 Betonketen.....	8
6 Ketenganalyse	10
7 CO2 Productie.....	11
8 CO2 Reductie	16
9 Doelstellingen	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 CO₂. Aannemers die zich in willen schrijven op het project moeten bijvoorbeeld een plan opstellen, waarin o.a. CO₂-reductie wordt uitgewerkt. De aannemer met het beste plan krijgt de grootste fictieve korting op de inschrijfsom. De plannen omtrent CO₂-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 CO₂-reductie in de betonketen, en algemene informatie m.b.t. CO₂-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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂-emissie. Door deze te vermenigvuldigen met de algehele relatieve invloed op de CO₂-emissie kan de totale score worden opgemaakt van het aandeel van de genoemde categorie scope 3 emissie op het totale beeld van CO₂-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 ₂
2. Categorie: Downstream transport en distributie		117,1 ton CO ₂
3. Categorie: Kapitaal goederen		78,8 ton CO ₂
4. Categorie: Up stream geleaste activa		12,0 ton CO ₂
5. Categorie: Productieafval		5 ton CO ₂
6. Categorie: Woon-werkverkeer		ton CO ₂

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 Benecke Aannemingsmij 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 CO₂- 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/m³;
- Normaal beton met een dichtheid van 2000 - 2600 kg/m³;
- Zwaar beton met een dichtheid groter dan 2600 kg/m³.

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/m³ 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, vliegashoudend cement en gips.

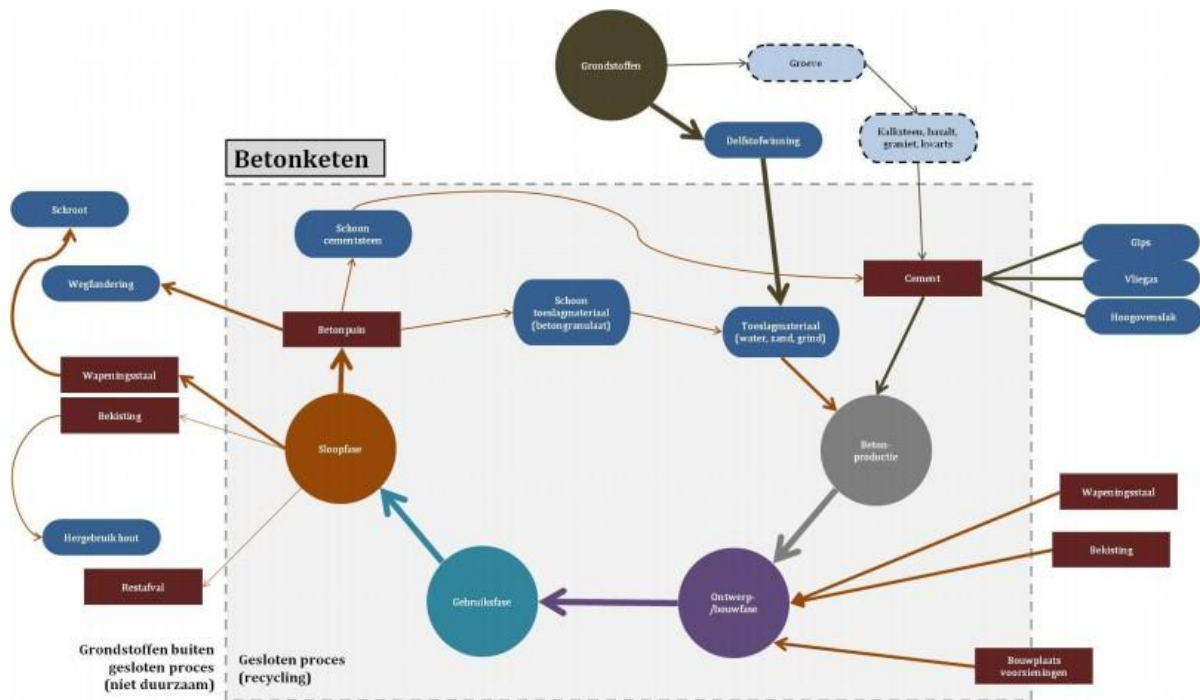
BETONPRODUCTIE Om betonmortel te kunnen maken wordt er water, zand en grind, en eventueel andere toevoegingen/hulpstoffen aan het cement toegevoegd. Projectafhankelijk kan ervoor worden gekozen om basalt, graniet, kwarts of kalksteen toe te voegen. Het water zorgt voor hydratatie van cement en dat het 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 CO₂-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).

Beton keten schematisch weergegeven:



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 stimulator 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 bouwfase 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.

GEbruIKSFSE 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 ³)		
	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: GEMIDDELTE SAMENSTELLING BETON¹

Onderdeel in proces	Definitie	Waarde
<i>Bouwplaats</i>	Betonmengsel of prefab	Betonmengsel
	Hoeveelheid	500 m ³
	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 ³ met trilbalk
	Energie***	Elektriciteit 4000 kWh

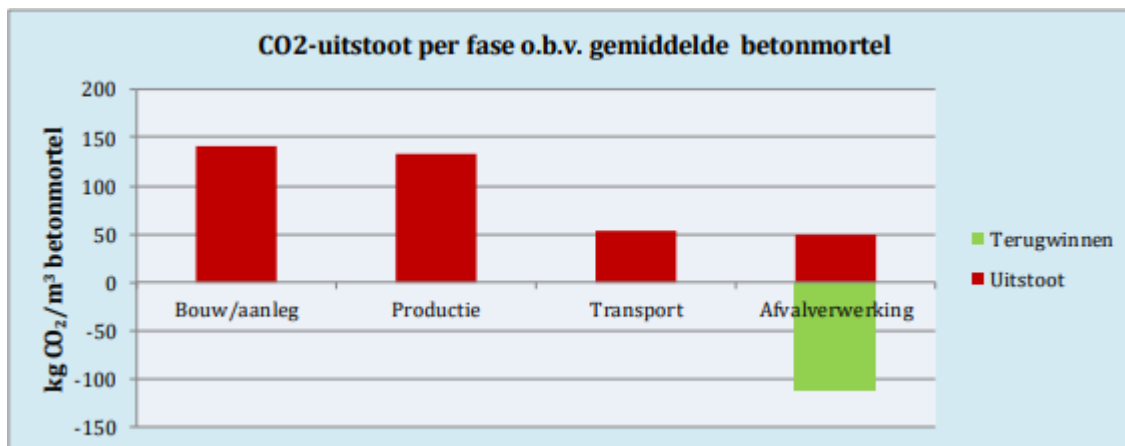
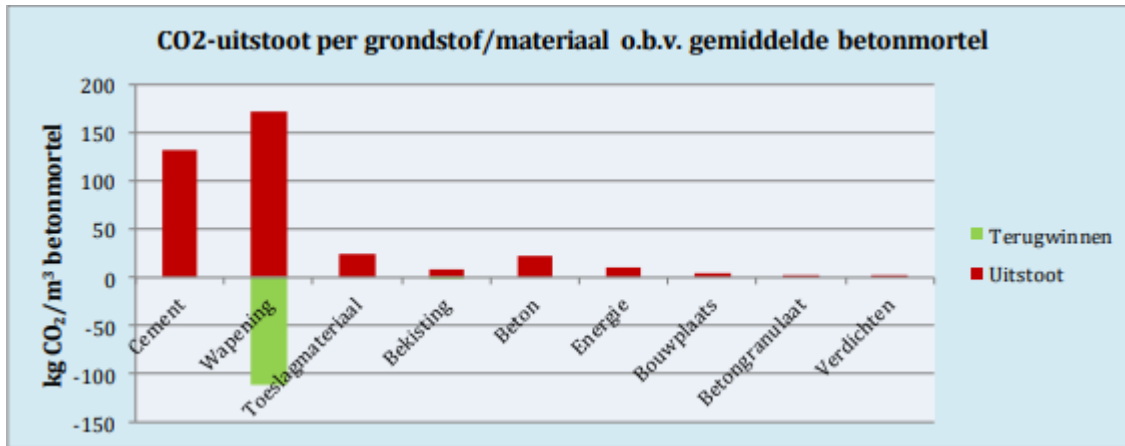
* = aanname 37,5 kg/m², 50% multiplex/50% vurenhout
 ** = aanname 97 kg wapeningsstaal/m³ beton (+/- 1,25% wapening)
 *** = aanname elektriciteitsverbruik bouwketen

¹ (CE-Delft, november 2016)

Het blijkt dat bij de productie van het cement de meeste CO₂ vrijkomt. Het vermoeden wordt hiermee bevestigd. Opvallend is dat er net zoveel CO₂ wordt uitgestoten bij de wapening in beton. Echter wordt 65% van de CO₂- 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 CO₂ per m³ betonmortel er per materiaal en fase wordt uitgestoten.

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

Op basis van de berekeningen m.b.v. de 'CUR-ontwerptool Groen Beton', kan inzichtelijk worden gemaakt hoeveel CO₂ er wordt uitgestoten tijdens het gehele proces (grondstofwinning tot sloop/recycling) en hoeveel CO₂ er wordt gereduceerd door hergebruik van materialen. Dit hebben we inzichtelijk gemaakt door te specificeren per grondstof/materiaal en per fase.



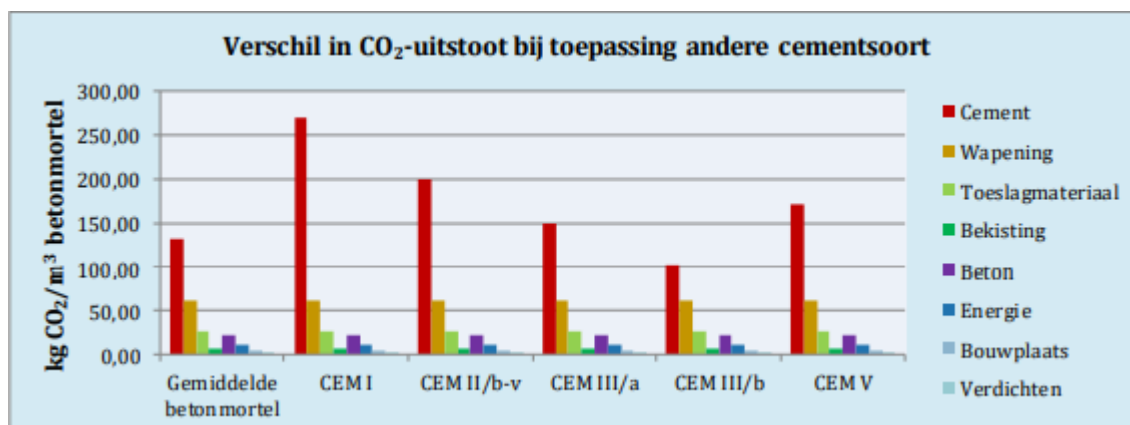
Om een vergelijking te kunnen maken hoe de betonmengsels die in de praktijk worden toegepast zich verhouden tot de gemiddelde samenstelling van betonmortel wordt de CO₂-uitstoot van de meest toegepaste bindmiddelen in beton berekend. Volgens de jaarlijkse benchmark van brancheorganisatie VOBN bestond iedere toegepaste m³ 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.

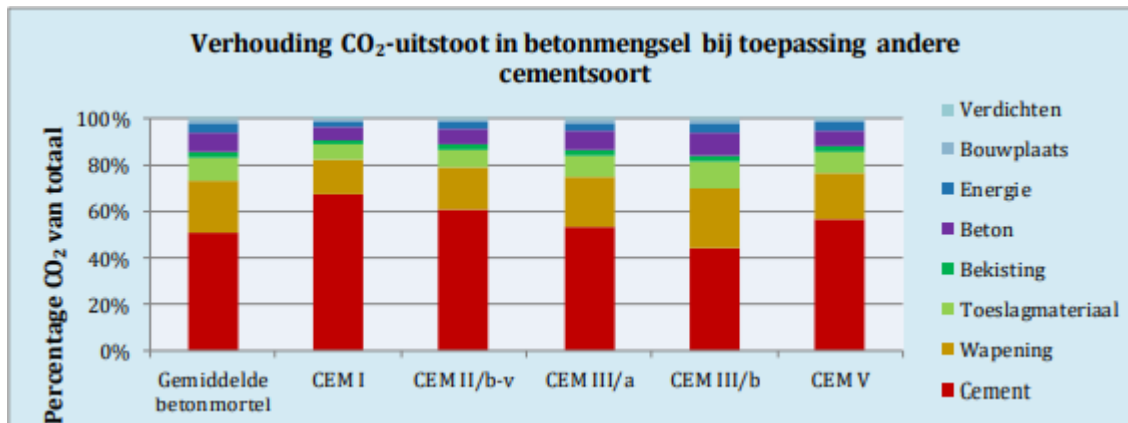
Op basis van betonmortelmengsels met CEM I, CEM II/b-v, CEM III/a, CEM III/b en CEM V wordt een vergelijking gemaakt van de CO₂-uitstoot in de betonketen. De hoeveelheden zand, grind en water is in ieder mengsel hetzelfde en heeft hetzelfde soortelijk gewicht als de gemiddelde betonmortel. In de tabel op de volgende pagina is de samenstelling van de betonmortel weergegeven. De samenstelling van het cement heeft invloed op de CO₂-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 [kg/m ³ betonmortel]
Cement	318
Rivierzand	800
Riviergrind	1.061
Water	167
Gemiddeld totaal	2.346

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

De verschillende betonsamenstellingen op basis van variatie in cementtype leiden tot een verschil in CO₂- uitstoot van het mengsel. Volgens Prof. K. Sakai is portlandcement wereldwijd goed voor 5-7% van de CO₂- 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 CO₂-uitstoot. Daar wordt bevestigd dat het veel toepassen van portlandcement een grote bijdrage kan hebben bij de wereldwijde CO₂-uitstoot. In onderstaand figuur is het aantal kg CO₂ per m³ betonmortel weergegeven, waarbij het type cement de bepalende factor is van de totale CO₂-uitstoot van het beton. De figuur die erop volgt, op de volgende bladzijde, laat de verhoudingen van de CO₂-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 CO₂-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 ₂ /m ³ 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 CO₂-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 CO₂-uitstoot terugdringen.

CO₂ als reductiebron CarbonCure is er in geslaagd een technologie te ontwikkelen waarbij reeds uitgestoten CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ vindt er een extra chemische reactie plaats in het productieproces van het beton. Door deze reactie wordt de CO₂ 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 CO₂ niet meer vrijkomt. Op die manier wordt CO₂ gebruikt als grondstof, die niet meer teruggewonnen wordt.

DAADWERKELIJKE CO₂- REDUCTIE Er wordt met deze methode CO₂ gereduceerd door CO₂ 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 CO₂. Bij het injecteren van 593 gram CO₂ in één kuub beton wordt er twintigkeer zo veel CO₂ bespaard dankzij het niet toepassen van het cement. Dit houdt in dat er nog eens 11.866 gram CO₂ bespaard wordt. Echter brengt het vernieuwde proces wel extra werkzaamheden met zich mee. Zo moet de CO₂ opgevangen worden en getransporteerd naar de locatie waar het verwerkt zal worden. Dit brengt een verlies van 119 gram CO₂ per geproduceerde kuub met zich mee. Bij elkaar opgeteld is de CO₂-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% CO₂-uitstoot op het volledige ketenproces per kuub beton.

NADELEN Er moet gewaarborgd worden dat door middel van het grootschalig toepassen van hoogovenslak en vliegias in geopolymeerbeton 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 CO₂-uitstoot weer toeneemt. Over de constructieve eigenschappen van geopolymeerbeton en de ontwikkeling daarvan in de tijd is nog veel onzekerheid. Ook over de bescherming van wapening in geopolymeerbeton zijn nog de nodige vragen. Geopolymeerbeton 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 geopolymeerbeton. Als deze problemen opgelost zijn is het een product waarmee de grootste uitstootbron binnen het beton vervangen kan worden wat een enorme CO₂-reductie op kan leveren.

Solidia-Cement:

Het toepassen van Solidia-cement kan een CO₂ besparing opleveren. Solidia Technologies heeft een alternatief cement ontwikkeld op basis van Wollastoniet (CaSiO₃), een calciumsilicaat. Het Solidia-cement vormt beton met dezelfde ingrediënten als Portlandcement. Alleen de uithardingsreactie is een carbonatatiereactie met CO₂. Er zijn twee grote bijkomende voordelen. Het cement reageert met CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ die opgenomen wordt in het beton. Hiermee wordt tot 300kg CO₂ 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 CO₂-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 bindsysteem, 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 CO₂ uitstoten in de Beton keten.

De werkelijke CO₂-reductie in de keten zal gewogen worden naar de hoeveelheid m³ beton die ingekocht is. Per M³ ingekocht beton kan door gebruik van CEM IIIB Cement 22% CO₂ 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 ₂ /m ³ 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%

Hiervoor zullen o.a. volgende maatregelen genomen worden:

- ✓ Stimuleren van CEM III B cement bij de producent
- ✓ Overleg met ketenpartners om het gebruik van minder CO2 belastend beton in de ontwerpfase mee te nemen.
- ✓ Overleg met transporteurs
- ✓ Overleg met ketenpartners om vezel versterkt beton te gebruiken.

Update april 2025 over 2022:

Overzicht beton per project BENECKE

Partij	Betreeft	Projectnummer	Hoeveelheid ingekocht	eenheid	Cementsoort en klasse	Betonkwaliteit	Milieuklasse
PSD Beton	Dekvloeren	BAM23082	9,54	m3	CEM III	C28/35	XF4
Partij	Projectnummer	Betreeft	Kolom1	Hoeveel	eenheid	Aantal M3	
Struyck Verwo	BAM23014	Opsluitbanden 6x20x100 cm		0,012	3,2 st		0,0384
ABS Sierbestrating	BAM24032	Traptrede 100x40x20 cm		0,08	38 st		3,04
Van der Veekens	BAM20028	Opsluitbanden 100x10x20 cm		0,02	5 st		0,1
Spaansen Tuin- en bestratingsmaterialen	BAM22182	Betontegel 60x40x5 cm		0,012	8 st		0,096
Van der Veekens	BAM22181	Betonstraatstenen 21x10,5x10		0,002205	25 st		0,055125
Struyck Verwo	BAM24080	Trottoirband 20x25x100 cm		0,05	9,85 st		0,4925
Struyck Verwo	BAM24080	Bochtband 20x25x39,25 cm		0,019625	16,35 st		0,32066875
Van der Veekens	BAM22182	Tegels 30x30x6 cm		0,0054	900 st		4,86
Van der Veekens	BAM22182	Tegels 30x15x6 cm		0,0027	172 st		0,4644
Van der Veekens	BAM22182	Opsluitbanden 100x10x20 cm		0,02	137 st		2,74
Van der Veekens	BAM22182	Betonstraatstenen 21x10,5x10		0,002205	80 st		0,1764
Van der Veekens	BAM22182	Betonstraatstenen 21x10,5x10		0,002205	25 st		0,055125
Spaansen Tuin- en bestratingsmaterialen	BAM23014	Opsluitband 100x6x20 cm		0,012	22 st		0,264
Spaansen Tuin- en bestratingsmaterialen	BAM24006	Opsluitband 100x6x30 cm		0,018	6 st		0,108
Spaansen Tuin- en bestratingsmaterialen	BAM24006	Opsluitband 100x7x40 cm		0,028	6 st		0,168
Spaansen Tuin- en bestratingsmaterialen	BAM24006	Opsluitband 100x8x30 cm		0,016	12 st		0,192
Spaansen Tuin- en bestratingsmaterialen	BAM24006	Opsluitband 100x6x30 cm		0,018	7 st		0,126
Spaansen Tuin- en bestratingsmaterialen	BAM24006	Betontegel 30x30x4,5 cm		0,00405	30 st		0,1215
Spaansen Tuin- en bestratingsmaterialen	BAM24006	Opsluitband 10x5x15 cm		0,00075	5 st		0,00375
Spaansen Tuin- en bestratingsmaterialen	BAM24060	Opsluitband 10x5x15 cm		0,00075	1 st		0,00075
Spaansen Tuin- en bestratingsmaterialen	BAM24061	Betonstraatsteen 21x10,5x8 cm		0,001764	44 st		0,077616
Spaansen Tuin- en bestratingsmaterialen	BAM24062	Betontegel 30x30x4,5 cm		0,00405	10 st		0,0405
DWH Bestrating	BAM23041	Betontegel 30x30x6 cm		0,0054	720 st		3,888
DWH Bestrating	BAM23041	Betonplaten 2x2 m		0,4	12 st		4,8
DWH Bestrating	BAM23021/23093	Opsluitbanden 100x10x20 cm		0,02	8 st		0,16
Ten Brinke bestrating	BAM20169	Opsluitbanden 10x20x100 cm		0,02	439 st		8,78
Ten Brinke bestrating	BAM20169	Opsluitbanden 15x25x100 cm		0,0375	90 st		3,375
Ten Brinke bestrating	BAM20169	Trottoirband 15x25x100 cm		0,0375	26 st		0,975
Ten Brinke bestrating	BAM20169	Grasbetontegel 60x40x12 cm		0,0288	1918 st		55,2384
Ten Brinke bestrating	BAM20169	Leveren staptegels 60x40x5cm		0,012	225 st		2,7
Ten Brinke bestrating	BAM20169	Leveren tegels 50x50x5cm		0,0125	162,5 st		2,03125
				Totaal			95,49
						Totaal beide kolommen	195,83 m3

Overzicht beton-inkoop Hercules

Partij	Betreeft	Projectnummer	Hoeveelheid ingekocht	e	Cementsoort e	Betonkwaliteit	Milieuklasse
Betoncentrale Diamant BV	Betonnen Casco	H24001	52	M3	CEM III/B	C30/37	XC4, XD2, XF2
Betoncentrale Diamant BV	Betonnen Casco	H24002	45	M3	CEM III/B	C30/37	XC4
Betoncentrale Diamant BV	Betonnen Casco	H24003	21,25	M3	CEM III/B	C30/37	XC4
Betoncentrale Diamant BV	Betonnen Casco	H24005	38,75	M3	CEM III/B	C30/37	XC4
Betoncentrale Diamant BV	Betonnen Casco	H24010	55,5	M3	CEM III/B	C35/45	XF4
Betoncentrale Diamant BV	Betonnen Casco	H24011	40	M3	CEM III/B	C30/37	XC4
Betoncentrale Diamant BV	Betonnen Casco	H24012	34,25	M3	CEM III/B	C35/45	XF4
Betoncentrale Diamant BV	Betonnen Casco	H24014	43,5	M3	CEM III/B	C30/37	XC4
Betoncentrale Diamant BV	Betonnen Casco	H24015	21,5	M3	CEM III/B	C30/37	XC4
Betoncentrale Diamant BV	Betonnen Casco	H24016	24,5	M3	CEM III/B	C30/37	XC4
Goudse Betonmortel centrale	Betonnen Casco	H24017	45,5	M3	CEM III/B	C30/37	XF4
Betoncentrale Diamant BV	Betonnen Casco	H24019	20,5	M3	CEM III/B	C30/37	XC4
Betoncentrale Diamant BV	Betonnen Casco	H24020	33,25	M3	CEM III/B	C30/37	XC4
Betoncentrale Diamant BV	Betonnen Casco	H24022	78,25	M3	CEM III/B	C30/37	XC4, XF1
Betoncentrale Diamant BV	Betonnen Casco	H24023	33,25	M3	CEM III/B	C30/37	XC4
Totaal			252,5	M3			

<u>Deze soorten cement zijn er:</u>	CEM I
	CEM II /b-v
	CEM III/a
	CEM III/b
	CEM V

In 2024 is er in totaal in onze keten namens Benecke 105,03 m³ beton ingekocht en namens Hercules 252,3 m³ beton.

Wat we werkelijk uitgestoten hebben in de keten beton:

252,5 m ³ beton met CEM-IIIB Hercules:	26.040 kg CO ₂
9,54 m ³ beton met CEM-IIIB Benecke:	984 kg CO ₂
95,49 m ³ rest cement onbekend:	12.613 kg CO ₂

Totaal CO₂ in de beton keten 39.637,27 CO₂

In 2021 was de CO₂ uitstoot 45.146 kg CO₂. In 2024 was dit 39.637,27 kg CO₂. De uitstoot is dus met 12,2% afgenomen. Hiermee kunnen we zeggen dat de doelstellingen behaald zijn.

Aantal autonome acties ondernomen:

Redsun

Tumbelton Extra Copperblend 30x20x6 cm.

Betontegel grijs 40x40x4,5 / 4,5

Milieuklasse/duurzaamheidsklassen speelt nog niet echt in Duitsland, dus zoiets hebben wij nog niet. Maar daar gaan wij in de toekomst wel naar toe.

MBI

Betonstraatstenen/BSS grijs en antraciet.

Wat je kunt zeggen is dat wij tot voor kort zelf gecertificeerd waren op de prestatieladder. Wij voldoen aan de eisen voor niveau 3.

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

Leverancier	Catergorie
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