



Ketenanalyse beton



de wereld mooier maken

Verantwoording

Titel : Ketenanalyse beton
Project- / documentnaam : Ketenanalyse beton 2023
Versie : 1
Revisie : -

Auteur(s) : Hester Aanen
E-mailadres : hester@vanderven.nl
Datum : 04-09-2023

Controleur : Jolanda van Drunen
Datum : 20-11-2023
Paraaf : **JvD**

Vrijgave door : Jolanda van Drunen
Datum : 22-12-2023
Paraaf : **JvD**

Contactgegevens : Aannemingsbedrijf G. van der Ven B.V.
Van Heemstraweg 2
5306 TA Brakel
Postbus 2
5306 ZG Brakel

Tel: 0418-671510
info@vanderven.nl
www.vanderven.nl

Documenthistorie

Versie	Revisie	Datum	Omschrijving	Auteur
1.	-	04-09-2023	Versie 1 document	HA
2	-	12-02-2024	Opmerkingen Stimular verwerkt	JvD
	a			

Voorwoord

Aannemingsbedrijf G. Van der Ven B.V. heeft naar aanleiding van de scope 3 analyse door een afstudeerder van Avans Hogeschool een literatuurstudie laten doen naar de ketenanalyse van beton.

Inhoud

Verantwoording	2
1. Inleiding	6
1.1 Wat is een ketenanalyse	6
1.2 Activiteiten Van der Ven	6
1.3 Doel van de ketenanalyse	6
1.4 Leeswijzer	7
2. Methode	8
3. Scope 3 analyse	10
3.1 PMC's sectoren en activiteiten	10
3.2 Kwalitatieve scope 3 analyse	10
3.3 Kwantitatieve scope 3 analyse	11
3.4 Keuze van de ketenanalyse	13
4. Beschrijving van de waardeketen	14
4.1 Algemene beschrijving	14
4.2 Waardeketen van beton	15
5. Identificeer partners in de keten	23
6. Kwantificeer de scope 3 emissies	25
6.1 Grondstof- en productiefase (A1 en A3)	25
6.2 Transportfase (A2, A4 en C2)	27
6.3 Ontwerp-/bouwphase (A5)	28
6.4 Gebruiksphase (B)	29
6.5 Sloop-/recyclingfase (C1, C3, D)	29
6.6 Berekening totale keten	30
6.7 Totale keten	34
6.8 CO2 uitstoot Van der Ven 2023 - Beton	37
7. CO2 reductiemogelijkheden	39
8. Reductiemaatregelen	40
9. Plan van aanpak	41
Tabel- en figuurlijst	43
Figuurlijst	43
Tabellijst	43
Literatuurlijst	44

1. Inleiding

“Ervaringen vanuit het verleden, verbeteringen voor de toekomst te realiseren. Altijd proberen een stapje voor te lopen. Van der Ven staat momenteel op trede 5 van de CO₂-prestatieladder, waarmee er al veel besparingsmaatregelen zijn toegepast en/of geïmplementeerd. Echter is dat vanuit eigen ambities niet voldoende.” (Drunen, 2021)

“Wij willen niet reduceren, wij willen het compleet anders met maximaal resultaat! In de gehele keten.”

“Hiervoor moet inzicht worden verkregen in de reductiemogelijkheden buiten de bedrijfsgrenzen. Dit door middel van een ketenanalyse. Dit document beschrijft de ketenanalyse van beton, met daaraan gekoppeld de toepasbaarheid van duurzame oplossingen binnen de gehele keten. Wij geloven niet in één toepassing, maar denken dat we met het gebruik van verschillende toepassingen ons doel van CO₂-reductie binnen de betonketen op de beste manier kunnen verwezenlijken.” (Drunen, 2021)

1.1 Wat is een ketenanalyse

Een ketenanalyse is een berekening van een bepaald product of dienst van de CO₂-uitstoot van de gehele keten, oftewel de levenscyclus van een product. De levenscyclus van een product is van winning van de grondstof t/m het einde van de levensduur (afvalverwerking / hergebruik). Al deze fases hebben invloed op de CO₂-uitstoot, en worden daarom in de ketenanalyse opgenomen. (Groenbalans, 2022) (Aanen, CO₂ reductie in de betonketen, 2023a, p. 30)

1.2 Activiteiten Van der Ven

“Aannemingsbedrijf G. van der Ven B.V. is sinds de oprichting in 1968 actief in het uitvoeren van werkzaamheden in de volgende expertisegebieden:

- ▶ Waterbeheersing;
- ▶ Mobiliteit;
- ▶ Gebiedsinrichting;
- ▶ Historisch erfgoed;
- ▶ Utiliteit.

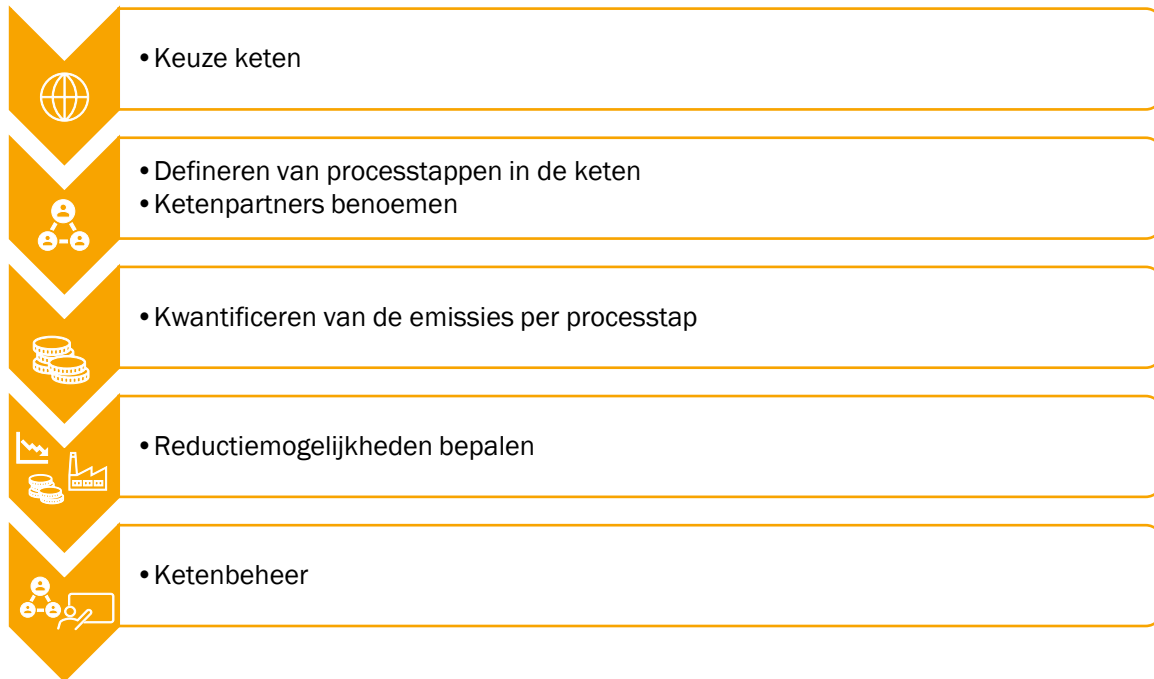
Door de jaren heen is Van der Ven uitgegroeid tot een moderne onderneming met circa 100 werknemers.

Van der Ven beschikt over de volgende certificeringen: NEN-EN-ISO 9001;2015, NEN-EN-ISO 14001;2015, VCA**, SCL trede 3, BRL SIKB 7000 protocollen 7001 en 7004, ERB en CO₂-bewust niveau 5.” (Drunen, 2021)

1.3 Doel van de ketenanalyse

“De belangrijkste doelstelling voor het uitvoeren van deze ketenanalyse is het identificeren van CO₂-reductiekansen, het definiëren van reductiedoelstellingen en het monitoren van de voortgang binnen de doelstellingen. Op basis van het inzicht in de scope 3 emissies en de ketenanalyse wordt een reductiedoelstelling geformuleerd.

Binnen het energiemanagementsysteem dat is ingevoerd wordt actief gestuurd op het reduceren van de scope 3 emissies. Het verstrekken van informatie aan partners binnen de eigen keten en sectorgenoten die onderdeel zijn van een vergelijkbare keten van activiteiten is hier nadrukkelijk onderdeel van. Van der Ven zal op basis van deze ketenanalyse stappen ondernemen om partners binnen de eigen keten te betrekken bij het behalen van de reductiedoelstellingen.” (Drunen, 2021)



Figuur 1: Schema ketenanalyse

Aangepast overgenomen uit: *Ketenanalyse Diesel Onderaannemers* (p. 6) door J. van Drunen, 2021, Brakel: Van der Ven. Geraadpleegd op 4 september 2023, van: (<https://www.vanderven.nl/over-van-der-ven/duurzaamheid>). Copyright 2021, Van der Ven.

1.4 Leeswijzer

“De ketenanalyse is in nauwe samenwerking met HerZon Services opgesteld. De adviseur van HerZon Services hebben gedegen kennis en ervaring met begeleiding van bedrijven rondom certificering voor de CO₂-prestatieladder.” (Drunen, 2021)

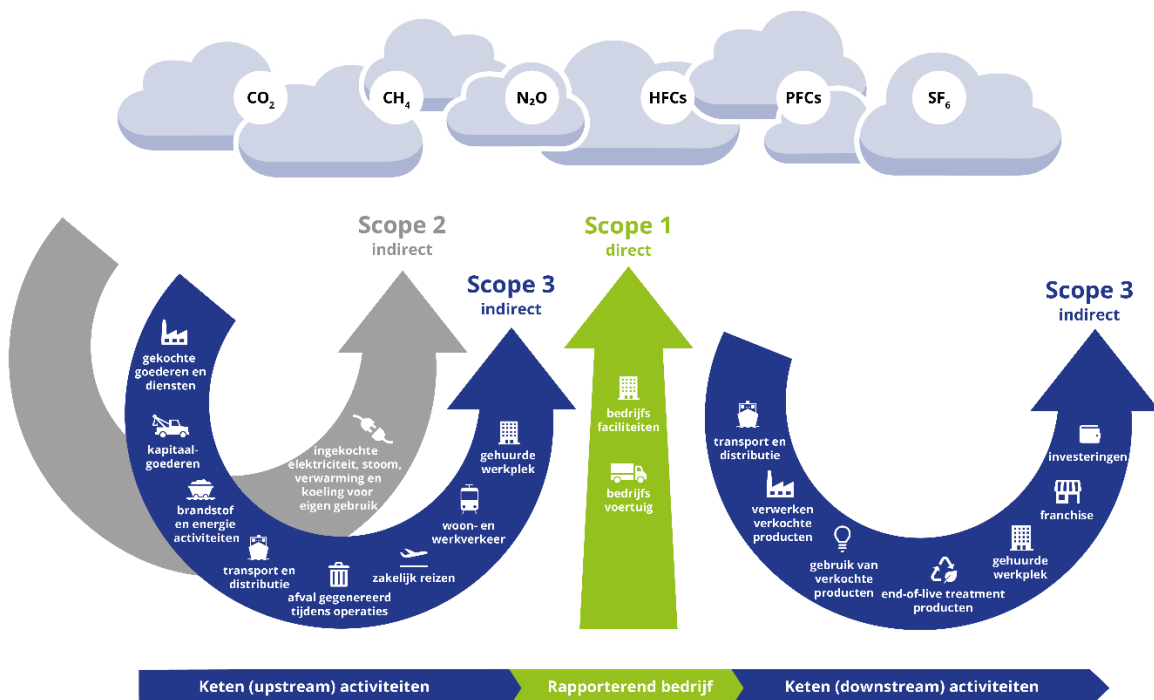
2. Methode

Het GHG-protocol is een algemeen erkende standaard, ontwikkeld door het World Resources Institute (WRI) en de World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Het GHG-Protocol classificeert emissies in de drie "scopes". Voor het berekenen zijn er drie methoden, gebaseerd op activiteiten, productie en op uitgaven gebaseerde emissiefactoren (Fominova S. , sd) (Aanen, CO2 reductie in de betonketen, 2023a, p. 27).

De splitsing van de drie scopes is als volgt: (Groenbalans, 2021) (Aanen, CO2 reductie in de betonketen, 2023a, p. 26)

- ▶ **Scope 1:** directe CO₂-uitstoot, veroorzaakt door eigen bronnen binnen de organisatie;
- ▶ **Scope 2:** indirecte CO₂-uitstoot, veroorzaakt door emissies die ontstaan door de opwekking van elektriciteit, warmte en koeling en stroom in installaties die niet tot de eigen onderneming behoren, maar wel door de organisatie worden gebruikt;
- ▶ **Scope 3:** overige indirecte emissies, veroorzaakt door emissies die ontstaan als gevolg van de activiteiten van de organisatie, maar voortkomen uit bronnen waarop een organisatie weinig tot geen invloed op heeft.

In de onderstaande figuur is een overzicht weergegeven van de scopes en emissies in de waardeketen conform het GHG-protocol. (Schouten energy, sd)



Figuur 2: Overzicht van de scopes en emissies in de waardeketen conform het GHG-protocol
Overgenomen uit CO2 footprint /reductie en scope 1, 2 en 3 door N. van der Wouden, sd. Geraadpleegd op 29 augustus 2023, van (<https://www.schoutenenergy.nl/actueel/co2-footprint-reductie-en-scope-1-2-en-3>). Copyright Schouten Energy.

Upstream activiteiten zijn alle activiteiten die plaats hebben gevonden voordat het product afgeleverd wordt. Downstream activiteiten zijn alle activiteiten die plaatsvinden nadat het product is afgeleverd,

“Volgens het GHG-protocol dient een ketenanalyse de volgende stappen te doorlopen:

1. Bepalen van relevante scope 3 emissie categorieën;
2. Beschrijving van de waardeketen;
3. Identificeren van de partners binnen de waardeketen;
4. Kwantificeren van de scope 3 emissies;
5. Reductiemaatregelen.

Deze methodiek zal worden aangehouden voor dit document met daarnaast nog bijkomende informatie over scope 3. Zo zal er ook aandacht worden geschonken aan de inhoud van scope 3 van Van der Ven en de daarbij behorende upstream en downstream emissies.” (Drunen, 2021)

In het volgende hoofdstuk zal verder worden ingegaan op stap 1: “Bepalen van relevante scope 3 emissie categorieën”.

3. Scope 3 analyse

Naast de inventarisatie van scope 1 en 2 emissies heeft Van der Ven haar scope 3 emissies in kaart gebracht. Dit zijn de overige indirecte emissies die een gevolg zijn van haar activiteiten maar die voortkomen uit bronnen die geen eigendom zijn noch door Van der Ven beheerd worden. Bij het in kaart brengen van de scope 3 emissiebronnen is gebruik gemaakt van de scope 3 categorieën die beschreven zijn in annex 13 van het GHG-protocol (Groenbalans, 2021).

3.1 PMC's sectoren en activiteiten

Volgens het handboek CO₂-prestatieladder moet de rangorde worden ingedeeld naar de product-markt-combinaties (PMC's) van het bedrijf. Een PMC is een combinatie tussen een product (goederen of diensten, in € omzet) (hier: expertisegebied) en de bijbehorende markt. Aan de hand van een indeling in PMC's wordt bepaald welke PMC's het meest relevant zijn qua CO₂-uitstoot en de invloed van het bedrijf op deze emissies. Tabel 1 toont de relevantie van de PMC's voor het bedrijf op basis van de omzet (Infraworks, 2022) (Drunen, 2021), gebaseerd op de 5 expertisegebieden van Van der Ven:

Tabel 1
Product Markt Combinaties (PMC's) gebaseerd op de omzet

Expertises	Opdrachtgevers			% v/d totale omzet
	Overheid	Semi-overheid	Overig	
Waterbeheersing	94,9%	0%	5,1%	39,2%
Mobiliteit	92,3%	0%	7,7%	0,3%
Gebiedsinrichting	95,3%	1,9%	2,9%	20,9%
Historisch erfgoed	98,7%	0%	1,3%	7,4%
Utiliteit	85,6%	7,4%	7,0%	32,2%
Totaal				100,00%

3.2 Kwalitatieve scope 3 analyse

"Van der Ven heeft in onderstaande tabel haar meest materiële scope 3 emissies kwalitatief in kaart gebracht. Het gaat hier om de relevante emissies volgens de criteria in het GHG-Protocol Scope 3 Standard. Doel van deze analyse is om op basis van indicaties voor de relatieve omvang, te komen tot een rangorde van de meest materiële / relevante scope 3 emissiebronnen die samen de grootste bijdragen leveren aan de totale scope 3 emissies van het bedrijf en tegelijkertijd beïnvloedbaar zijn door het bedrijf.

De rangorde geeft de meest materiële emissiebronnen van Van der Ven weer. De activiteiten met het hoogste aantal punten zijn de emissiebronnen waar het CO₂-reductiepotentieel het grootste is. Materialiteit van de emissies is beoordeeld middels de bovengenoemde methode uit het GHG-Protocol Scope 3 Standard. De volgende product-marktcombinaties hebben de meeste invloed op de CO₂-uitstoot in de keten:" (Drunen, 2021). In tabel 2 is de rangorde weergegeven.

1. Waterbeheersing – Overheid
2. Utiliteit – Overheid
3. Gebiedsinrichting - Overheid

Tabel 2
Bepaling rangorde meest materiële emissiebronnen

PMC's Sectoren en activiteiten	Omschrijving activiteit waarbij CO2 vrijkomt	Relatief belang van CO2- belasting van de sector en invloed van de activiteiten		Potentiële invloed van het bedrijf op CO2 uitstoot	Aandeel totale omzet	Rang- orde
		Sector Verhouding CO2 uitstoot bedrijf t.o.v. CO2 uitstoot sector (hoe groot is het marktaandeel) (g/mg/k/nvt)	Activiteiten Het mogelijke effect van innovatieve ontwerpen op CO2 uitstoot van het project (g/mg/k/nvt)			
Waterbeheersing - Leidingen - Waterbouwkundige bouwwerken - Grondwerk (dijken) (semi-)overheid, overige	- Inkoop: beton, onderaanneming/ inhuur personeel, diesel, leiding- systemen, grond- stoffen - Transport - Woon-werkverkeer Medewerkers - Projectafval	G	MG	G	39,2%	1
Mobiliteit - Infrastructuur - Terreininrichting (semi-)overheid, overige	- Inkoop: beton, Onderaanneming/ inhuur personeel, diesel, leiding- systemen, grond- stoffen - Transport - Woon-werkverkeer - Projectafval	K	MG	G	0,3%	5
Gebiedsinrichting - Ondergrondse infra - Grondwerk - Verhardingen - Civieltechnische Bouwwerken - Groenvoorzieningen (semi-)overheid, overige	- Inkoop: beton, onderaanneming/ inhuur personeel, diesel, leiding- systemen, grond- stoffen - Transport - Woon-werkverkeer - Projectafval	MG	MG	G	20,9%	3
Historisch erfgoed - Restauratie (semi-)overheid, overige	- Inkoop: beton, (kleine) bouw- materialen, onderaanneming / inhuur personeel, diesel - Transport - Woon-werkverkeer - Projectafval	MG	G	MG	7,4%	4
Utiliteit - Nieuwbouw (semi-)overheid, overige	- Inkoop: beton, (kleine) bouw- materialen, onderaanneming / inhuur personeel - Transport - Woon-werkverkeer medewerkers - Projectafval	G	G	MG	32,2%	2

3.3 Kwantitatieve scope 3 analyse

Van der Ven heeft van haar emissiestromen in de keten een inventarisatie gemaakt en geanalyseerd wat de grootte is van de op het bedrijf geldende emissiestromen. De bedrijfsactiviteiten van Van der Ven zijn onderdeel van een keten van activiteiten. Zo moeten materialen die worden ingekocht eerst geproduceerd worden (upstream) en gaat het transporteren, gebruik en verwerken van de opgeleverde “producten” of “werken” ook gepaard met energiegebruik en emissies (downstream). Van der Ven heeft van haar emissiestromen in de keten een inventarisatie gemaakt en geanalyseerd welke grootte de voor haar

geldende emissiestromen hebben. Voor de inventarisatie van de relevante scope 3 categorieën wordt gebruik gemaakt van de onderstaande tabel met de top 5 van de scope 3 emissies (Zondag H. , Scope 3 analyse, 2022):

Tabel 3
Top 5 – Scope 3 emissies

Categorie	Uitstoot [ton CO ₂]
1. Aangekochte goederen en diensten: goederen / producten	39.102
2. Aangekochte goederen en diensten: machines	1.823
3. Aangekochte goederen en diensten: arbeid / onderaanneming	1.593
4. Aangekochte goederen en diensten: overig	176
5. Kapitaal goederen	10

Opmerking. Aangepast overgenomen uit Scope 3 analyse door H. Zondag, 2023, Brakel: Van der Ven. Geraadpleegd op 4 september 2023. Copyright 2023, H. Zondag.

Tabel 4
CO₂ emissies scope 3

	Aanwezig binnen de keten (ja/nee/nvt)	Afgedekt in scope 1 en/of 2 (ja/nee)	Project-gerelateerd (ja/nee)	Omvang geschat in CO ₂ [ton]	Beïnvloedbaar (ja, matig, nee)	Rang-orde
Upstream scope 3 emissies						
1. Aangekochte goederen en diensten: Arbeid / onderaanneming	Ja	Nee	Ja	1593	Ja	3
1. Aangekochte goederen en diensten: Goederen / producten	Ja	Nee	Ja	39102	Ja	1
1. Aangekochte goederen en diensten: Machines	Ja	Nee	Ja	1823	Matig	2
1. Aangekochte goederen en diensten: Overig	Ja	Nee	Ja	176	Matig	4
2. Kapitaal goederen	Nee	Nee	Nee	10	Nee	5
3. Brandstof en energie (niet opgenomen in scope 1 of 2)	Nee	Nee	Nee	0	Nee	
4. Upstream transport en distributie	Ja	Nee	Deels	0	Matig	
5. Productieafval	Ja	Nee	Deels	0	Ja	
6. Zakelijk reizen (niet in scope 1 & 2)	Ja	Ja	Deels	0	Ja	
7. Woon-werk verkeer	Ja	Nee	Deels	0	Ja	
8. Upstream geleaste activa	Niet significant	Nee	Deels	0	Ja	
Downstream scope 3 emissies						
9. Downstream transport en distributie	Nee			0		
10. Ver- of bewerken van verkochte producten	Nee			0		
11. Gebruik van verkochte producten	Nee			0		
12. End-of-life verwerking van verkochte producten	Nee			0		
13. Downstream geleaste activa	Nee			0		
14. Franchisehouders	Nee			0		
15. Investerings	Nee			0		
Totaal				42704		

Opmerking. Aangepast overgenomen uit Scope 3 analyse door H. Zondag, 2023, Brakel: Van der Ven. Geraadpleegd op 4 september 2023. Copyright 2023, H. Zondag.

De afgelopen jaren heeft er een verschuiving plaatsgevonden in de bronnen van uitstoot binnen het scope 3 bereik. In het verleden vond de grootste uitstoot plaats in de categorie 'onderaanneming', wat destijds leidde tot een ketenanalyse voor onderaannemers diesel. Nu blijkt echter dat de grootste uitstoot te vinden is in de categorie 'goederen/producten', als gevolg van veranderingen in de activiteiten en werkzaamheden van Van der Ven.

Om hierop in te spelen, is besloten om een nieuwe methode te hanteren om tot frisse inzichten te komen. Van der Ven streeft ernaar deze aanpak in de komende jaren voort te zetten en zo haar maatschappelijke impact verder te versterken. De focus ligt op het verminderen van emissies waar mogelijk en het samenwerken met opdrachtgevers om een klimaatneutrale toekomst te bevorderen.

3.4 Keuze van de ketenanalyse

Van der Ven is al geruime tijd bekend met de CO₂-prestatieladder en de bijbehorende ketenanalyse. Tot op heden betrof de ketenanalyse "diesel onderaannemers". Voor Van der Ven was dit een goed thema, waar in de achterliggende jaren successen werden geboekt.

De nieuwe methode voor het in kaart brengen van de scope 3 emissies is een scope 3 analyse gebaseerd op uitgaven gebaseerde emissiefactoren volgens de GHG-conversiefactoren van Defra (DECC en Defra, 2011). Door de emissiefactor van een bepaalde productgroep te vermenigvuldigen met het omzetbedrag van een crediteur komt hier de CO₂-uitstoot van het bedrijf uit. Hiervoor is de crediteurenlijst van 2022 uit het projectbewakingssysteem, Infraworks, gebruikt (Infraworks, 2022).

De emissiefactoren voor indirecte emissies uit de toeleveringsketen in bijlage 13 van de GHG-conversiefactoren worden uitgedrukt als emissiefactoren per eenheid uitgaven aan producten, in kilogram equivalent per pond (kg CO₂e per £). De emissiefactoren van de toeleveringsketen worden uitgedrukt in een standaard koperprijs, de werkelijke verkoopprijs inclusief belastingen op producten en distributiemarges.

De grootste uitstoot blijkt nu te vallen binnen de categorie: "goederen en producten". Deze verzameling bestaat uit de productgroepen: Cement, lijm en pleister, IJzer en staal, Elektrische apparatuur, Kunststoffen, Constructie, Hout en houtproducten, Steen, zand en klei en Agrarische producten.

Uit de scope 3 analyse komt de volgende top 3 aan productgroepen met de grootste CO₂ uitstoot:

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Cement, lijm en pleister (beton) | 28.093,93 ton CO ₂ |
| 2. IJzer en staal | 5.794,54 ton CO ₂ |
| 3. Elektrische apparatuur | 1.956,84 ton CO ₂ |

Op basis van deze cijfers is ervoor gekozen om een nieuwe ketenanalyse te maken. De ketenanalyse betreft: "Beton".

4. Beschrijving van de waardeketen

4.1 Algemene beschrijving

De waardeketen van een product omvat het gehele proces van grondstoffen tot het eindproduct, inclusief de stappen van productie, distributie en consumptie. Elke schakel in deze keten draagt bij aan de waarde van het product en beïnvloedt de uiteindelijke tevredenheid van de consument.

Binnen elke fase van de waardeketen kan er CO₂-uitstoot optreden, wat bijdraagt aan klimaatverandering en andere milieuproblemen. Hier volgen voorbeelden van CO₂-uitstoot en de gevolgen in verschillende stadia van de waardeketen:

1. **Grondstoffenwinning:** Het delven of winnen van grondstoffen, zoals mijnbouw of bosbouw, kan leiden tot CO₂-uitstoot door het gebruik van zware machines en brandstoffen. Ontbossing draagt bovendien bij aan een afname van CO₂-opname door bomen;
2. **Productie:** Het productieproces verbruikt vaak veel energie, afkomstig van fossiele brandstoffen, wat CO₂-uitstoot genereert. Industriële processen kunnen ook leiden tot emissies van schadelijke stoffen en broeikasgassen;
3. **Transport en distributie:** Het verplaatsen van grondstoffen, halffabricaten en eindproducten kan aanzienlijke CO₂-uitstoot veroorzaken, vooral bij transport over lange afstanden of gebruik van voertuigen op fossiele brandstoffen;
4. **Gebruik en consumptie:** Het gebruik van producten door consumenten kan indirecte CO₂-uitstoot genereren, bijvoorbeeld door elektrische apparaten die op het elektriciteitsnet zijn aangesloten en afhankelijk zijn van de energiebronnen voor elektriciteitsproductie;
5. **Afvalverwerking:** De manier waarop producten worden afgedankt en afval wordt verwerkt, kan bijdragen aan CO₂-uitstoot. Stortplaatsen met biologisch afbreekbare materialen kunnen bijvoorbeeld methaangas produceren, een potent broeikasgas.

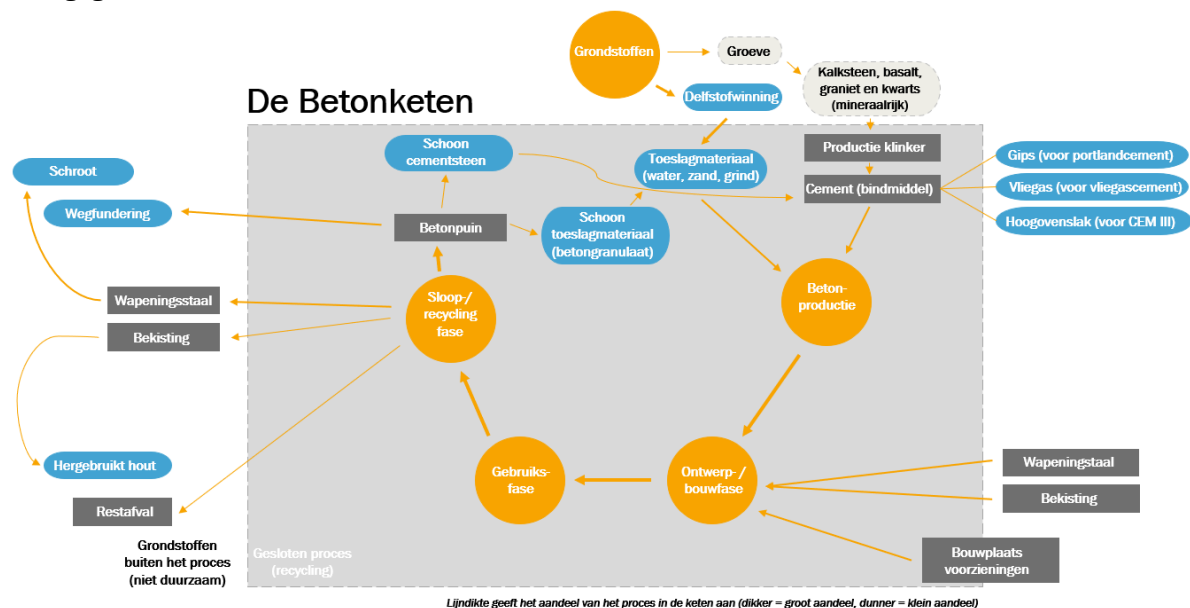
De gevolgen van CO₂-uitstoot in de waardeketen omvatten klimaatverandering, opwarming van de aarde, smeltende ijskappen, stijging van de zeespiegel, extreme weersomstandigheden en verstoring van ecosystemen. Het verminderen van CO₂-uitstoot in de waardeketen en het implementeren van duurzame praktijken zijn cruciaal om wereldwijd positieve impact te hebben op mens, dier en milieu (Zondag H. , Scope 3 en ketenanalyse vd Ven incl. beton (concept), 2023).

4.2 Waardeketen van beton

4.2.1 Beschrijving van de keten

Beton is een bouw materiaal samengesteld uit water, zand, grind, bindmiddelen en mogelijk ook hulp- en vulstoffen. Zand en grind worden aangeduid als toeslagmaterialen en worden samengehouden door het bindmiddel, dat een reactie aangaat met water. Meestal wordt cement gebruikt als bindmiddel, wat tevens het belangrijkste bestanddeel van beton is. Door een chemische reactie met water verhardt het cement. De water/cementfactor, oftewel de verhouding tussen de hoeveelheid water en de hoeveelheid cement, speelt een cruciale rol bij de duurzaamheid en sterkte van beton (Wouters, 2019).

De waardeketen van beton is te onderscheiden in achtereenvolgens de grondstoffase, productiefase, transportfase, gebruiksfase, sloop-/recyclingfase. Bij elke pijl wordt er waarde aan het (eind)product toegevoegd, waarbij ook CO₂ vrijkomt. In de onderstaande figuur is dit proces globaal schematisch weergegeven:



Figuur 3: De waardeketen van beton

Aangepast overgenomen uit Ketenanalyse Beton (p. 10) door P. Wouters, 2019. Geraadpleegd op 11 september 2023, van (<https://www.gmb.eu/mvo-en-veiligheid/co2-prestatieladder/inzicht>). Copyright 2019, P. Wouters

4.2.2 Grundstoffphase

Beton bestaat voor circa 25% uit cement (bindmiddel) en water, voor 75% uit toeslagmaterialen, zoals zand en granulaat (korrels en stenen om het beton te versterken) en voor enkele procenten uit hulpstoffen. Het zand en de granulaten worden doorgaans gewonnen in steen- en zandgroeves. Traditioneel cement wordt gemaakt uit de Portlandklinker (cementtype CEM I), maar er worden in Nederland ook op grote schaal cementtypen gebruikt waarbij het CO₂-intensieve Portlandklinker is vervangen door alternatieve grondstoffen (CEM II, IV en V) of het restproduct hoogovenslak (CEM III) (Bovenkamp, 2017).

Cement

Er bestaan diverse soorten cement met variërende concentraties portlandcement, hoogovenslak of andere grondstoffen, aangeduid als CEM I tot en met CEM V. De classificatie van deze cementtypes bestaat uit het label 'CEM', gevolgd door het Romeinse cijfer (I tot en met V) dat de categorie aangeeft. Hierop volgt de letter A, B of C, die afhangt van het afnemende klinkergehalte, en een hoofdletter die het toegevoegde bestanddeel naast de portlandcementklinker vertegenwoordigt. Onderstaand zijn de verschillende types cement weergegeven (Wouters, 2019).

- CEM I: Portlandcement, met maximaal 5% andere stoffen;
CEM II: Samengesteld portlandcement (min. 65%), met bijvoorbeeld leisteel, vliegask of hoogovenslak;
CEM III: Hoogovencement, portlandcement met min. 36% (A) en max. 95% (C) hoogovenslak;
CEM IV: Puzzolaancement, portlandcement met min. 11% en max. 55% microsilica en/of puzzolanen en/of vliegask;
CEM V: Composietcement, portlandcement met 18 tot 50% hoogovenslak en min. 18% tot max. 50% Puzzolanen.

In tabel 5 zijn de hoofdbestanddelen van de verschillende soorten cement weergegeven. De verschillende soorten bestanddelen van cement kunnen invloed hebben op de grondstoffenfase van de ketenanalyse.

Tabel 5
De cementsoorten

Aanduiding		Omschrijving	Samenstelling (gehalte in massaprocent)										Nevenbestanddelen		
			Hoofdbestanddelen								Gebrande leesteen			Kalksteen	
			Klinker	Hoogovenslak	Micro-silica	Puzzolanen		Vliegas							
						natuur-lijke	gebrande natuur-lijke	siliciumhoudend	calciumhoudend						
			K	S	D (b)	P	Q	V	W	T	L	LL			
CEM I		Portlandcement	95-100											0-5	
CEM II	/ A - S / B -	Portlandslakement	80-94	6-20										0-5	
			65-79	21-35										0-5	
	/ A - D / B -	Portland microsilicacement	90-94		6-10									0-5	
			80-94			6-20								0-5	
	/ A - P / B -	Portland puzzolaancement	65-79			21-35								0-5	
			80-94				6-20							0-5	
	/ A - Q / B -		65-79				21-35							0-5	
			80-94					6-20						0-5	
	/ A - V / B -	Portland vliegascement	65-79						6-20					0-5	
			80-94						21-35					0-5	
	/ A - W / B -		80-94							6-20				0-5	
			65-79							21-35				0-5	
	/ A - T / B -	Portland leistement	80-94								6-20			0-5	
			65-79								21-35			0-5	
	/ A - L / B -	Portland kalksteement	80-94									6-20		0-5	
			65-79									21-35		0-5	
	/ A - LL / B -		80-94										6-20	0-5	
			65-79										21-35	0-5	
	/ A - M* / B -	Portland composietcement	80-94	<----- 6-20 ----->										0-5	
65-79			<----- 21-35 ----->										0-5		
CEM III	/ A - / B - / C -	Hoogovencement	35-64	36-65										0-5	
			20-34	66-80										0-5	
			5-19	81-95											0-5
CEM IV	/ A - / B -	* Puzzolaancement	65-89		<----- 11-35 ----->								0-5		
			45-64		<----- 36-55 ----->								0-5		
CEM V	/ A - / B -	Composietcement	40-64	18-30		<----- 18-30 ----->						0-5			
			20-38	31-50		<----- 31-50 ----->						0-5			

Opmerking. Aangepast overgenomen uit Cement - specificatie en certificatie. CE-markering en dubbele markering CE + BENOR door Febelcem, 2003. Geraadpleegd op 18 september 2023, van:

(https://www.febecem.be/fileadmin/user_upload/dossiers-ciment-94-08/nl/25_nl.pdf) Copyright 2003, Febelcem

Bij de tabel horen de volgende kanttekeningen: (Febelcem, 2003)

- ▶ Het gehalte microsilica (D) mag niet meer dan 10% bedragen (vanwege het minimale cement gehalte en de water-cement factor = eis conform de NEN);
- ▶ In het geval van portlandcomposietcement CEM II/A-M en CEM II/B-M, puzzolaancement CEM IV/A en CEM IV/B moeten de hoofdbestanddelen, anders dan klinker, in de aanduiding van het cement vermeld zijn.

In het tweede gedeelte van de benaming van het type cement wordt de sterkteklasse van het cement aangegeven, die bestaat uit drie categorieën: 32,5, 42,5 en 52,5. De aanduiding voor de sterkteklasse wordt gevolgd door een 'L', 'N' of 'R', wat respectievelijk staat voor een lage, normale of hoge beginsterkte (R staat voor 'Rapid' ofwel snel). Het derde deel van de code biedt informatie over specifieke

eigenschappen, zoals 'LH' (Low Heat/lage warmteontwikkeling) en 'sr' (Sulphate Resistance/hoge sulfaatbestendigheid). Naast het "normale" Low Heat cement zijn er ook speciale (Very Low Heat) VLH-cementen. Het tweede en derde deel van de naamgeving hebben over het algemeen weinig tot geen invloed op de grondstoffenfase van de ketenanalyse (BetonLexion, 2021).

Van de verschillende soorten cement die worden gebruikt in de betonproductie, zijn dit de meest gangbare en gebruikte in Nederland: (Zondag H. , Scope 3 en ketenanalyse vd Ven incl. beton (concept), 2023)

1. **Portlandcement:** Dit is het meest gebruikte cementtype en is samengesteld uit 65% kalk(steen), 20% silicium, 10% aluminium, 5% ijzererts en eventueel gips. Het productieproces omvat het malen van de grondstoffen tot een fijn poeder en het verhitten ervan bij hoge temperaturen (ongeveer 1450 graden Celsius) in een roterende oven, wat resulteert in de vorming van klinker. Portlandcement biedt goede sterkte en duurzaamheid, maar het productieproces ervan is energie-intensief en draagt aanzienlijk bij aan de CO₂-uitstoot in de betonindustrie;
2. **Vliegascement:** Dit type cement wordt geproduceerd door het mengen van portlandcement met vliegascement, dat een restproduct is van steenkoolverbranding in energiecentrales. Vliegascement is een poederachtig materiaal dat deels de klinker vervangt, waardoor de CO₂-uitstoot wordt verminderd. Het gebruik van vliegascement in beton kan de sterkte en duurzaamheid verbeteren, en tegelijkertijd de milieueffecten van het productieproces verminderen;
3. **Hoogovencement:** Dit cementtype wordt vervaardigd door portlandcement te mengen met hoogovenslak, een bijproduct van de productie van ruwijzer. Hoogovencement heeft vergelijkbare eigenschappen als Portlandcement, maar het gebruik van hoogovenslak vermindert de CO₂-uitstoot, omdat het een alternatieve grondstof is in plaats van volledig nieuwe grondstoffen te gebruiken.

Omdat klinker (portlandcement) van elke cementsoort een bestanddeel is, is deze terug te zien in de waardeketen van beton. Naast de kalksteen wordt er basalt (ijzerrijk), kwarts (siliciumrijk) en graniet (diverse mineralen, waaronder aluminium) gewonnen uit de groeve.

Omdat het produceren van klinker naar uiteindelijk (Portland)cement een productieproces op zichzelf is, waarbij dus CO₂ vrijkomt, is het productieproces van cement verder toegelicht.



Figuur 4: Productieproces cement

Overgenomen uit: Productieproces cement [film] door ENCI, 2017. Geraadpleegd op 18 september 2023, van Youtube: (<https://www.youtube.com/watch?v=Q27gG5GGbsA>) Copyright 2017, ENCI

Productieproces cement: (ENCI, 2017)

1. Ontginning van kalkzandsteen

Kalkzandsteen is de basisgrondstof voor de fabricage van cement. Kalkzandsteen wordt in de groeve ontgonnen en met dumpers naar de breker gebracht;

2. Breking en zeping kalkzandsteen

De kalksteen wordt gebroken en fijn gezeefd in de breekinstallatie en naar de klinkerproductieinstallatie vervoerd via een transportband;

3. Menging grondstoffen

Klinker wordt verkregen door vier minerale bestanddelen, door deze te drogen, mengen en malen ontstaat een homogeen meel:

- ▶ Calciumoxide;
- ▶ Aluminiumoxide;
- ▶ Siliciumoxide;
- ▶ IJzeroxide.

[deze 4 oxides zijn terug te vinden in de grondstoffen kalksteen, vliegias, pyriet-as, klei en/of leem] [afhankelijk van de samenstelling van de beschikbare grondstoffen];

4. Voorverhitting meel

Het meel wordt naar de voorverwarmingstoren gevoerd, die uit cyclonen bestaan. Tijdens het vallen absorbeert het meel opstijgende gascalorieën en bereikt het een temperatuur van 800 °C. Ter hoogte van de precalcinator (onderin de toren) ondergaat het mengsel het decarbonatisatieproces, waardoor het omgezet wordt in calciumoxide;

5. Verhitting meel

Vervolgens komt het mengsel in een hellende draaioven terecht die wordt verhit door een vlam met een temperatuur van ongeveer 1800 °C. Hier voltrekt zich de klinkervorming [$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$] bij een temperatuur van 1350 °C;

6. Bruuske afkoeling klinker

De klinker verlaat de oven onder de vorm van korrels en wordt naar de luchtkoelinstallatie geleid waardoor zijn temperatuur daalt tot ongeveer 150 °C. Deze bruuske afkoeling stopt alle transformatieprocessen;

7. Opslag klinker

De klinker wordt opgeslagen in silo's;

8. Dosering grondstoffen

Aan de klinkerkorrels wordt een bindingsregelaar [CaSO_4] toegevoegd. Afhankelijk van het cementtype wordt ook vliegias, kalksteenmeel en hoogovenslak toegevoegd. De dosering van die grondstoffen bepaalt de gewenste cementsoorten;

9. Vermaling grondstoffen

Na dosering worden de elementen in een maalinstallatie gebracht waar ze tot poeder worden vermalen. In een afscheider worden de korrels van elkaar gescheiden naargelang hun fijnheid. Te grove korrels worden opnieuw naar de molen gebracht. De fijnheid van het cement bepaalt de eigenschappen, zoals de sterkteklasse, ervan;

10. Opslag cement

Het cement wordt opgeslagen in grote silo's. Elke silo krijgt een bepaalde cementsoort toegewezen;

11. Verzending cement

Het cement in bulk wordt verzonden in vrachtwagens, per binnenschip of per spoor. Verpakt cement wordt verzonden in verpakkingen van 25 kg.

De impact van het productieproces van cement op de CO₂-uitstoot varieert afhankelijk van het type cement. Het productieproces van portlandcement is uitermate energie-intensief en resulteert in aanzienlijke CO₂-uitstoot, vooral door de verhitting van kalksteen en het gebruik van fossiele brandstoffen. Ongeveer 7% van de wereldwijde CO₂-uitstoot wordt geschat afkomstig te zijn van de cementindustrie (Ecocem, 2023).

Het gebruik van alternatieve cementtypes, zoals vliegascement en hoogovencement, kan de CO₂-uitstoot in de betonindustrie verminderen. Door deels klinker te vervangen door vliegas of hoogovenslak, kan de hoeveelheid geproduceerde CO₂ worden verminderd. Desalniettemin bieden deze alternatieve cementtypes mogelijk niet dezelfde sterkte en duurzaamheid als portlandcement, waardoor er een afweging moet worden gemaakt tussen prestaties en milieueffecten.

Toeslagmaterialen

Zand en grind worden doorgaans gebruikt als toeslagmaterialen in Nederlands beton, waarbij betonmortel ongeveer 75% toeslagmaterialen bevat. Deze materialen kunnen, afhankelijk van beschikbaarheid, worden vervangen door andere stoffen zoals graniet, bariet, porfier, kalksteen, basalt, kwarts en betongranulaat. De keuze van toeslagmaterialen kan ook beïnvloed worden door de sterkteklasse en de beoogde toepassing van het beton (Wouters, 2019).

Water is een constante factor in betonmortel en zet het chemische proces in gang. Het gebruik van verschillende toeslagmaterialen kan de dichtheid van het beton beïnvloeden. Bijvoorbeeld, basalt heeft een hoge dichtheid, wat resulteert in beton met een hogere dichtheid (Wouters, 2019). Volgens de NEN-EN-206-norm wordt er onderscheid gemaakt tussen licht, normaal en zwaar beton: (Betonhuis, sd)

- ▶ 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.

De keuze van toeslagmaterialen in beton hangt af van de gewenste prestaties van het beton en is project specifiek. Het beton moet voldoen aan specifieke eisen, afhankelijk van het project. Zo kunnen de prestatie-eisen voor een betonvloer in een hal minder streng zijn dan die voor een betonnen brugdek. Echter, zelfs een betonvloer in een hal kan strenge eisen hebben, bijvoorbeeld vanwege blootstelling aan chemicaliën (Wouters, 2019).

Bij het samenstellen van een geschikt betonmengsel spelen mechanische eigenschappen (zoals vervorming en druksterkte), chemische eigenschappen (gerelateerd aan verontreinigingen), en fysische eigenschappen (zoals dichtheid, textuur en korrelvorm) een cruciale rol. De gevolgklasse van het beton, de toepassing (bijvoorbeeld blootstelling aan strooizout of weersinvloeden), en de specifieke omstandigheden beïnvloeden de keuze van toeslagmaterialen om aan de projectvereisten te voldoen (Wouters, 2019).

Na de productie en de ontwerp-/bouwphase gaat beton de gebruiksfase in. Vervolgens wordt het beton gesloopt, meestal aan het einde van de levensduur, maar dat hoeft niet per se het geval te zijn. Na bewerking, breken, zeven en reinigen kan gesloopt beton vaak worden hergebruikt als toeslagmateriaal in nieuw beton. Als meer dan 90% van het beton een volumemassa heeft van 2000 kg/m³, mag het als betongranulaat worden aangeduid (Wouters, 2019).

Betongranulaat mag als vervanger van grind in beton worden gebruikt, hiervoor zijn kwaliteitseisen vastgesteld volgens CUR 112, NEN-EN 206, en NEN 8005. Over het algemeen is het toegestaan om tot 30% van type A1 betongranulaat te gebruiken als vervanger van grind in vrijwel alle betonconstructies. Er wordt echter speciale aandacht gevraagd voor situaties zoals schoonbeton en betonconstructies die worden blootgesteld aan dooizouten. De Vereniging van Ondernemers van Betonmortelfabrikanten in Nederland

(VOBN) heeft een productinformatieblad betongranulaat 4/32 opgesteld waarin de kwaliteitseisen conform CUR112 en NEN5909 zijn vastgelegd. Naast constructieve, technologische en uitvoeringsaspecten is ook gekeken naar de invloed van betongranulaat op textuur en homogeniteit, warmteaccumulatie, geluid en emissies vanuit het materiaal. (Wouters, 2019).

Er zijn geen beperkingen om tot 50% betongranulaat als grindvervanger in beton te gebruiken, wat geldig is voor sterkteklassen C12/15 tot en met C53/65, mits aan specifieke eisen wordt voldaan. (Wouters, 2019).

- ▶ 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 (Wouters, 2019).

Water

Water is een essentieel element bij het maken van beton, en het vervult twee belangrijke functies (Wouters, 2019):

1. **Vorming van Cementsteen:** De grondstoffen cement en water ondergaan een chemische reactie genaamd hydratatie, waarbij ze samen cementsteen vormen. Cementsteen is het uiteindelijke verharde steenachtige product van deze reactie. Hydratatie is simpelweg het toevoegen van water aan een bepaalde stof;
2. **Regulering van Vloeibaarheid:** Water zorgt ervoor dat betonmortel de juiste vloeibaarheid heeft, waardoor het gemakkelijk in vormen kan worden gegoten. Als er te weinig water aanwezig is, wordt het beton te droog en wordt het moeilijk om het te storten. Als het beton te nat is, zakken de zwaardere materialen (zoals grind) naar beneden, terwijl het cement naar boven drijft.

Cement heeft ongeveer 40% van zijn gewicht aan water nodig om de hydratatiereactie volledig te laten verlopen. Soms wordt echter meer water toegevoegd in de praktijk, meestal zo'n 50% van het gewicht van het cement. De verhouding tussen water en cement staat bekend als de watercementfactor (wcf). Het toevoegen van extra water aan het mengsel kan leiden tot de vorming van poriën. Poriën in beton hebben invloed op de sterkte ervan, vooral wanneer aanzienlijk meer water wordt toegevoegd (Wouters, 2019).

Hulpstoffen en toevoegingen

In beton kunnen verschillende soorten hulpstoffen worden gebruikt om de eigenschappen van het beton te verbeteren of aan te passen. Enkele voorbeelden hiervan zijn (Noordemeer, 2014):

- ▶ **Plastificeerders:** verhogen de verwerkbaarheid van beton zonder de noodzaak van extra water (en verminderen dus de sterkte);
- ▶ **Bindingsvertragers:** zoals suiker, waardoor het betonmengsel gedurende een langere tijd kan worden gebruikt;
- ▶ **Luchtbelvormers:** verhogen de vorst- en dooizoutbestendigheid van beton.

Als vervanging voor zand en granulaten worden soms toegevoegd (Noordemeer, 2014):

- ▶ **Vulstof:** een inert poeder van gemalen baksteen om de stabiliteit van het mengsel te vergroten;
- ▶ **Vliegas:** fungeert als plastificeerder en vertoont puzzolane eigenschappen;
- ▶ **Silica fume:** een ultrafijn ferrosiliciumpoeder met sterke puzzolane eigenschappen;

Een nadeel is echter dat fijne poeders tijdens hun reactie meer water nodig hebben, wat het cementgehalte kan verhogen. Dit kan ongewenst zijn om verschillende redenen, en het kan de voordelen met betrekking tot CO₂-besparing tenietdoen. Het is een afweging tussen het verkrijgen van gewenste betoneigenschappen en het handhaven van een efficiënt gebruik van cement. (Noordemeer, 2014)

4.2.3 Productiefase

In deze fase worden de grondstoffen verwerkt tot beton bij een betoncentrale. Nadat de grondstoffen getransporteerd zijn naar de centrale worden deze in opslag gezet en afgewogen, waarna ze gemengd worden waardoor de uiteindelijke betonmortel ontstaat. Vervolgens worden er eventuele steekproeven genomen waarna het betonmengsel wordt gelost in de drukmixer en op transport gaat naar de bouwplaats (Aanen, Communicatie, 2023, pp. 18-55).

4.2.4 Ontwerp-/bouwphase

In deze fase wordt beton gebruikt als bouw materiaal. Architecten en ingenieurs ontwerpen structuren waarin beton wordt toegepast, zoals gebouwen, bruggen, wegen en dammen.

Wanneer de truckmixer met beton op de bouwplaats is gearriveerd, wordt het beton verwerkt en verspreid door gebruik te maken van een kraan met kubel of een betonpomp. De benodigde wapening en de mal of bekisting zijn van tevoren geplaatst. Indien er sprake is van traditioneel beton wordt er verdicht middels trilnaalden en volgt verharding en nabehandeling. Het gebruik van beton in deze fase kan langdurige en duurzame constructies bieden (tijdsbestendig) (Zondag H. , Scope 3 en ketenanalyse vd Ven incl. beton (concept), 2023).

In het geval van prefab productie wordt de betonmortel gebruikt voor het maken van elementen zoals verhardingen, vloeren, putten en buizen, liggers enzovoort. Vaak worden deze elementen van tevoren gefabriceerd en vervolgens op transport gezet richting de bouwplaats.

4.2.5 Gebruiksfase

Na voltooiing van de bouw wordt beton gebruikt voor zijn beoogde doeleinden. Dit kan variëren van het gebruik van betonnen gebouwen en infrastructuur tot het gebruik van betonnen elementen in interieurs. De gebruiksfase kan vele jaren duren, waarin beton bestand moet zijn tegen verschillende belastingen en omgevingsomstandigheden (Zondag H. , Scope 3 en ketenanalyse vd Ven incl. beton (concept), 2023).

4.2.5 Sloop-/recyclingfase

Tijdens projectwerkzaamheden wordt vaak bestaande constructie gesloopt voor, tijdens of kort na de bouw van nieuwe betonconstructies, met name bij het vervangen van kunstwerken. Het slopen van (gewapende) betonconstructies gebeurt doorgaans met behulp van zwaar materieel. Hydraulische knijpers worden gebruikt om de constructie in kleinere stukken te knippen, waarna de wapening wordt verwijderd. De overgebleven stukken worden verwerkt tot puin door een zogenaamde 'crusher', waardoor een herbruikbare grondstof, granulaat, ontstaat. Wapeningsstaal kan worden gescheiden van het puin en via een smeltoven

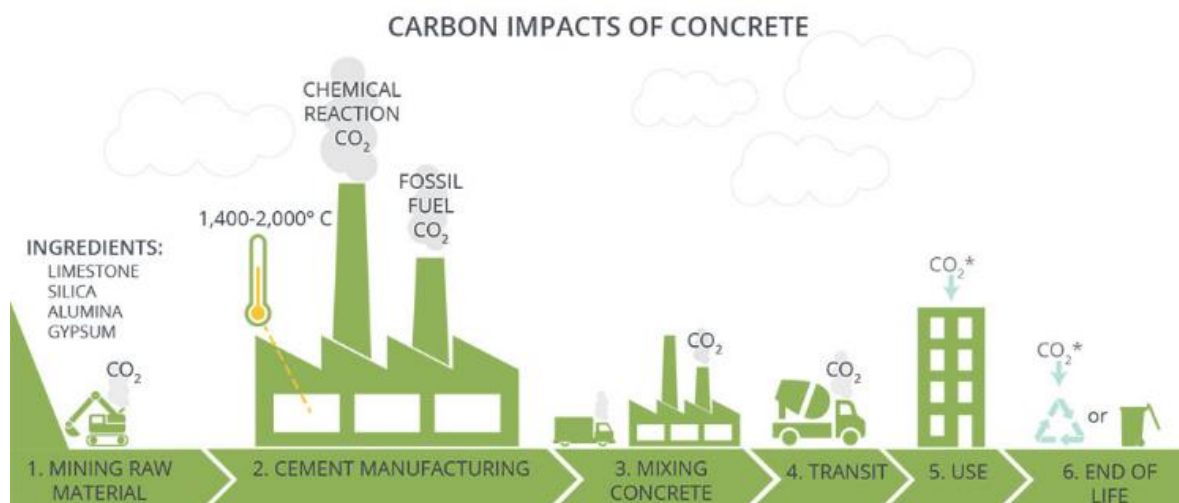
worden gerecycled. Granulaat kan dienen als funderingsonderlaag bij de aanleg van wegen of als vervangende grondstof voor grind in beton (Noordemeer, 2014).

4.2.6 Distributiefase

Tussen elke fase in de keten is transport essentieel. Voornamelijk betonproducenten en sloop-/recyclingbedrijven spelen een cruciale rol in het bepalen van het merendeel van de transportbewegingen. Zij zijn namelijk verantwoordelijk voor het aanvoeren van primaire grondstoffen en het afvoeren van het restproduct (zoals te veel besteld beton of afgekeurd beton voor verdere verwerking) van en naar de betoncentrale. De grootste afstanden voor transport vinden plaats tussen de grondstoffase en de betonproductiefase. Veel grondstoffen worden ontgonnen in groeves of gewonnen door delfstofwinning in het buitenland, voornamelijk in Duitsland, en moeten vervolgens worden vervoerd naar betoncentrales in Nederland (Noordemeer, 2014).

Vanuit het perspectief van de scope 3 analyse heeft Van der Ven weliswaar geen directe invloed hierop, maar als ontwerpende aannemer met betoncentrales en sloopbedrijven kan zij wel afspraken maken over CO₂-reductie in de transportfase (Noordemeer, 2014).

In de onderstaande afbeelding (Pease, 2021) is per fase weergegeven hoe er CO₂ vrijkomt:



Figuur 5: CO₂-uitstoot per fase in de betonketen Overgenomen uit *Lowering The Carbon Impacts Of Concrete* door A. Pease, 2021. Geraadpleegd op 21 september 2023, van (<https://www.inbalancegreen.com/news/2021/5/17/lowering-the-carbon-impacts-of-concrete>) Copyright 2021, In Balance Green Consulting

5. Identificeer partners in de keten

Het identificeren van partners in de waardeketen van beton en betonproducten is een belangrijk aspect bij het begrijpen en optimaliseren van de betonindustrie. In de onderstaande figuur (Steirteghem, 2022) zijn enkele belangrijke partners benoemd die betrokken kunnen zijn in de waardeketen van beton:



Figuur 6: Partners in de betonketen

Aangepast overgenomen uit Ketenanalyse beton door J. van Steirteghem, 2022. Geraadpleegd op 20 september 2023, van (https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/p0005-prod-b24ed4bd9ec3440d82663a9531074c0e/public/skao_publication_document/0001/20/f9d2f60ddf81f8a9926de3cdec65a01d39ccd984.pdf). Copyright 2022. Besix

Tijdens de ontwerpfase van een project zijn de partners nog niet vastgesteld. In de keuze van de partners spelen de volgende uitgangspunten een rol:

- ▶ Bij voorkeur partners in de omgeving;
- ▶ Zoveel mogelijk gebruik maken van duurzame materialen;
- ▶ Vervoer met lage CO₂-uitstoot;
- ▶ Efficiënt transport.

Uit de enquête, afgenomen bij medewerkers van Van der Ven, blijkt dat met de volgende partners over het algemeen het meest wordt samengewerkt door Van der Ven (Aanen, Communicatie, 2023, pp. 5-9):

1. Grondstofleveranciers:

- Mebin
- Theo Pouw B.V.
- Goudse Betonmortel centrale

2. Betonproducenten:

Betoncentrales:

- Mebin
- Betoncentrale Gorkum
- Voets Langeraad
- Theo Pouw B.V.
- Dyckerhoff basal
- Cementbouw

Betonmortel (zak):

- Betoncentrale Gorkum
- Middelkoop
- Dyckerhoff basal

Prefab betonleveranciers:

- Martens beton
- MBI
- Struyk Verwo
- PSD
- Nering Bögel
- LBN
- Kemper (de Meteor)
- Bosch beton
- Giverbo
- VBI

3. Bouwbedrijven en aannemers:

- BetolinQ
- Augustinus

4. Architecten en ingenieurs:

- Royal Haskoning DHV
- Midden Nederland
- Advies & Ontwerpregie

5. Onderhouds- en herstelbedrijven:

- Rowij
- Balm

6. Afvoer- / recyclingbedrijven:

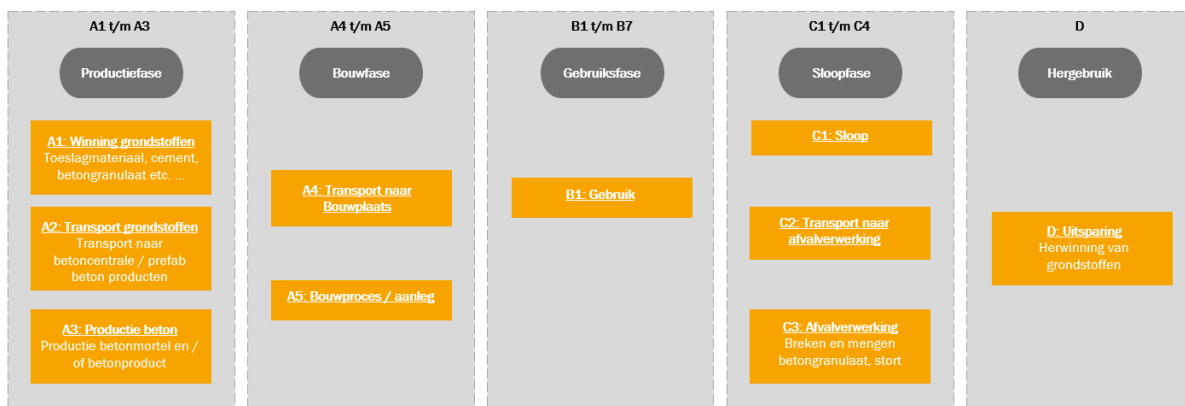
- Zagron
- Renewi
- Theo Pouw B.V.

Het identificeren van geschikte partners in de waardeketen van beton is cruciaal voor het waarborgen van kwaliteit, duurzaamheid en succesvolle implementatie van betonprojecten. Samenwerken met betrouwbare en deskundige partners kan resulteren in efficiënte bouwprocessen, optimale ontwerpen en duurzame betonconstructies (Zondag H. , Scope 3 en ketenanalyse vd Ven incl. beton (concept), 2023).

6. Kwantificeer de scope 3 emissies

Nu er een gedetailleerd overzicht van de betonketen is, is het tijd om te onderzoeken welke maatregelen er genomen kunnen worden om emissiereducties te realiseren. Hiervoor moet er opnieuw worden gekeken naar de verschillende betonmengsels en de emissies die zich in de keten voordoen. Daarmee kan vervolgens prioritering, een actieplan en maatregelen worden opgesteld voor Van der Ven.

De scope 3 emissies worden gekwantificeerd op basis van de fases van een levenscyclusanalyse (LCA), van A1 t/m D (TNO Nederland, 2020). Omdat beton in de gebruiksfase geen onderhoud vergt wordt op fase B niet ingegaan.



Figuur 7: Levenscyclus analyse beton (LCA)

Aangepast overgenomen uit PCR Asphalt (p. 13) door TNO Nederland, 2020. Geraadpleegd op 25 september 2023, van (<https://www.bouwendnederland.nl/media/12923/pcr-asfalt-v20.pdf>). Copyright 2020, TNO Nederland.

6.1 Grondstof- en productiefase (A1 en A3)

Betonproducenten beschikken over duizenden diverse betonmengsels in hun databanken. Elk van deze mengsels resulteert in een verschillende CO₂-uitstoot. Om de CO₂-uitstoot van de meest gangbare mengsels te berekenen, wordt gebruik gemaakt van het gemiddelde betonmortelmengsel uit 2017 volgens een onderzoeksrapport van CE Delft: "Klimaatimpact van betongebruik in de Nederlandse bouw" (CE Delft, 2020). Dit zijn door Betonhuis ingewonnen samenstellingen in kg grondstof/m³ beton:

Tabel 6

Gemiddelde samenstelling van betonmortel, betonproducten en "beton totaal" in NL

Grondstof	Gemiddelde samenstelling (kg/m³)		
	Betonmortel	Betonproducten	Beton totaal
Zand	790	884	833
Grind / steenslag	1017	878	954
Betongranulaat	60	74	66
AEC-granulaat	0	31	14
Cement	311	311	311
Poederkoolvliegass	26	5	17
Hoogovenslak*	15	3	9
Kalksteenmeel	0	38	17
Water	165	128	148
Totaal	2384	2352	2369
Wapeningsstaal**	50	35	43

Opmerking. Aangepast overgenomen uit Klimaatimpact van betongebruik in de Nederlandse bouw (p. 19) door CE Delft, 2020. Geraadpleegd op 28 september 2023, van (<https://ce.nl/publicaties/klimaatimpact-van-betongebruik-in-de-nederlandse-bouw>) Copyright 2020, CE Delft.

* Hoogovenslak representeert het additionele hoogovenslak in beton, niet in het hoogovenslak cement

** Wapeningsstaal is los van het totaal weergegeven omdat het technisch geen onderdeel van de betonmix zelf is

Naast het aandeel cement per m³ betonmortel en betonproducten, verschilt het type cement dat in betonmortel en betonproducten gemiddeld wordt toegepast. De klimaatimpact van beton is voor ruim 80% afhankelijk van het type cement dat wordt gebruikt. Daarom is in tabel 7 een uitsplitsing gemaakt naar type cement op basis van gebruik van betonmortel en -producten in Nederland voor het jaar 2017 (CE Delft, 2020).

Tabel 7

Verdeling van het cement naar cementtypen in betonmortel, betonproducten en "beton totaal" in NL

Cementtype	Gemiddelde samenstelling (kg/m³)		
	Betonmortel	Betonproducten	Beton totaal
CEM I	19%	56%	36%
CEM II	4%	12%	7,6%
CEM III/A	1,7%	30%	15%
CEM III/B	71%	1,7%	40%
CEM IV	0%	0%	0%
CEM V	4%	0%	2,2%
Totaal	100%	100%	100%

Opmerking. Aangepast overgenomen uit Klimaatimpact van betongebruik in de Nederlandse bouw (p. 20) door CE Delft, 2020. Geraadpleegd op 28 september 2023, van (<https://ce.nl/publicaties/klimaatimpact-van-betongebruik-in-de-nederlandse-bouw>) Copyright 2020, CE Delft.

Tabel 8 geeft een overzicht weer van de klimaatimpact van de winning en productie (A1 en A3) voor het jaar 2017 (CE Delft, 2020). Het transport naar de bouwplaats (A2) wordt in het volgende hoofdstuk meegenomen.

Tabel 8
Klimaatimpact van de winning en productie (A1 + A3) per kg grondstof

Grondstof	Klimaatimpact per kg grondstof (kg CO ₂ -eq.)
Zand	0,004
Grind / steenslag	0,004
Betongranulaat	0
AEC-Granulaat	0,001
Poederkoolvliegias	0
Hoogovenslak	0
Kalksteenmeel	0,003
Water	0
Wapeningsstaal	1,37
Cementtype	Klimaatimpact per kg grondstof (kg CO ₂ -eq.)
CEM I	0,858
CEM II	0,643
CEM III/A	0,470
CEM III/B	0,272
CEM V	0,513

Opmerking. Aangepast overgenomen uit Klimaatimpact van betongebruik in de Nederlandse bouw (p. 22+23) door CE Delft, 2020. Geraadpleegd op 28 september 2023, van (<https://ce.nl/publicaties/klimaatimpact-van-betongebruik-in-de-nederlandse-bouw>) Copyright 2020, CE Delft.

6.2 Transportfase (A2, A4 en C2)

Transport vindt plaats op drie momenten in de keten:

- ▶ Van de locatie van grondstofwinning naar de locatie van betonproductie (betoncentrale / prefab betonproducent) (A2);
- ▶ Van de locatie van de betonproductie naar de bouwplaats (A4);
- ▶ Van de sloop naar de locatie van verwerking (finale afvalverwerking of recycling) (C2).

Elke grondstof wordt getransporteerd van de plaats van productie naar de locatie waar betonmortel of betonproducten worden vervaardigd. Zand en grind worden vaak gewonnen op zee of in landelijke gebieden in de buurt van rivieren, en worden daarom hoofdzakelijk per schip vervoerd naar de betonproductielocatie. Kalksteen(meel) wordt ofwel gewonnen uit groeven in de buurt van rivieren of uit binnenlandse bronnen gehaald. Cement en de secundaire grondstoffen zoals betongranulaat, poederkoolvliegias en hoogovenslak worden per vrachtwagen vervoerd.

NIBE heeft onderzoek gedaan naar de transportafstanden voor de grondstoffen van beton (NIBE, 2018). Tabel 10 biedt een overzicht van de transportafstanden per vervoerd product, zoals grondstoffen, betonmortel, betonproducten of gesloopt beton. Deze gegevens zijn gebaseerd op informatie uit (NIBE, 2018) en (CE Delft, 2020). Een nulwaarde in de tabel geeft aan dat er geen transport plaatsvindt met het betreffende transportmiddel voor het desbetreffende product. Een voordeel van het onderzoek van NIBE is de precisie van de gegevens voor alle grondstoffen. In veel studies worden schattingen van de transportafstanden gegeven of generieke waarden toegepast voor alle grondstoffen.

Tabel 9
Transportafstanden en transportmiddelen

Vervoerd product	Zeetransport (km)	Binnenvaartschip (km)	Vrachtwagen (km)
Transport van locatie van grondstofwinning of -productie van betonproductie (A2)			
Zand	38	159	4
Grind/steenslag	51	239	10
Betongranulaat	0	0	30
AEC-granulaat	0	0	75
CEM I	0	0	186
CEM II	0	0	186
CEM III/A	0	0	186
CEM III/B	0	0	186
CEM V	0	0	186
Poederkoolvliegass	0	0	150
Hoogovenslak	0	0	150
Kalksteenmeel	0	150	50
Water	0	0	0
Wapeningsstaal	0	0	150
Transport van locatie betonproductie naar bouwplaats (A4)			
Betonmortel naar bouwplaats	0	0	25
Betonproduct naar bouwplaats	0	0	75
Transport van bouwplaats naar verwerking (C2)			
Beton naar de verwerker	0	0	15

Opmerking. Aangepast overgenomen uit Klimaatimpact van betongebruik in de Nederlandse bouw (p. 27+28) door CE Delft, 2020. Geraadpleegd op 28 september 2023, van (<https://ce.nl/publicaties/klimaatimpact-van-betongebruik-in-de-nederlandse-bouw>) Copyright 2020, CE Delft en Advies voor MKI plafondwaarden voor betonmortel en betonproducten (p. 24) door NIBE, 2018. Geraadpleegd op 28 september 2023, van (https://www.betonakkoord.nl/wp-content/uploads/sites/43/166796/def_nibe_rapport_max_mki_waarde_16-12-2018.pdf) Copyright 2018, NIBE

Voor de berekening is per grondstof één transportmiddel, welke in de meeste gevallen wordt gebruikt, toegewezen. Dit bleek ook uit de locatiebezoeken bij onze leveranciers (Aanen, Communicatie, 2023, pp. 18-55) en zijn in het grijs gemarkeerd weergegeven.

De klimaatimpact van transportmiddelen wordt uitgedrukt in kg CO₂-equivalent per tonkilometers. Dit geeft de uitstoot van broeikasgassen weer per ton vervoerd product over 1 kilometer en zijn hieronder weergegeven (CE Delft, 2020) (CE Delft, 2013) (NIBE, 2018):

- ▶ Zeetransport 0,011 kg CO₂-eq/ton km = 0,000011 CO₂-eq/kg km;
- ▶ Binnenvaartschip 0,038 kg CO₂-eq/ton km = 0,000038 CO₂-eq/kg km;
- ▶ Vrachtwagen 0,192 kg CO₂-eq/ton km = 0,000192 CO₂-eq/kg km.

6.3 Ontwerp-/bouwphase (A5)

Deze fase omvat emissies die voortkomen uit activiteiten op de bouwplaats, zoals het gebruik van brandstof voor machines. Voor bouwactiviteiten zijn er verschillende bronnen beschikbaar. Zowel de Dubocalc-rekentool als de SBK-database bevatten informatie over de verwerking van beton op de bouwplaats. Voor het gebruik van machines bij bouw- en sloopactiviteiten is gebruikgemaakt van de Dubocalc-rekentool. Deze tool is specifiek ontwikkeld voor het berekenen van de milieu-impact van bouwprojecten in de grond-, weg-

en waterbouwsector (GWW). De Dubocalc-rekentool levert verschillende milieuresultaten, waaronder de klimaatimpact van het gebruik van machines (CE Delft, 2013). Deze zijn in tabel 10 weergegeven.

Tabel 10
Klimaatimpact van de bouwfase (A5)

Bouwfase		kg CO ₂ /m ³	% gebruik	kg CO ₂ /m ³	kg CO ₂ /m ³
Betonmortel	Betonpomp, of	6,17	70%	5,15	5,34
	Kraan en kubel	2,78	30%		
	Trilnaald	0,19	100%	0,19	
Prefabricage	Mobiele kraan	2,10	100%	2,10	2,10

Opmerking. Aangepast overgenomen uit Milieu-impact van betongebruik door de Nederlandse bouw (p. 21) door CE Delft, 2013. Geraadpleegd op 28 september 2023, van (https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/03/CE_Delft_2828_Milieu-impact_van_betongebruik_DEF_1411033477.pdf). Copyright 2013, CE Delft.

Bij het storten van betonmortel wordt in 70% van de gevallen gebruik gemaakt van een betonpomp, en in 30% van de gevallen van een kraan met kubel, deze percentages zijn meegenomen in de uiteindelijke factor van betonmortel

6.4 Gebruiksfasen (B)

Beton heeft in de gebruiksfase vrijwel geen onderhoud nodig, en daarom wordt dit aspect doorgaans als verwaarloosbaar beschouwd bij het beoordelen van de totale milieu-impact. Tijdens de gebruiksfase van bouwwerken zijn andere factoren van invloed, zoals energieverbruik en emissies veroorzaakt door bijvoorbeeld verkeer. Hoewel het gebruik van beton een rol speelt in de gebruiksfase van bouwwerken, kunnen de emissies die ontstaan door het gebruik van een gebouw of GWW-bouwwerk niet volledig of soms helemaal niet worden toegeschreven aan het bouw materiaal zelf. Bijvoorbeeld, betonnen wegconstructies hebben geen invloed op de hoeveelheid verkeer dat er gebruik van maakt of op de brandstofefficiëntie van de vervoersmiddelen. Hierdoor wordt de CO₂-uitstoot in deze fase als nul beschouwd.

6.5 Sloop-/recyclingfase (C1, C3, D)

Na het gebruik van betonnen bouwwerken worden ze uiteindelijk gesloopt. Tijdens het sloopp proces worden doorgaans machines ingezet die gebruikmaken van dieselbrandstof. Dit omvat bijvoorbeeld kranen, shovels, puinbrekers, enzovoort. De hoeveelheid energie die nodig is voor het slopen varieert afhankelijk van het type bouwwerk. De gegevens voor het slopen en breken zijn verkregen uit de SBK-database (CE Delft, 2013) en weergegeven in tabel 11.

Tabel 11
Klimaatimpact van de sloop-/recyclingfase (C1, C3, D)

	Fase	Kg CO ₂ /m ³	Totaal per fase (kg CO ₂ /m ³)
C1	Sloop	5,18	6,89
	Inladen puinwagen	1,71	
C3	Breekproces	20,50	20,50
D	Herinzet betongranulaten	-7,91	-27,68
	Herinzet wapeningsstaal	-19,77	

Opmerking. Aangepast overgenomen uit Milieu-impact van betongebruik door de Nederlandse bouw (p. 24) door CE Delft, 2013. Geraadpleegd op 28 september 2023, van (https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/03/CE_Delft_2828_Milieu-impact_van_betongebruik_DEF_1411033477.pdf). Copyright 2013, CE Delft.

6.6 Berekening totale keten

In dit hoofdstuk is per m³ betonmortel en betonproducten berekend wat de totale klimaatimpact is per fase van de LCA en in het totaal op basis van de voorgaande tabellen.

6.6.1 Onderbouwing fase A1 + A3

In de winning van de grondstoffen (A1) en de productie van beton (A3) in een betoncentrale of als prefabricage zit nog een wezenlijk verschil. Voor prefab productie zit ongeveer 89% in A1 en 11% in A3. Voor productie in de betoncentrale zit ongeveer 97% in A1 en 3% in A3. Dit zal ook meegenomen worden in de totale uitstoot.

Tabel 12
Totale klimaatimpact voor 1 m³ betonmortel in fase A1 en A3

Gemiddelde samenstelling betonmortel (kg/m ³)		Klimaatimpact (A1+A3) per kg grondstof (kg CO ₂ -eq.)	Totale impact (kg CO ₂ -eq.)
Grondstof	Hoeveelheid (kg)		
Zand	790	0,004	3,16
Grind / steenslag	1017	0,004	4,07
Betongranulaat	60	0	0
AEC-granulaat	0	0,001	0
Cement, waarvan:	311 (totaal)	-	127,63 (totaal)
- CEM I (19%)	0,19 x 311 = 59,09	0,858	50,70
- CEM II (4%)	0,04 x 311 = 12,44	0,643	8,00
- CEM III/A (1,7%)	0,017 x 311 = 5,29	0,470	2,49
- CEM III/B (71%)	0,71 x 311 = 220,81	0,272	60,06
- CEM IV (0%)	0	-	0
- CEM V (4%)	0,04 x 311 = 12,44	0,513	6,38
Poederkoolvliegias	26	0	0
Hoogovenslak*	15	0	0
Kalksteenmeel	0	0	0
Water	165	0	0
Totaal (A1+ A3)	2384	-	134,86
Wapeningsstaal**	50	1,37	68,50
Totaal (incl. wapening)	2435		203,36

Tabel 13
Totale klimaatimpact voor 1 m³ betonproducten in fase A1 en A3

Gemiddelde samenstelling betonproduct (kg/m ³)		Klimaatimpact (A1+A3) per kg grondstof (kg CO ₂ -eq.)	Totale impact (kg CO ₂ -eq.)
Grondstof	Hoeveelheid (kg)		
Zand	884	0,004	3,54
Grind / steenslag	878	0,004	3,51
Betongranulaat	74	0	0
AEC-granulaat	31	0,001	0,031
Cement, waarvan:	311 (totaal)	-	218,72 (totaal)
- CEM I (56%)	0,56 x 311 = 174,16	0,858	149,43
- CEM II (12%)	0,12 x 311 = 37,32	0,643	24,00
- CEM III/A (30%)	0,30 x 311 = 93,30	0,470	43,85

- CEM III/B (1,7%)	0,017 x 311 = 5,287	0,272	1,44
- CEM IV (0%)	0	0	0
- CEM V (0%)	0	0	0
Poederkoolvliegias	5	0	0
Hoogovenslak*	3	0	0
Kalksteenmeel	38	0,003	0,11
Water	128	0	0
Totaal (A1+ A3)	2352	-	225,91
Wapeningsstaal**	35	1,37	46,58
Totaal (incl. wapening)	2387		272,49

6.6.2 Onderbouwing fase A2

In de tabel van betonmortel is wapeningsstaal weggelaten, omdat er geen transport plaatsvindt van wapening naar de betoncentrale, maar wel naar de betonproducent. In fase A4 is het transport van de wapening naar de bouwplaats wel opgenomen, en niet voor de betonproducten.

Tabel 14

Totale klimaatimpact voor 1 m³ betonmortel in fase A2

Gemiddelde samenstelling betonmortel (kg/m³)		Klimaatimpact (A2) /kg en km transport (kg CO ₂ -eq.)	km	Totale impact (kg CO ₂ -eq.)
Grondstof	Hoeveelheid (kg)			
Zand	790	0,000038 (B)	159	4,77
Grind / steenslag	1017	0,000038 (B)	239	9,24
Betongranulaat	60	0,000192 (V)	30	0,35
AEC-granulaat	0	0,000192 (V)	75	0
Cement, waarvan:	311 (totaal)	0,000192 (V)	186	11,11
- CEM I (19%)	0,19 x 311 = 59,09			
- CEM II (4%)	0,04 x 311 = 12,44			
- CEM III/A (1,7%)	0,017 x 311 = 5,29			
- CEM III/B (71%)	0,71 x 311 = 220,81			
- CEM IV (0%)	0			
- CEM V (4%)	0,04 x 311 = 12,44			
Poederkoolvliegias	26	0,000192 (V)	150	0,75
Hoogovenslak*	15	0,000192 (V)	50	0,14
Kalksteenmeel	0	0,000192 (V)	0	0
Water	165	0	150	0
Totaal (A2)	2384	-		26,35

Tabel 15

Totale klimaatimpact voor 1 m³ betonproducten in fase A2

Gemiddelde samenstelling betonproduct (kg/m³)		Klimaatimpact (A2) /kg en km transport (kg CO ₂ -eq.)	km	Totale impact (kg CO ₂ -eq.)
Grondstof	Hoeveelheid (kg)			
Zand	884	0,000038 (B)	159	5,34
Grind / steenslag	878	0,000038 (B)	239	7,76
Betongranulaat	74	0,000192 (V)	30	0,43
AEC-granulaat	31	0,000192 (V)	75	0,45

Cement, waarvan:	311 (totaal)	0,000192 (V)	186	11,11
- CEM I (56%)	0,56 x 311 = 174,16			
- CEM II (12%)	0,12 x 311 = 37,32			
- CEM III/A (30%)	0,30 x 311 = 93,30			
- CEM III/B (1,7%)	0,017 x 311 = 5,287			
- CEM IV (0%)	0			
- CEM V (0%)	0			
Poederkoolvliegias	5	0,000192 (V)	150	0,14
Hoogovenslak*	3	0,000192 (V)	150	0,09
Kalksteenmeel	38	0,000192 (V)	50	0,37
Water	128	0	0	0
Totaal (A2)	2352	-		25,68
Wapeningsstaal**	35	0,000192 (V)	150	1,01
Totaal (incl. wapening)	2387	-		26,69

6.6.3 Onderbouwing fase A4

Tabel 16

Totale klimaatimpact voor 1 m³ betonmortel in fase A4

Betonmortel (kg/m³)		Klimaatimpact (A4) /kg en km transport (kg CO ₂ -eq.)	km	Totale impact (kg CO ₂ -eq.)
Grondstof	Hoeveelheid (kg)			
Beton	1 m3 (2400 kg)	0,000192 (V)	25	11,52
Totaal (A4)	2400 kg	-		11,52
Wapeningsstaal**	50	0,000192 (V)	150	1,44
Totaal (incl. wapening)	2450	-		12,96

Tabel 17

Totale klimaatimpact voor 1 m³ betonproduct in fase A4

Betonproduct (kg/m³)		Klimaatimpact (A4) /kg en km transport (kg CO ₂ -eq.)	km	Totale impact (kg CO ₂ -eq.)
Grondstof	Hoeveelheid (kg)			
Beton	1 m3 (2400 kg)	0,000192 (V)	75	34,56
Totaal (A4)	2400	-		34,56

6.6.4 Onderbouwing fase A5

Tabel 18

Totale klimaatimpact voor 1 m³ betonmortel / betonproduct in fase A5

Bouwfase		kg CO ₂ /m³	% gebruik	kg CO ₂ /m³	kg CO ₂ /m³
Betonmortel	Betonpomp, of	6,17	70%	5,15	5,34
	Kraan en kubel	2,78	30%		
	Trilnaald	0,19	100%	0,19	
Totaal (A5)					5,34
Prefabricage	Mobiele kraan	2,10	100%	2,10	2,10
Totaal (A5)					2,10

6.6.5 Onderbouwing fase B

In de gebruiksfase wordt de CO₂-uitstoot als 0 beschouwd, zie de toelichting in 6.4

6.6.6 Onderbouwing fase C1

Vanaf deze fase wordt er geen vergelijking meer gemaakt tussen betonproducten en betonmortel en het aanwezige wapeningsstaal omdat hier in de slooffase geen onderscheid in wordt gemaakt.

Tabel 19

Totale klimaatimpact voor 1 m³ betonmortel / betonproduct in fase C1

Fase		Kg CO ₂ /m ³	Totaal per fase (kg CO ₂ /m ³)
C1	Sloop	5,18	6,89
	Inladen puinwagen	1,71	
Totaal (C1)			6,89

6.6.7 Onderbouwing fase C2

Tabel 20

Totale klimaatimpact voor 1 m³ betonmortel / betonproduct in fase C2

Beton (kg/m ³)		Klimaatimpact (C2) /kg en km transport (kg CO ₂ -eq.)	km	Totale impact (kg CO ₂ -eq.)
Grondstof	Hoeveelheid (kg)			
Beton	1 m3 (2400 kg)	0,000192 (V)	15	6,91
Totaal (C2)	2400	-		6,91

6.6.8 Onderbouwing fase C3

Tabel 21

Totale klimaatimpact voor 1 m³ betonmortel / betonproduct in fase C3

Fase		Kg CO ₂ /m ³	Totaal per fase (kg CO ₂ /m ³)
C3	Breekproces	20,50	20,50
Totaal (C3)			20,50

6.6.9 Onderbouwing fase D

Tabel 22

Totale klimaatimpact voor 1 m³ betonmortel / betonproducent in fase D

Fase		Kg CO ₂ /m ³	Totaal per fase (kg CO ₂ /m ³)
D	Herinzet betongranulaten	-7,91	-27,68
	Herinzet wapeningsstaal	-19,77	
Totaal (D)			-27,68

6.7 Totale keten

In tabel 23 is de optelsom van de gehele keten weergegeven voor betonmortel en betonproducten met en zonder wapening.

Tabel 23

Totale klimaatimpact in de gehele levenscyclus van 1 m³ betonmortel / betonproduct

Fase LCA	Onderdeel van fase	Fase	Klimaatimpact betonmortel (kg CO ₂ /m ³)		Klimaatimpact betonproduct (kg CO ₂ /m ³)	
			ZW*	MW**	ZW	MW
Productiefase	Winning grondstoffen	A1	130,82	197,26	201,06	242,52
	Transport grondstoffen	A2	26,35	26,35	25,68	26,69
	Productie beton	A3	4,05	6,10	24,85	29,97
Bouwfase	Transport naar bouwplaats	A4	11,52	12,96	34,56	34,56
	Bouwproces / aanleg	A5	5,34	5,34	2,10	2,10
Gebruiksphase	Gebruik	B	0	0	0	0
Sloopfase	Sloop	C1	6,89	6,89	6,89	6,89
	Transport naar afvalverwerking	C2	6,91	6,91	6,91	6,91
	Afvalverwerking	C3	20,50	20,50	20,50	20,50
Totaal			212,38	282,31	322,55	370,14
Hergebruik	Hergebruik***	D	-7,91	-27,68	-7,91	-27,68
Totaal			194,22	244,38	304,39	332,21

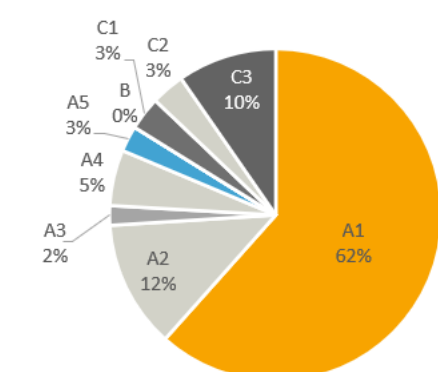
* ZW = zonder wapening

** MW = met wapening

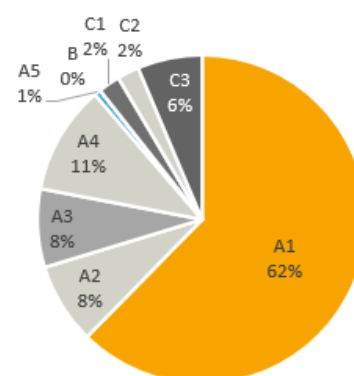
*** Als er met hergebruik geteld wordt, is fase C3 verwerking voor hergebruik en wordt deze voor de helft geteld

In de onderstaande cirkelgrammen zijn de gegevens van tabel 23 visueel weergegeven.

Klimaatimpact betonmortel (kg CO₂ / m³)



Klimaatimpact betonproduct (kg CO₂ / m³)

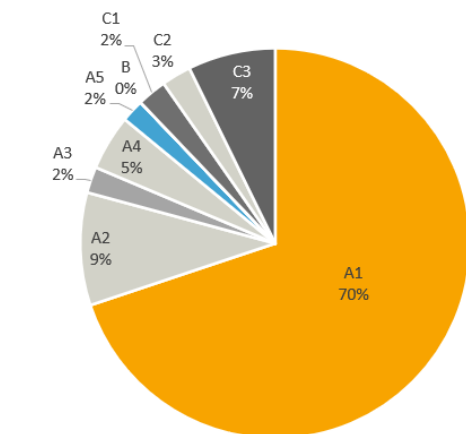


■ Winning grondstoffen (A1)
 ■ Transport grondstoffen (A2)
 ■ Productie beton (A3)
 ■ Transport naar bouwplaats (A4)
 ■ Bouwproces / aanleg (A5)

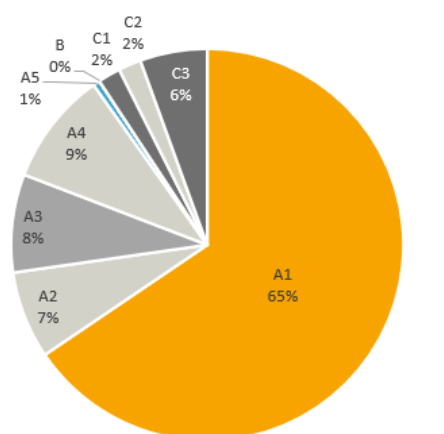
■ Gebruik (B)
 ■ Sloop (C1)
 ■ Transport naar afvalverwerking (C2)
 ■ Afvalverwerking (C3)

Figuur 8: Cirkeldiagrammen klimaat impact betonmortel en betonproduct in kg CO₂ / m³

Klimaatimpact betonmortel (incl. wapening)
(kg CO₂ / m³)



Klimaatimpact betonproduct (incl. wapening)
(kg CO₂ / m³)

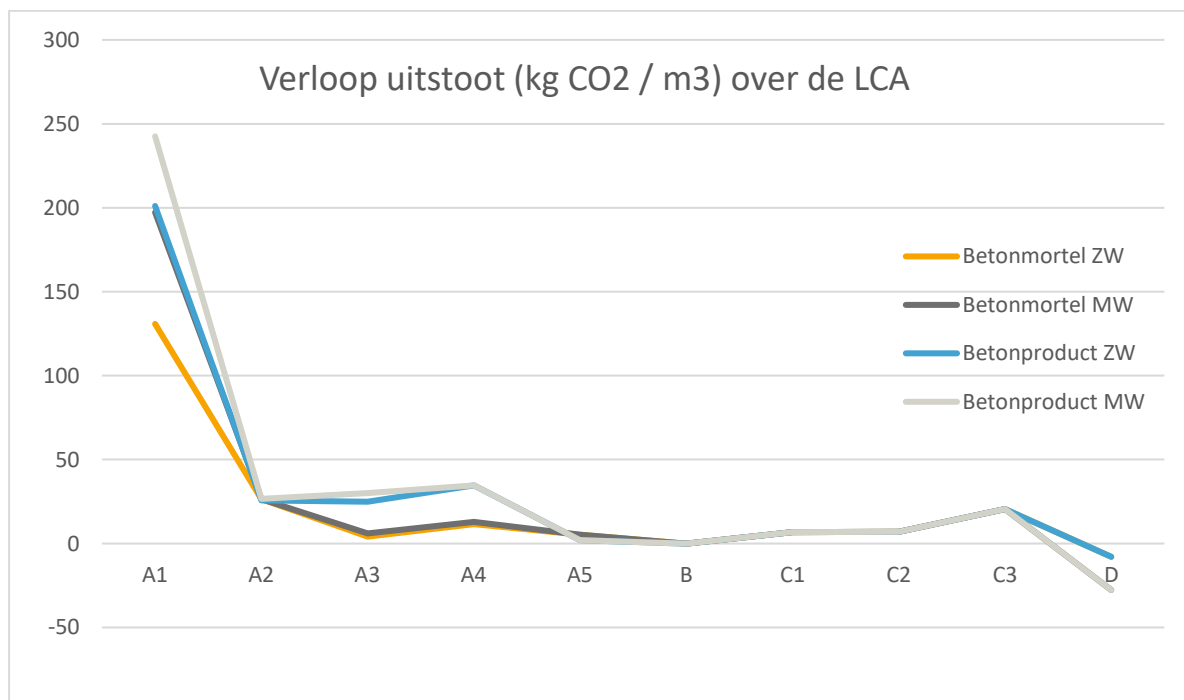


■ Winning grondstoffen (A1)
 ■ Transport grondstoffen (A2)
 ■ Productie beton (A3)
 ■ Transport naar bouwplaats (A4)
 ■ Bouwproces / aanleg (A5)

■ Gebruik (B)
 ■ Sloop (C1)
 ■ Transport naar afvalverwerking (C2)
 ■ Afvalverwerking (C3)

Figuur 9: Cirkeldiagrammen klimaat impact betonmortel en betonproduct in kg CO₂ / m³, inclusief wapening

In de onderstaande lijndiagram is het verloop van de uitstoot in kg CO₂/m³ beton weergegeven over de fasen van de levenscyclus van beton.

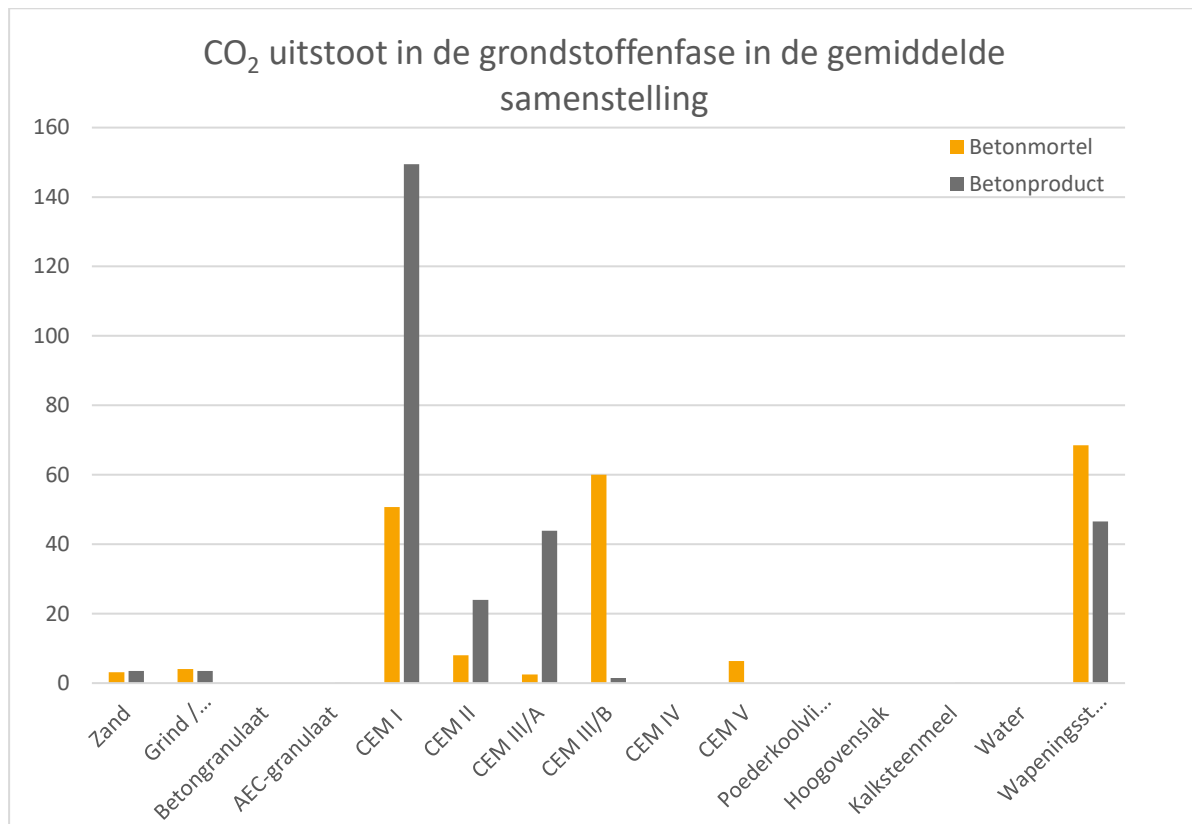


Figuur 10: Lijndiagram verloop van de uitstoot in kg CO₂ / m³

Uit deze diagrammen kunnen een aantal conclusies worden getrokken die kunnen worden meegenomen in het volgende hoofdstuk over CO₂-reductiemogelijkheden:

- ▶ De grootste uitstoter in de keten van beton is overduidelijk de winning van de grondstoffen, met een minimaal aandeel van 62% in de keten. Dit zit hem voornamelijk in de productie van cement. Wanneer er ook wapening in de keten zit wordt dit percentage nog hoger;

In de onderstaande staafdiagram zijn tabel 12 en 13 vertaald in een staafdiagram, waaruit de impact op de CO₂ uitstoot in de grondstoffenfase van (de verschillende soorten) cement blijkt op basis van de gemiddelde mengsels van 1 m³ betonmortel of betonproduct.



Figuur 11: CO₂ uitstoot in de grondstoffenfase in de gemiddelde samenstelling

- ▶ Waar in de tabel een groot verschil zit in CO₂-uitstoot tussen betonmortel en prefabricage bij de grondstoffenwinning, blijven de verhoudingen (%) nagenoeg hetzelfde;
- ▶ Het totale transport heeft een aandeel van 17 t/m 21% in de keten;
- ▶ De productie van betonmortel heeft maar een klein aandeel in de keten (2%), echter heeft de productie van betonproducten een groter aandeel in de keten (8%). Wel wordt er in de bouwphase weer CO₂ bespaart met betonproducten i.r.t. betonmortel;
- ▶ De bouwphase heeft nagenoeg geen impact, 2-3% in het geval van betonmortel en 1% in het geval van betonproducten;
- ▶ De sloopfase is nagenoeg in elke situatie gelijk en heeft een aandeel van ongeveer 10%.

Uit deze conclusies blijkt dat in op het gebied van CO₂-reductie het meest valt te verbeteren in de grondstoffensamenstelling. Maar ook in het transport, in de productie van betonproducten en in de sloopfase valt nog te verbeteren. In de bouwphase en in de productie van betonmortel nagenoeg niet. Deze bevindingen zullen meegenomen worden naar het volgende hoofdstuk voor CO₂-reductiemogelijkheden.

Uit het rapport van (CE Delft, 2020) blijkt dat in 2017 (waar deze gegevens op zijn gebaseerd), 55% van de totale betonproductie in Nederland bestond uit betonmortel en 45% uit betonproducten.

6.8 CO2 uitstoot Van der Ven 2023 - Beton

In de kwantitatieve analyse materiële emissies scope 3 is de uitstoot van CO2 berekend op basis van omzet van het product. Voor de productgroep betontoepassingen komt de uitstoot op 28.094 ton CO2 in 2022. Het uitrekenen op basis van de hoeveelheden verdient de voorkeur, in 2023 is getracht dit in kaart te brengen. Door de huidige registratiewijze zijn voor een representatieve berekening te weinig gegevens beschikbaar. Om wel tot een representatieve berekening te komen, is daarom een registratie- en monitoringstool ontwikkeld. Het jaar 2024 zal benut worden om de huidige situatie in beeld te brengen en zal als 0-meting worden gezien.

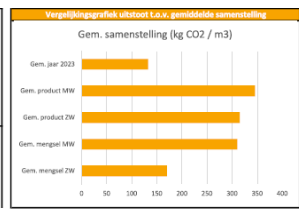
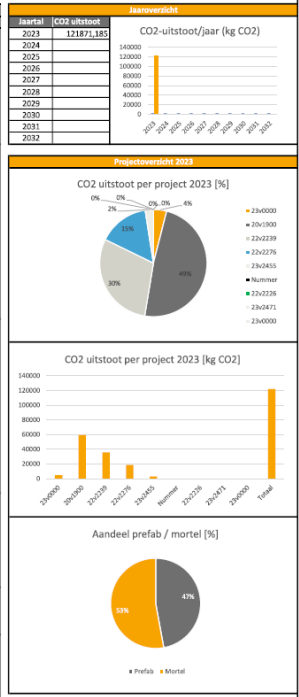
Zie bijlageboekje Registratie- en monitoringstool, tabel 6



Overzicht totale CO2-uitstoot in de betonketen door Van der Ven 2023									
Let op: Elk automaatje een nieuw blad aanmaken!									
Nummer	Project	Mengsel / product	Opmerking	Werk	Hoeveelheid (m3 beton)	CO2 uitstoot (kg/m3)	CO2 uitstoot (kg/straat)	CO2 uitstoot (kg/straat)	TOTAAL PROJECT
23v0000	Afstudeerproject	Betonmengsels (instu)	Bijv. afbouw werkplaats	In het werk gestorte vloer	33,5	145,11	4861,185		4861,185
			Bijv. wand en S	In het werk gestorte wand			0		
							0		
		Prefab beton producten	Bijv. riolering	Bijv. putten en buizen			0		
			Bijv. verharding	Bijv. bedrijfsvloerplaten			0		
							0		
20v1900	Schietsfaciliteiten Soesterberg	Betonmengsels (instu)	Vloer BG CQB-gebouw	In het werk gestorte vloer	20	160	3200		59250
			Wanden BG CQB-gebouw	In het werk gestorte wand	15	174	2610		
			Vloer 1e CQB-gebouw	In het werk gestorte vloer	22	160	3520		
			Wanden 1e CQB-gebouw	In het werk gestorte wand	15	174	2610		
			Vloer 2e CQB-gebouw	In het werk gestorte vloer	24,5	180	4410		
		Prefab beton producten	Verharding	Bedrijfsvloerplaten	200	120	24000		
			Verharding	Bestrating	100	123	12300		
			Kalderdak Energiegebouw	Breedplaatvloeren	30	220	6600		
							0		
							0		
							0		
							0		
							0		
							0		
22v2239	Buuremise Breda	Betonmengsels (instu)	Funderingsstrakken	In het werk gestorte funderingsstrakken	30	110	3300		36300
			Vloer BG werkplaats	In het werk gestorte vloer	50	150	7500		
		Prefab beton producten	Riolering	Putten en buizen	10	130	1300		
			Verharding	Bedrijfsvloerplaten	200	120	24000		
							0		
							0		
22v2276	Rijksweg Arnhem	Betonmengsels (instu)						18660	
							0		
		Prefab beton producten	Riolering	Putten en buizen	30	130	3900		
			Verharding	Bestrating	120	123	14760		
							0		
							0		
23v2455	Duikersbruggen Kickersbloem	Betonmengsels (instu)					3000		
			Prefab beton producten	Brug	Brug	20		150	3000
Nummer	Naam project	Betonmengsels (instu)					0		
			Prefab beton producten						
22v2226	Schietsfaciliteiten Soesterberg fase 2	Betonmengsels (instu)						0	
							0		
							0		
							0		
							0		
		Prefab beton producten					0		
							0		
							0		
							0		
							0		
							0		
							0		
							0		
							0		
23v2471	Sliblijn RWZI Eindhoven	Betonmengsels (instu)					0		
								0	
								0	
								0	
								0	
								0	
23v0000	Diverse kleine projecten	Betonmengsels (instu)					0		
								0	
								0	
								0	
								0	
		Prefab beton producten						0	
								0	
								0	
								0	
								0	
								0	
								0	
								0	
								0	
Totaal					920		121871,185		
							Gemiddelde uitstoot (kg CO2 / m3)	132,468793	

Jaaroverzicht	
Jaartal	CO2 uitstoot
2023	121871,185
2024	
2025	
2026	
2027	
2028	
2029	
2030	
2031	
2032	

CO2-uitstoot per jaar (kg CO2)

Projectoverzicht 2023	
CO2 uitstoot per project 2023 [%]	
	- 23v0000 - 20v1900 - 22v239 - 22v276 - 23v2455 - Nummer - 22v226 - 23v2471 - 23v0000
CO2 uitstoot per project 2023 [kg CO2]	
Aandeel prefab / mortel [%]	
	- Prefab - Mortel
Vergelijkingsgrafiek uitstoot Lo-x, gemiddelds samenstelling	
Gem. samenstelling (kg CO2 / m3)	
Gem. jaar 2023	
Gem. product MW	
Gem. product ZW	
Gem. mengsel MW	
Gem. mengsel ZW	


Op basis van deze berekening heeft Van der Ven in 2023 920 m3 beton toegepast, goed voor een CO2 uitstoot van 121.871 kg. Deze berekening is niet compleet door de huidige manier van berekenen op basis van de omzet per product. Derhalve zal 2024 benut worden om een berekening op basis van hoeveelheden te realiseren waarna het jaar 2024 als 0-meting wordt gezien voor het behalen van de reductiedoelstellingen.

7. CO₂ reductiemogelijkheden

Er zijn verschillende mogelijkheden om CO₂-uitstoot te verminderen in de betonketen, de volgende maatregelen blijken naar de kwantificatie van de scope 3 emissies in de betonketen: (Zondag H. , Scope 3 en ketenanalyse vd Ven incl. beton (concept), 2023)

1. **Gebruik van alternatieve cementsoorten:** het vervangen van een deel van het traditionele portlandcement door alternatieve cementsoorten, zoals vliegashydrat cement of hoogovencement;
2. **Optimalisatie van het productieproces van cement:** optimaliseren van het productieproces van cement door bijvoorbeeld het verbeteren van de energie-efficiëntie van ovens, het gebruik van alternatieve brandstoffen en het toepassen van koolstofafvang en -opslagstechnologien;
3. **Gebruik van alternatieve bindmiddelen:** het verkennen van alternatieve bindmiddelen, zoals geopolymer, die minder CO₂ intensief zijn dan cement. Geopolymer maakt gebruik van een industrieel bijproduct zoals vliegashydrat en kan een duurzaam alternatief zijn voor traditionele cementgebaseerde materialen;
4. **Gebruik van gerecyclede materialen:** het gebruik van gerecyclede materialen, zoals gerecycled betonpuin. Door het recyclen van betonafval vermindert de behoefte aan nieuwe grondstoffen en de energie intensieve productie ervan;
5. **Duurzaam transport:** het minimaliseren van de transportafstanden van grondstoffen en betonproducten, door lokaal beschikbare grondstoffen te gebruiken en betonfabrieken dicht bij de bouwlocaties te vestigen. Hierdoor kan de impact van transport worden verminderd;

Het implementeren van deze maatregelen kan aanzienlijke CO₂-reductie opleveren in de betonketen en bijdragen aan een meer duurzame betonindustrie. Het is belangrijk om een integrale benadering te hanteren en te streven naar optimalisatie in elke fase van de waardeketen. In [bijlageboekje 3](#), maatregelenlijst, zijn nog meer CO₂-reductiemogelijkheden benoemd.

8. Reductiemaatregelen

Van der Ven focust zich op de volgende maatregelen om haar CO₂ uitstoot betontoepassingen met 20% te reduceren:

Minder (nieuw) beton toepassen

- Materiaal besparen door slim ontwerpen
- Keuze tussen betonmortel of prefab maken

Minder cement in beton

- Slimme bouwplanning
 - winterperiode gebruiken voor prefabricage
 - gebruik van versnellers
 - langere uithardingstijd
 - monitoring door middel van sensing
- Hogere eindsterkte (langzamere sterkteontwikkeling)
- Gebruik maken van oversterkte (sterkteklasse i.r.t. milieuklasse)
- Optimalisatie korrelpakking

Minder klinker in cement

- Klinkervervanging (hoogovenslak, vliegas en kalksteenmeel)
- Alkalische bindmiddelen: geopolymeerbeton, hybride beton
- Puzzolanen: gecalcineerde klei, vulkanische as

Minder CO₂ door klinker (of staal)

- Nieuwe cementsoorten: Belietcement en Solida cement
- Alternatieve wapening: basaltvezels
- Carbon Capture (CCU/S)

Minder nieuwe grondstoffen

- Secundaire grondstoffen
 - Betongranulaat
 - Zand
 - Grind
 - Schoon cementsteen (slim breken)
- Reststoffen AEC en ECO-granulaat

Verduurzaming processen

- Transportfase
- Productiefase
- Bouwfase

9. Plan van aanpak

Wat nu?

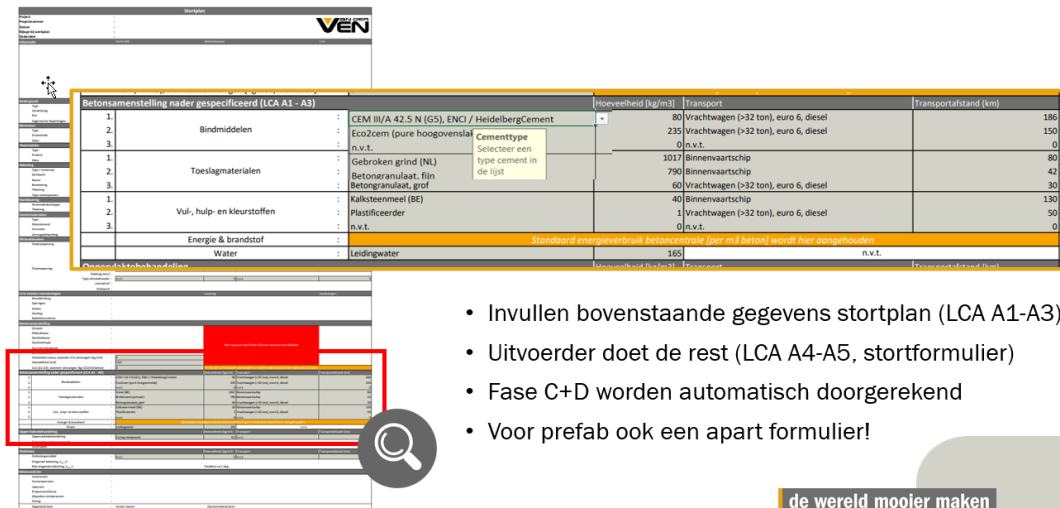


"Het realiseren van een vermindering van de CO2-uitstoot in de betonketen met 20%, per bestede € in 2030 ten opzichte van 2022, met de ambitie naar 40% reductie"

- In 2024: nulmeting, waar staan we?
- Registratie van al het betonwerk, zowel prefab als in het werk gestort!
- Testen stappenplannen voor projectfasen (incl. draaien pilots)
- Vanaf 2025: maatregelen implementeren

de wereld mooier maken

Registratie- en monitoring - Voorbereiding

Betonsamenstelling nader gespecificeerd (LCA A1 - A3)		hoeveelheid (kg/m³)	Transport	Transportstand (km)
1	Bindmiddelen	CEM III/A 42.5 N (G5), ENO / HeidelbergCement	80 Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel	180
2		Eco2cem (pure hoogovenslaak)	235 Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel	150
3		n.v.t.	0 n.v.t.	0
1	Toeslagmaterialen	Gebroken grind (Nl)	1017 Binnenvaartschip	80
2		Betonaranslaak, fijn	790 Binnenvaartschip	42
3		Betonaranslaak, grof	60 Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel	30
1	Vul-, hulp- en kleurstoffen	Kalksteenmeel (BE)	40 Binnenvaartschip	130
2		Plastificeerder	1 Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel	50
3		n.v.t.	0 n.v.t.	0
Energie & brandstof				
Water		Leidingwater	165	n.v.t.
Standards energieverbruik betoncentrale (per m³ beton) wordt hier aangehouden				
Overeenkomstig de tabel				

- Invullen bovenstaande gegevens stortplan (LCA A1-A3)
- Uitvoerder doet de rest (LCA A4-A5, stortformulier)
- Fase C+D worden automatisch doorgerekend
- Voor prefab ook een apart formulier!

de wereld mooier maken

Registratie- en monitoring - Uitvoering



STORTFORMULIER			
Transport, bouwplaatsprocessen en energie & brandstof		Hoeveelheid [hr/ritten]	Transport
1.	Transportmiddelen	n.v.t.	2 Truckmixer, 10 m3
2.		1 Truckmixer, 13,5 m3	
3.		0 n.v.t.	
1.	Bouwplaatsprocessen [hr]	Betonpomp [m3]	1 n.v.t.
2.		Verdichten - bekisting trillen [m3]	1 n.v.t.
3.		Verdichten - met trilplaat [hr]	0 n.v.t.
1.	Energie & brandstof	Betonpomp [m3]	1
2.		Heiblok, diesel [hr]	0
3.		Heiblok, hydraulisch [hr]	0
Afwerking / nabehandeling van betonoppervlak		Kraan [hr]	0

Type proces
Selecteer hier het type proces

de wereld mooier maken

- Invullen bovenstaande gegevens stortformulier (LCA A4-A5, bouwplaats)
- Werkvoorbereider doet de rest (LCA A1-A3, stortplan)
- Fase C+D worden automatisch doorgerekend

Dashbord CO2-uitstoot



- Mogelijkheid tot vergelijken prefab en mortel!

de wereld mooier maken

Tabel- en figuurlijst

Figuurlijst

Figuur 1: Schema ketenanalyse.....	7
Figuur 2: Overzicht van de scopes en emissies in de waardeketen conform het GHG-protocol.....	8
Figuur 3: De waardeketen van beton	15
Figuur 4: Productieproces cement.....	17
Figuur 5: CO ₂ -uitstoot per fase in de betonketen.....	22
Figuur 6: Partners in de betonketen	23
Figuur 7: Levenscyclus analyse beton (LCA)	25
Figuur 8: Cirkeldiagrammen klimaat impact betonmortel en betonproduct in kg CO ₂ / m ³ , ZW	34
Figuur 9: Cirkeldiagrammen klimaat impact betonmortel en betonproduct in kg CO ₂ / m ³ , MW	35
Figuur 10: Lijndiagram verloop van de uitstoot in kg CO ₂ / m ³	35
Figuur 11: CO ₂ uitstoot in de grondstoffenfase in de gemiddelde samenstelling	36

Tabellijst

Tabel 1: Product Markt Combinaties (PMC's) gebaseerd op de omzet	10
Tabel 2: Bepaling rangorde meest materiële emissiebronnen	11
Tabel 3: Top 5 – Scope 3 emissies.....	12
Tabel 4: CO ₂ emissies scope 3.....	12
Tabel 5: De cementsoorten	16
Tabel 6: Gemiddelde samenstelling van betonmortel, betonproducten en “beton totaal” in NL	26
Tabel 7: Verdeling van het cement naar cementtypen in betonmortel, betonproducten en totaal in NL	26
Tabel 8: Klimaatimpact van de winning en productie (A1 + A3) per kg grondstof.....	27
Tabel 9: Transportafstanden en transportmiddelen.....	28
Tabel 10: Klimaatimpact van de bouwfase (A5)	29
Tabel 11: Klimaatimpact van de sloop-/recyclingfase (C1, C3, D)	29
Tabel 12: Totale klimaatimpact voor 1 m ³ betonmortel in fase A1 en A3	30
Tabel 13: Totale klimaatimpact voor 1 m ³ betonproducten in fase A1 en A3	30
Tabel 14: Totale klimaatimpact voor 1 m ³ betonmortel in fase A2	31
Tabel 15: Totale klimaatimpact voor 1 m ³ betonproducten in fase A2	31
Tabel 16: Totale klimaatimpact voor 1 m ³ betonmortel in fase A4	32
Tabel 17: Totale klimaatimpact voor 1 m ³ betonproduct in fase A4	32
Tabel 18: Totale klimaatimpact voor 1 m ³ betonmortel / betonproduct in fase A5.....	32
Tabel 19: Totale klimaatimpact voor 1 m ³ betonmortel / betonproduct in fase C1	33
Tabel 20: Totale klimaatimpact voor 1 m ³ betonmortel / betonproduct in fase C2	33
Tabel 21: Totale klimaatimpact voor 1 m ³ betonmortel / betonproduct in fase C3.....	33
Tabel 22: Totale klimaatimpact voor 1 m ³ betonmortel / betonproducent in fase D.....	33
Tabel 23: Totale klimaatimpact in de gehele levenscyclus van 1 m ³ betonmortel / betonproduct.....	34

Literatuurlijst

- ▶ Aanen, H. (2023). *CO2 reductie van beton*. Brakel: Van der Ven.
- ▶ Aanen, H. (2023). *Communicatie*. Brakel: Van der Ven.
- ▶ Betonhuis. (sd). *Lichtbeton en Zwaarbeton*. Opgeroepen op 20 september, 2023, van Betonhuis: <https://betonhuis.nl/betonhuis/lichtbeton-en-zwaarbeton>
- ▶ BetonLexion. (2021, 15 oktober). *Cementbenaming*. Opgeroepen op 18 september, 2023, van Betonlexion: <https://www.betonlexicon.nl/C/Cementbenaming#:~:text=Er%20zijn%20drie%20sterkte klassen%3A%2032,R%3A%20'Rapid'>.
- ▶ Bovenkamp, M. v. (2017). *Ketenanalyse beton*. Besix Nederland. Opgeroepen op 18 september, 2023, van <https://www.besix.nl/nl/over-ons/co2-prestatieladder/ketenanalyses>
- ▶ CE Delft. (2013). *Milieu-impact van betongebruik in de Nederlandse bouw*. Delft: CE Delft. Opgeroepen op 28 september, 2023, van <https://ce.nl/publicaties/milieu-impact-van-betongebruik-in-de-nederlandse-bouw/>
- ▶ CE Delft. (2013). *Prioritering handelingsperspectieven verduurzaming*. Delft: CE Delft. Opgeroepen op 28 september, 2023, van <https://ce.nl/publicaties/prioritering-handelingsperspectieven-verduurzaming-betonketen/>
- ▶ CE Delft. (2020). *Klimaatimpact van betongebruik in de Nederlandse bouw*. Delft: CE Delft. Opgeroepen op 28 september, 2023, van <https://ce.nl/publicaties/klimaatimpact-van-betongebruik-in-de-nederlandse-bouw/>
- ▶ DECC en Defra. (2011). *2011 Guidelines to Defra / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting*. London: Department for Environment, Food and Rural Affairs. Opgeroepen op 9 september, 2023
- ▶ Drunen, J. v. (2021). *Ketenanalyse Diesel Onderaannemers*. Brakel: Van der Ven. Opgeroepen op 4 september, 2023, van https://www.vanderven.nl/images/4A1_7_Ketenanalyse_Diesel_2021_DEF.pdf
- ▶ Ecocem. (2023, 15 maart). *ACT: CO2-arme cementtechnologie*. Opgeroepen op 18 september, 2023, van Ecocem: <https://www.ecocemglobal.com/nl/producten-en-projecten/act-advanced-cement-technology/#:~:text=ACT%20vervangt%20klinker,1450%20%C2%B0C%20te%20sinteren>.
- ▶ ENCI (Regisseur). (2017). *Productieproces cement* [Film]. Opgeroepen op 18 september, 2023, van <https://www.youtube.com/watch?v=Q27gG5GGbsA>
- ▶ Febelcem. (2003). *Cement - specificatie en certificatie. CE-markering en dubbele markering CE + BENOR*. Opgeroepen op 18 september, 2023, van Febelcem: https://www.febelcem.be/fileadmin/user_upload/dossiers-ciment-94-08/nl/25_nl.pdf
- ▶ Fominova, S. (sd). *Activity Based vs Production Based vs Spend Based Emission Factors: A Comprehensive Comparison for Effective Carbon Accounting*. Opgeroepen op 29 september, 2023, van Net0: <https://net0.com/blog/activity-based-vs-production-based-vs-spend-based-emission-factors-a-comprehensive-comparison-for-effective-carbon-accounting#:~:text=Spend%2DBased%20Emissions%20Factors,-Spend%2Dbased%20emission&text=These%20factors%20are%20calculat>
- ▶ Groenbalans. (2021, mei 27). *CO2-footprint en Scope 1, Scope 2 en Scope 3*. Opgeroepen op 29 augustus, 2023, van Groenbalans: <https://www.groenbalans.nl/co2-footprint-en-de-drie-scopes/>
- ▶ Groenbalans. (2022). *Scope 3 de ketenanalyse: waarom, wat en hoe*. Opgeroepen op 5 september, 2023, van Groenbalans: <https://www.groenbalans.nl/scope-3-de-ketenanalyse/>

- ▶ Infracore. (2022). Omzet crediteuren 2022. Brakel.
- ▶ NIBE. (2018). *Advies voor MKI plafondwaarden voor betonmortel en betonproducten*. NIBE. Opgeroepen op 28 september, 2023, van https://www.betonakkoord.nl/wp-content/uploads/sites/43/166796/def_nibe_rapport_max_mki_waarde_16-12-2018.pdf
- ▶ Noordmeer, R. (2014). *Scope 3 analyse in situ beton*. Van Hattum en Blankevoort. Opgeroepen op 20 september, 2023, van https://www.vhbinfra.nl/dynamics/modules/SFIL0200/view.php?fil_id=7698
- ▶ Pease, A. (2021, 17 mei). *Lowering the carbon impacts of concrete*. Opgeroepen op 21 september, 2023, van In balance green: <https://www.inbalancegreen.com/news/2021/5/17/lowering-the-carbon-impacts-of-concrete>
- ▶ Schouten energy. (sd). *CO2-footprint / reductie en scope 1,2 en 3*. Opgeroepen op 29 augustus, 2023, van Schouten energy: <https://www.schoutenenergy.nl/actueel/co2-footprint-reductie-en-scope-1-2-en-3>
- ▶ Steirteghem, J. v. (2022). *Ketenanalyse beton*. Besix. Opgeroepen op 20 september, 2023, van https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/p0005-prod-b24ed4bd9ec3440d82663a9531074c0e/public/skao_publication_document/0001/20/f9d2f60ddf81f8a9926de3cdec65a01d39ccd984.pdf
- ▶ TNO Nederland. (2020). *PCR Asfalt*. Utrecht: Bouwend Nederland. Opgeroepen op 25 september, 2023, van https://www.bouwendnederland.nl/media/7631/pcr_10-definitief_versie-2020-06-29.pdf
- ▶ Wouters, P. (2019). *Ketenanalyse beton*. GMB. Opgeroepen op 11 september, 2023, van <https://cdn.i-pulse.nl/gmb-website/userfiles/CO2-Prestatieladder/ketenanalyse-beton-gmb-2019-definitief.pdf>
- ▶ Zondag, H. (2022). *CO2 uitstoot onderaannemers 2022*. Brakel: Van der Ven.
- ▶ Zondag, H. (2022). *Scope 3 analyse*. Brakel: Van der Ven.
- ▶ Zondag, H. (2023). *Scope 3 en ketenanalyse vd Ven incl. beton (concept)*.