Ketenanalyse Beton in de keten

Opdrachtgever
Pannekoek GWW B.V.

Auteur
C. Degen

Deze ketenanalyse is mede opgesteld J. Krook van Coning Adviesgroep. Coning Adviesgroep is hiermee medeverantwoordelijk is voor de resultaten.
Daarmee wordt voldaan aan eis 4.A.3 van de CO2-Prestatieladder voor de professionele ondersteuning.

Datum/versie nummer:
30-december 2021
Status: Definitief

Laatste Update: 21 maart 2024
Status definitief.

Inhoud

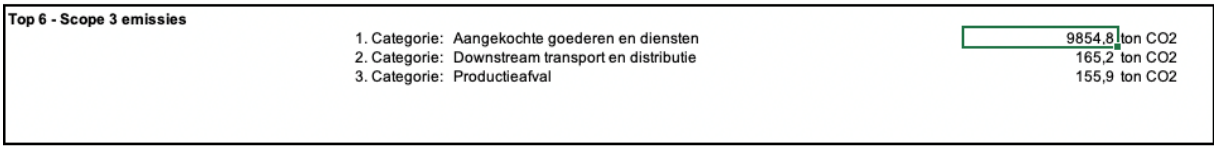
Inhoud 2
1 Inleiding 3
2 Meest relevante emissies. 4
3 Waardeketen Pannekoek 6
4 Beton 6
5 Betonketen 9
6 Ketenanalyse: 11
7 CO2 Productie 12
8 CO2 Reductie 16
9 Doelstellingen 18
10 Voortgang 2023 20
11 Update maart 2024 20
11.1 GEOPOLYMEERBETON 20
11.2 REDUCTIEMOGELIJKHEDEN 21
11.3 REDUCTIEDOELEN 22
12 Kwaliteitsmanagementplan 24

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 deze 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 Pannekoek GWW B.V.. Met de ketenanalyse wordt een analyse uitgevoerd op de mogelijkheden voor het reduceren van CO2 in de betonketen en 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 Pannekoek GWW. 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 normeisen vragen van Pannekoek GWW B.V. dat er één ketenanalyse wordt gemaakt voor één van de twee meest relevante emissies.

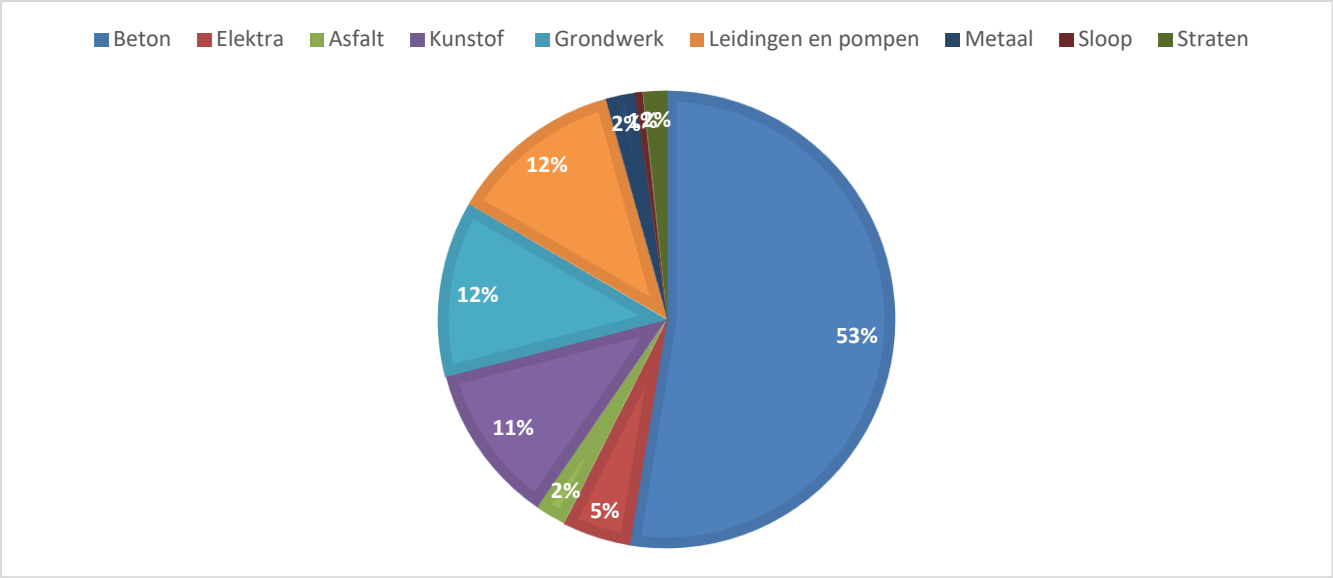


In de kwalitatieve analyse is bepaald dat de meest relevante emissie is in de Product Markt Combinatie ‘Zuiveringswerk voor gemeenten, provincies en of overheden.

Op basis van de top 80% van de ingekochte goederen is een analyse gemaakt waar de meest relevante emissie binnen de Scope van Pannekoek GWW B.V. zich bevindt, voor details verwijzen we u naar de Scope 3 analyse.

De totale CO2 uitstoot van ingekochte goederen en diensten bedraagt 9855, ton CO2 3115 ton CO2 gaat naar inkoop diensten en 6740 ton CO2 naar ingekochte goederen. Binnen een bestek wordt vaak bepaald welke materialen er wel of niet gebruikt mogen worden, tevens leveren een aantal leveranciers zulke specifieke diensten dat we niet anders kunnen dan die dienst bij die leverancier af te nemen. Analyse van de Scope 3 uitstoten waarbij we geen tot zeer weinig invloed op hebben geeft aan dat we van de 9855 ton CO2 totaal we voor 6497 ton CO2 geen invloed op hebben. Blijft over 3358 ton CO2 waar we mogelijk invloed op hebben. Deze inkopen hebben we vervolgens gerangschikt naar soort:

Soort inkoop	CO2 in de keten
Beton	1766
Elektra	162
Asfalt	74
Kunststof	381
Grondwerk	418
Leidingen en pompen	413
Metaal	71
Sloop	18
Straten	55
	3358



Hierboven is de CO2 uitstoot schematisch weergeven.

Van de inkopen waar we de meeste invloed op hebben bestaat 53% uit de inkopen beton gerelateerd.

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

3 Waardeketen Pannekoek

De normeisen verwacht van Pannekoek GWW B.V. 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.
Pannekoek GWW B.V. 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 bouwmateriaal 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/m3dan 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-/bouwfase, 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.

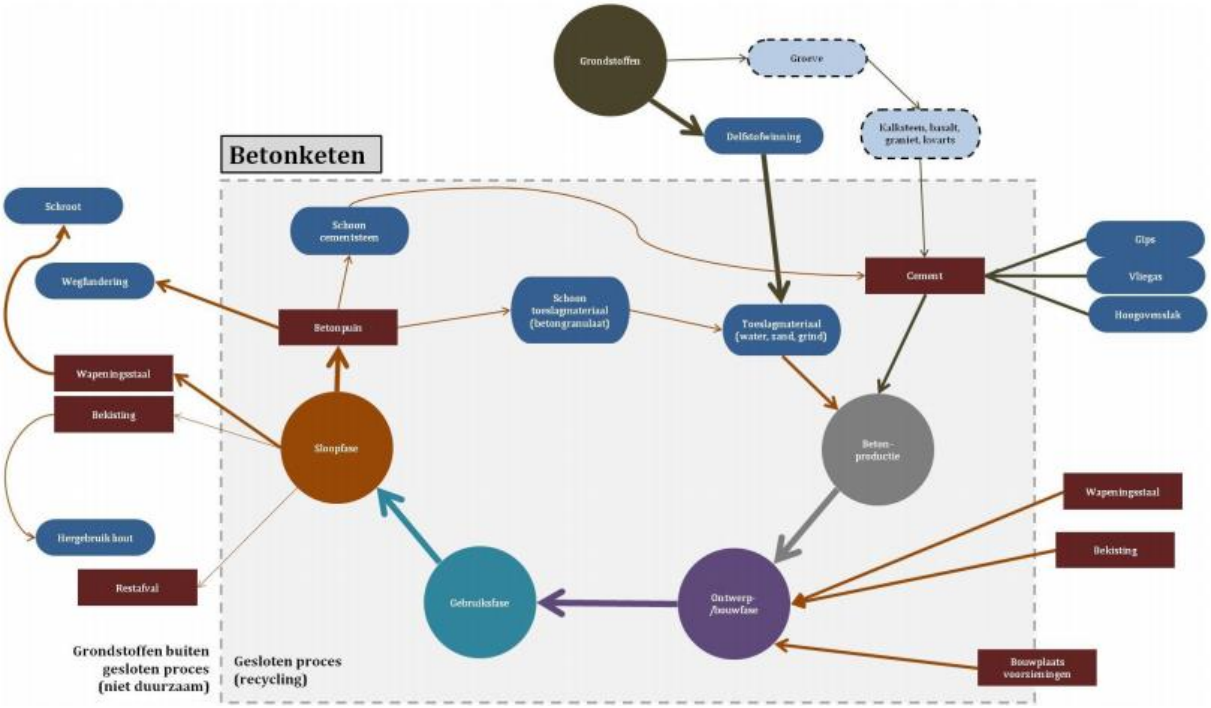
BETONPRODUCTIE Om betonmortel te kunnen maken wordt er water, zand en grind, en eventueel andere toevoegingen/hulpstoffen aan het cement toegevoegd. Projectafhankelijk kan ervoor worden gekozen om basalt, graniet, kwarts of kalksteen toe te voegen. Het water zorgt voor hydratatie van cement en dat het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


Betonketen
Grondstoffen
Groeve
Delfstofwinning
Kalksteen, basalt, graniet, kwarts
Schroot
Schoon cementsteen
Cement
Gips
Vliegas
Hoogovenslak
Wegfundering
Betonpuin
Schoon toeslagmateriaal (betongranulaat)
Toeslagmateriaal (water, zand, grind)
Wapeningsstaal
Bekisting
Sloopfase
Beton-productie
Wapeningsstaal
Bekisting
Hergebruik hout
Restafval
Gebruiksfase
Ontwerp-/bouwfase
Bouwplaats voorzieningen
Grondstoffen buiten gesloten proces (niet duurzaam)
Gesloten proces (recycling)

6 Ketenanalyse:

De betonketen is in samenwerking met onderstaande partijen onderzocht. De kernactiviteiten van Pannekoek GWW B.V. bevinden zich in de waterzuiveringsinstallaties.

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 kijken 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. Pannekoek GWW B.V. heeft hier wel invloed op de opdrachtgever en is belangeloos en als uitgangspunt zal Pannekoek GWW B.V. altijd gaan voor groen beton. In deze fase kan Pannekoek GWW B.V. vooral als stimulans optreden.
De ketenpartners die hier worden gezien zijn de opdrachtgevers, provincies en overheid.

ONTWERP EN BOUWFASE Voor de ontwerpfase wordt volledig aangesloten bij de betonproductie fase. Aanvullend daarop hebben we als Pannekoek GWW B.V. 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 Pannekoek GWW B.V. 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/m³)		
	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
Poederkoolvliegas	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[1]

Onderdeel in proces	Definitie	Waarde
Bouwplaats	Betonmengsel of prefab	Betonmengsel
	Hoeveelheid	500 m³
	Afvalpercentage	0,49%
	Transport betonmengsel naar bouwplaats	Gemiddelde truckmixer
	Afstand naar bouwplaats	20 km
Bekisting	Multiplex*	2500 kg
	Vurenhout*	2500 kg
	Ontkistingsmiddel	3 kg
Wapening en metaal	Soort	Wapeningsnet (FeB 500 HKN)
	Gewicht**	48500 kg
Processen op bouwplaats	Verdichten	500 m³ 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. Inde volgende tabel is weergegeven hoeveel kg CO2 per m3 betonmortel er per materiaal en fase wordt uitgestoten.

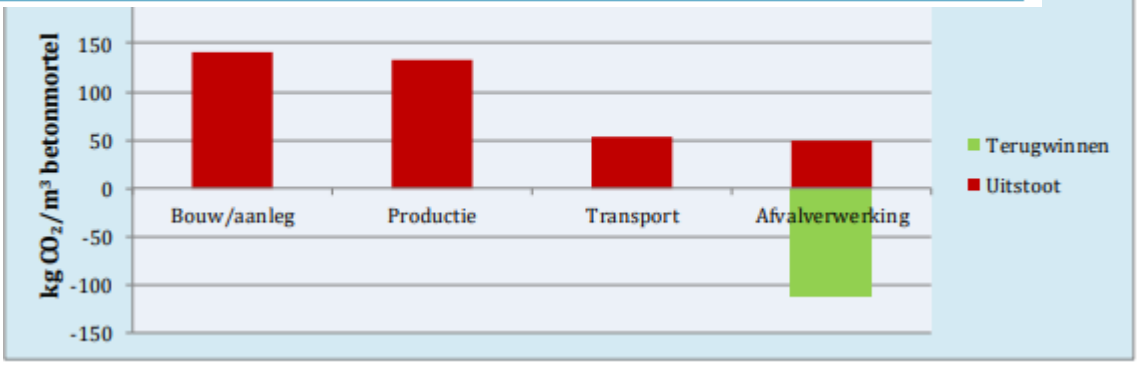
Fase		Materiaal	kg CO_2/m³ betonmortel
A1	Productie	Toeslagmateriaal	3,96
		Cement	124,28
		Betongranulaat	0,04
A2	Transport	Cement	7,81
		Toeslagmateriaal	21,41
		Betongranulaat	0,16
A3	Productie	Energie	4,92
A4	Transport bouwplaats	Bekisting	0,05
		Wapening	1,97
		Bouwplaats	4,56
A5	Bouwproces/aanleg	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.

CO2-uitstoot per grondstof/materiaal o.b.v. gemiddelde betonmortel

Samenstelling	Hoeveelheid [kg/m³ 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	Portlandvliegascement	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%

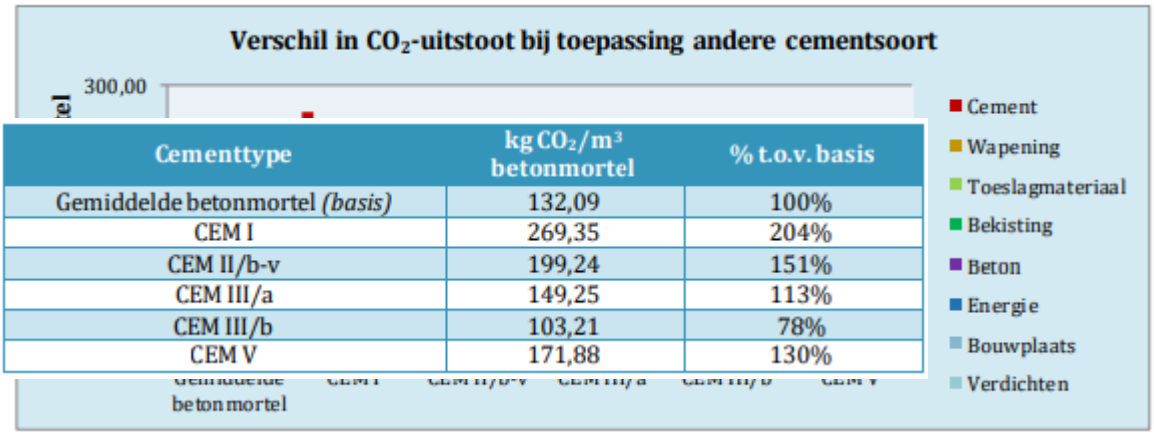


Om een vergelijking te kunnen maken hoe de betonmengsels die in de praktijk worden toegepast zich verhouden tot de gemiddelde samenstelling van betonmortel wordt de CO2-uitstoot van de meest toegepaste bindmiddelen in beton berekend. Volgens de jaarlijkse benchmark van brancheorganisatie VOBN bestond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

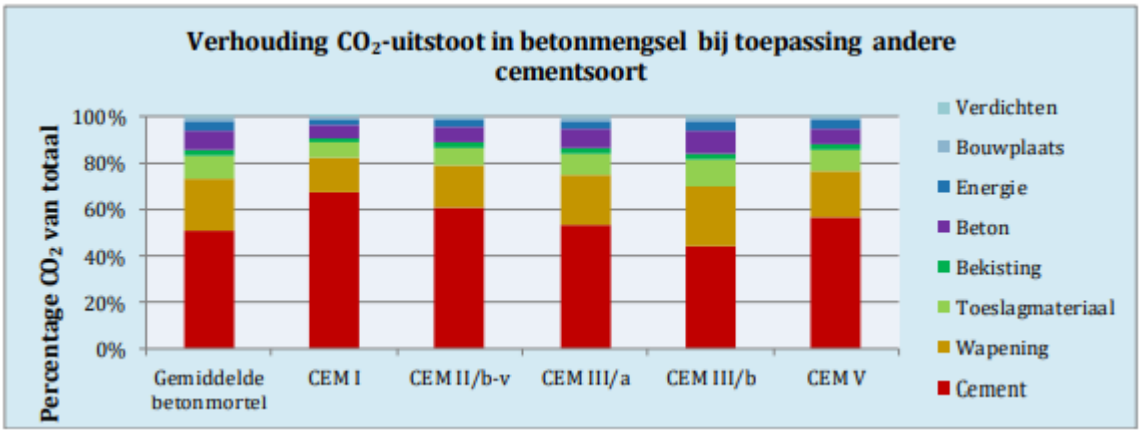
zand, grind en water is in ieder mengsel hetzelfde en heeft hetzelfde soortelijk gewicht als de gemiddelde betonmortel. In de tabel op de volgende pagina is de samenstelling van de betonmortel weergegeven. De samenstelling van het cement heeft invloed op de CO2-uitstoot in het betonmengsel. Er kunnen 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.

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



Cementtype	kg CO_2/m³ betonmortel	% t.o.v. basis
Gemiddelde betonmortel *(basis)*	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%

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.



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 erin geslaagd een technologie te ontwikkelen waarbij reeds uitgestoten CO2 teruggebracht 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 vliegas 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 CO2die opgenomen wordt in het beton. Hiermee wordt tot 300kg CO2per 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.

Pannekoek GWW B.V. stelt volgend doel vast voor deze ketenanalyse:

Pannekoek GWW B.V. wil in 2026 t.o.v. 2021 10% minder CO2 uitstoten in de betonketen.

De werkelijke CO2-reductie in de keten zal gewogen worden naar de hoeveelheid m3 beton die indirect of direct 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 2022 gebruikt worden om de exacte hoeveelheden ingekocht beton en welk cement soort daarbij is gebruikt in kaart te brengen.

Hiervoor zullen o.a. volgende maatregelen genomen worden:

- ✓ *Stimuleren van CEM IIIB 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.*

Cementtype	kg CO_2/m^3 betonmortel	% t.o.v. basis
Gemiddelde betonmortel *(basis)*	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%

Ondertekening:

Pannekoek GWW B.V. 30-december 2021

Een ondertekend exemplaar ligt ter inzake op kantoor.

Planning acties ketenanalyse beton Pannekoek GWW B.V.

Actie	Gepland	Wie
Contact met ketenpartners inzake hoeveelheden inkoop beton 2022	Jan 22-dec 22	C.D.

Analyse van de gegeven data	Jan 23	C.D. en J.K.
Overleggen met ketenpartners inzake reductiemaatregelen	Febr 23	C.D.
Eerste jaarlijkse rapportage voortgang ketenanalyse	Mrt 23	C.D. en J.K.

10 Voortgang 2023

Pannekoek GWW B.V. heeft als onderdeel van de doelstelling de in 2022 hoeveelheid ingekocht beton per soort in kaart te brengen. Het resultaat is vermeld in onderstaande tabel.

Inkoop	ton	Percentage
CEM III/B beton	396,75	93,1%
Overig beton	39,5	9,3%
Totaal	426,25	

Pannekoek GWW B.V. heeft zich tot doel gesteld om in 2026 10% minder CO2 uit te stoten t.o.v. het basisjaar 2021, gewogen naar de hoeveelheid M3 beton.
Door het gebruik van CEM IIIB beton wordt 22% CO2-reductie per ton bereikt.

In hoofdstuk 7 staat beschreven dan één ton gewoon beton een CO2-emissie heeft van 0,279 ton CO2.
CEM IIIB beton heeft dus een CO2-emissie van 0,218 ton CO2 per ton.

Inkoop	Ton	Ton CO2/Ton beton	Ton CO2
CEM IIIB beton	396,75	0,279	110,69
Overig beton	39,5	0,218	8,60
Totaal	426,25		119,29

Het aandeel CEM IIIB beton was in 2022 dermate groot dat de maximaal te bereiken reductie over de resterende jaren 2023 t/m 2026 1,89 ton CO2 is (8,60 ton x 22%). Dit is 1,6% ten opzichte van de totale CO2-emissie van 119,29 ton CO2 over 2022.

Op basis van deze gegevens concludeert Pannekoek GWW B.V. dat het doel van 10% CO2-reductie al in 2022 gerealiseerd is en er in 2023 de in hoofdstuk 11 beschreven aanpassing op deze ketenanalyse gedaan gaat worden

11 Update maart 2024

11.1 Geopolymeerbeton

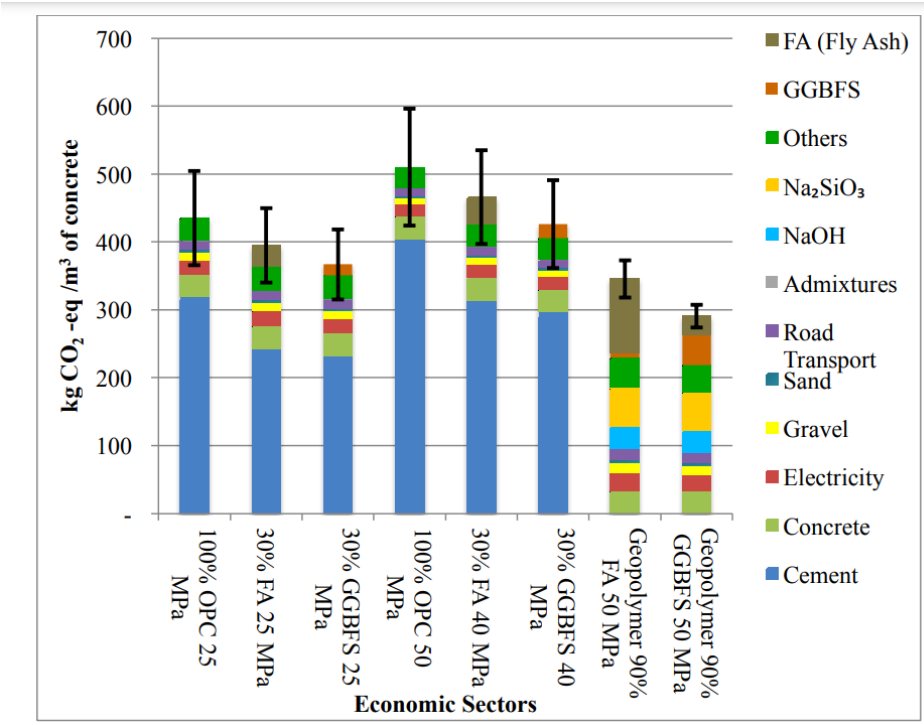
In 2023 heeft Pannekoek GWW B.V. in samenwerking met TNO voor het eerst een project uitgevoerd waarbij geopolymeerbeton is gebruikt ter vervanging van gewoon beton.
Hierna zijn nog enkele projecten met geopolymeerbeton afgerond.

11.2 Reductiemogelijkheden

In 2023 heeft Pannekoek GWW B.V. de hieronder beschreven projecten gerealiseerd met geopolymeerbeton.

2023 - Projecten met geopolymeerbeton (GPB)			
Project	Status	Componenten	M^3 GPB
Stuw Kievitshaar	Afgerond	2 stuks prefab keerwanden, 1250x750x2000mm (HxBxL)	3,75
Stuw Luning	Afgerond	4 stuks prefab keerwanden, 1500x850x2000mm (HxBxL)	10,2
Gemaal Windesheim	Afgerond	4 stuks prefab keerwanden, 2000x1100x2000mm (HxBxL)	17,6
		2 stuks putten prefab aan de zaak gestort (totaal 13,25m3)	13,25
		7 stuks biobound betonplaten toegepast	

Wat is geopolymeerbeton (GBP)?



Bovenstaande afdeling komt uit een Australische studie uit 2017[3)].
We zien dat in traditioneel beton (TB) cement de belangrijkste bijdrage heeft aan de CO2-emissie. Geopolymeerbeton bevat geen cement. Het bindmiddel hierin is vervangen door andere stoffen, zoals vliegas, natriumsilicaat en natriumhydroxide.

Uit een recent onderzoek van SGS Intron in opdracht van het Havenbedrijf Rotterdam[2)],blijkt dat geopolymeerbeton (GBP) in vergelijking met traditioneel beton (TB) een aanzienlijk lagere CO2-emissie heeft.

Tabel 7. Milieuimpact van TB en GPB in de sterkteklasse C35/45.

Parameter	Eenheid	Jansen Beton TB C35/45	Jansen Beton GPB GPIV	Verschil	Percentage GPB/TB
Milieu-impact SBK set 1					
MKI	**Euro**	**1,67E+1**	**1,20E+1**	**-4,70E+00**	**72%**
ADPE	kg Sb-eq	2,52E-2	1,24E-1	9,88E-02	492%
ADPF	kg Sb-eq	6,45E-1	7,77E-1	1,32E-01	120%
GWP	kg CO2-eq	1,97E+2	1,07E+2	-9,00E+01	54%

Volgens bovenstaande tabel uit dit onderzoek heeft traditioneel beton een CO2-emissie van 197 kg CO2 per m3 beton.
Voor geopolymeerbeton is dit slechts 1,07 kg CO2 per m3 beton.
Dit is een reductie van 90 kg CO2 per m3 beton.
Omdat in 2023 in verschillende projecten 44,8 m3 geopolymeerbeton is toegepast is hiermee een CO2-emissie van 4.032 kg CO2 reductie gerealiseerd (4 ton CO2).
Wanner we dit vergelijken met de CO2-emissie van beton in 2022 van 119 ton CO2, dan is dit niet minder dan een reductie van 3,4%

Ook voor 2024 zijn al diverse projecten op basis van geopolymeerbeton gepland. Deze zijn:

2024 - Geplande projecten met geopolymeerbeton (GPB)			
Project	Status	Componenten	M^3 GPB
Gemaal de Meele	In uitvoering	1 stuks prefab keerwanden, 1500x850x2000mm (HxBxL)	2,55
Stuw Ten Wolde	In uitvoering	4 stuks prefab keerwanden, 1500x850x2000mm (HxBxL)	10,2
Stuw Wieten	In uitvoering	4 stuks prefab keerwanden, 1500x850x2000mm (HxBxL)	10,2
Stuw Verversweg	Gepland Q2	2 stuks prefab keerwanden, 1500x850x2000mm (HxBxL)	5,1
		2 stuks prefab keerwanden, 1750x1000x2000mm (HxBxL)	7,0

11.3 Reductiedoelen

Bij het schrijven van deze ketenanalyse was de doelstelling als volgt:
Pannekoek GWW B.V. wil in 2026 t.o.v. 2021 10% minder CO2 uitstoten in de betonketen.
Nu deze doelstelling inmiddels behaald is heeft Pannekoek GWW B.V. gekeken welke maatregelen kunnen bijdragen aan een verdere CO2-reductie.

De toepassing van Geopolymeerbeton blijkt bij te dragen aan een aanzienlijke CO2-reductie.
Over heet 2023 is hiermee een reductie van CO2 gerealiseerd van 4 ton CO2 (vergeleken met TB).
De verwachting is dat in 2024 een vergelijkbare reductie gerealiseerd zal worden.
In 2025 verwachten we hiermee 5 ton te kunnen reduceren en in 2026 6 ton.

Daarom stelt Pannekoek GWW zich ten doel om gedurende de rest van de looptijd van deze ketenanalyse (2024 t/m 2026) minstens 14 ton CO2 te besparen door in projecten geopolymeerbeton toe te passen in plaats van traditioneel beton.
Deze doelstelling is absoluut gesteld.

Doelstelling per jaar:
- 2024 – 4 ton CO2-reductie
- 2025 – 5 ton CO2-reductie
- 2026 – 6 ton CO2-reductie

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-armer beton; wensen en grenzen | BetonInfra
Duurzaam beton: niet moeilijk, wel complex | BetonInfra
Dhr. S. Hiskemuller van der Zijden

Bronvermeldingen bij update maart 2024:

1) *Mitsui & Co - geopolymer technology and prospects - augustus 2022*
2) *Onderzoek geopolymeerbeton Havenbedrijf Rotterdam - Rapport SGS INTRON B.V. - 30 mei 2023*
3) *Hybrid life cycle assessment of greenhouse gas emissions from cement, concrete and geopolymer concrete in Australia (2017)*

12 Kwaliteitsmanagementplan

Conform GHG Protocol Scope 3 Standard (App C)

Stel een emissie-inventaris kwaliteitspersoon/- team vast.
Team bestaat uit directie, COF van Pannekoek G.W.W., extern ondersteund door Coning Adviesgroep B.V.

Ontwikkel een datakwaliteitsmanagementplan.
Data kwaliteitsmanagementplan is opgenomen in het CO_2 energiemanagement actieplant.

Voer generieke data kwaliteitscontroles uit op basis van het datakwaliteit management plan.
Uitgevoerd door externe adviseur bij het opstellen van de Scope 3 dominantie analyse.

Voer specifieke datakwaliteitscontroles uit.
Jaarlijks wordt top 80% inkoop verwerkt tot een scope 3 emissie, middels projectregistraties worden verbruiken van onderaannemers geregistreerd.

Review de emissie-inventaris en rapportage.
Review van de emissie-inventarisatie en rapportage vindt plaats tijdens de voortgangsrapportage's en de jaarlijkse directiebeoordeling.

Stel formele feedback processen vast om de dataverzameling, beheer en documentatie te verbeteren.
Jaarlijks opstellen van Scope 3 dominantie analyse op basis van top 80% inkoop financiële inkoopwaarde wordt gekoppeld aan CO_2-uitstoot DEFRA

7. Stel rapportage, documentatie en archiveringsprocedures vast.
Scope 3 emissie rapportage jaarlijks, voortgang op de ketenanalyse jaarlijks, opgenomen in het CO_2 energiemanagement actieplan.